

**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del**  
**Ambiente**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Civil**



**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON FIBRAS DE POLIPROPILENO RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL, EMPLEANDO LOS AGREGADOS DE LA CANTERA: LA PODEROSA DE LA PROVINCIA DE AREQUIPA, AREQUIPA – PERÚ”**

Tesis Presentada por los Bachilleres:

**Ponce Subia, Carolay Fiorella**

**Villa Calvet, Cesar Alfredo**

Para optar por el Título Profesional de:

**Ingeniero Civil**

Asesor:

**Mg. Gamarra Tuco, Rubén Francisco**

**Arequipa - Perú**

**2020**

## DICTAMEN APROBATORIO

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**

**INGENIERIA CIVIL**

**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS**

Arequipa, 02 de Noviembre del 2020

**Dictamen: 000971-C-EPIC-2020**

Visto el borrador de tesis del expediente 000971, presentado por:

**2012246482 - PONCE SUBIA CAROLAY FIORELLA**

**2012202931 - VILLA CALVET CESAR ALFREDO**

Titulado:

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON FIBRAS DE POLIPROPILENO RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL, EMPLEANDO LOS AGREGADOS DE LA CANTERA: LA PODEROSA DE LA PROVINCIA DE AREQUIPA, AREQUIPA ? PERÚ**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**1888 - NEIRA ARENAS JULY LILIAM  
DICTAMINADOR**



**2778 - UGARTE CALDERON ENRIQUE ALFONSO  
DICTAMINADOR**



**3044 - GAMARRA TUCO RUBEN FRANCISCO  
DICTAMINADOR**



## DEDICATORIA

*Llegar a la meta es gratificante y resulta incluso más, si es de la mano de la persona que camina siempre junto a mí, que comparte e inspira mis sueños e ideales, mi soporte y mi mayor ejemplo de vida.*

*Al ser que más amo y admiro, mi madre, Jessica Subia.*

*Eres mi motivación más grande, todo lo que soy y seré es por ti.*

*Con mi más sincero e infinito amor*

*Carolay.*

*A mis padres por su amor, apoyo, motivación y ser un ejemplo a seguir, por los valores, virtudes y principios que inculcaron en mí, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad y la que espero ser en un futuro.*

*A mi hermano por ser una fuente de inspiración y motivación a querer cada día ser mejor y un buen modelo a seguir para él.*

*A mi abuela por su cariño, consejos, experiencia, sabiduría y ternura.*

*A mi mascota por ser una fuente inagotable de amor incondicional que llena de luz incluso los días más oscuros.*

*Y especialmente a mi primo César “Cool”, quien fue como un hermano mayor, el cual lamentablemente ya no se encuentra entre nosotros, pero a quien siempre tendré presente, le dedico esta tesis.*

*Cesar Alfredo.*

## RESUMEN

En los últimos años el Perú ha impulsado una política muy favorable para la Construcción de Obras Viales en todo el territorio, ejecutándose miles de kilómetros de carreteras con pavimentos asfálticos, según reportes del MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú), dichos pavimentos incluyen una carpeta asfáltica que puede ser en caliente o en frío, siendo las mezclas asfálticas en caliente las más usadas en nuestro país. Esto nos brinda la posibilidad de buscar opciones nuevas que permitan mejorar la calidad de los pavimentos, las mezclas asfálticas modificadas con la adición de diversos tipos de fibras que puedan mejorar su comportamiento mecánico forman parte de un campo de estudio que viene mostrando un importante crecimiento.

En esta investigación se realiza el análisis comparativo de las propiedades y características mecánicas de dos tipos de mezcla asfáltica en caliente, una convencional y una adicionada con fibras de polipropileno empleando el método Marshall, para la elaboración de la mezcla de tipo MAC - 01 se emplearon los agregados de la cantera La Poderosa de la ciudad de Arequipa y cemento asfáltico PEN 85/100, para la mezcla modificada se empleó fibra de polipropileno Fiber Force PP - 48 de la marca SIKA.

La primera etapa consistió en la determinación del óptimo contenido de cemento asfáltico para la mezcla convencional, el cual es de 4.5 %. La segunda etapa determinó en base a distintos tamaños de fibra (fibra entera, fibra dividida en dos, fibra dividida en tres) y distintos porcentajes de prueba comprendidos entre 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% y 2.5% en peso de áridos, el contenido óptimo de fibras que mejora las características típicas de una mezcla en caliente convencional, el cual resultó ser de 1.3% de fibra de polipropileno dividida en tres. Con estos resultados se determina que las mezclas asfálticas en caliente con porcentaje de 4.5% de cemento asfáltico y adicionadas con 1.3% en peso de áridos de fibras de polipropileno presentan mejoras en las características convencionales, tales como mejores rangos de estabilidad, mejor resistencia al desgaste, mejor desempeño por humedad, que se reflejarían en una vida útil mejorada de los pavimentos flexibles del país.

**Palabras clave:** Pavimento flexible, Mezcla Asfáltica en Caliente, Método Marshall, Fibras de Polipropileno, Cemento Asfáltico.

## ABSTRACT

In recent years, Perú has promoted a very favorable policy for the Construction of Road Works throughout the territory, executed miles of kilometers of roads with asphalt pavements, according to reports from the MTC (Ministry of Transportation and Communications of Peru), said pavements including an asphalt binder that can be hot or cold, with hot asphalt mixtures being the most used in our country. This gives us the possibility of looking for new options that can improve the quality of pavements, modified asphalt mixtures with the addition of various types of fibers that can improve their mechanical behavior as part of a field of study that has been showing so much in our country as in the whole world an important growth.

In this investigation, a comparative analysis of the properties and mechanical characteristics of two types of hot asphalt mixture, a conventional one and one added with polypropylene fibers using the Marshall method, was performed for the preparation of the MAC 01 type mixture. aggregates of the La Poderosa quarry in the city of Arequipa and asphalt cement PEN 85/100, for the modified mixture PP48 polypropylene fiber of the SIKA brand was used.

The first stage consists in the selection of the optimal asphalt cement content for the conventional mixture, which is 4.5%. The second stage determined based on different fiber sizes (whole fiber, fiber divided into two, fiber divided into three) and different test percentages between 0.5%. 1.0%, 1.5%, 2.0% and 2.5% by weight of aggregates, the optimum fiber content that improves the typical characteristics of a conventional hot mix, which turned out to be 1.3% polypropylene fiber divided into three. With these results, it is determined that hot asphalt mixtures with a percentage of 4.5% asphalt cement and added with 1.3% by weight of polypropylene fiber aggregates show improvements in mechanical characteristics, stories such as better stability ranges, better wear resistance, better moisture performance, which in the end would be felt in an improved lifespan of the country's flexible pavements.

**Key words:** Flexible Pavement, Hot Asphalt Mix, Marshall Method, Polypropylene Fibers, Asphalt Cement.

## INTRODUCCIÓN

Debido a la diversidad climática del Perú se necesitan diseños de pavimentos y mezclas asfálticas con propiedades específicas para atender las necesidades de cada región que garanticen vías seguras, por lo tanto, la calidad en la conectividad de nuestro país depende fuertemente de la condición de estas vías, tanto en el trazo, en las pendientes y sobre todo en la condición de la carpeta de rodadura; esta última depende del diseño de la estructura en general, de los materiales utilizados, de la calidad del proceso constructivo, del mantenimiento que recibe, de la cantidad y frecuencia de tráfico para la que sea diseñada.

Es por esto por lo que se vienen realizando investigaciones con distintos tipos de fibras que pretenden mejorar las características mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente que derivan en la mejora de los pavimentos flexibles, este trabajo de investigación se realizó en la ciudad de Arequipa empleándose agregados de la cantera más comercial de la ciudad y fibras de polipropileno empleadas comúnmente para disminuir el agrietamiento, reducir fisuras y mejorar la resistencia a la tracción y compresión del concreto.

La investigación va superando etapas que permiten descartar tamaños y porcentajes de fibra de polipropileno para llegar a la cantidad y tamaño exacto que muestra mejores resultados frente a una mezcla en caliente convencional y deja el punto de referencia para investigaciones futuras que experimenten con otros tipos de fibras.

## ÍNDICE

### DICTAMEN APROBATORIO

### DEDICATORIA

### RESUMEN

### ABSTRACT

### INTRODUCCIÓN

<b>1. GENERALIDADES .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
1.1.1. Identificación y descripción del problema. ....	1
1.1.2. Importancia de la investigación.....	2
<b>1.2. HIPÓTESIS .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....</b>	<b>3</b>
1.3.1. Objetivo General. ....	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
<b>1.4. ANÁLISIS DE VARIABLES .....</b>	<b>4</b>
1.4.1. Variable Independiente. ....	4
1.4.2. Variable dependiente.....	4
<b>1.5. ALCANCES.....</b>	<b>4</b>
<b>1.6. ANTECEDENTES .....</b>	<b>5</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1. PAVIMENTOS.....</b>	<b>7</b>
2.1.1. Pavimento flexible.....	8
2.1.2. Tipo de fallas que presenta un pavimento flexible.....	9
<b>2.2. MEZCLA ASFÁLTICA .....</b>	<b>10</b>
2.2.1. Clasificación de las mezclas asfálticas.....	11
2.2.1.1. Mezcla asfáltica en frío. ....	11
2.2.1.2. Mezcla asfáltica en caliente.....	11
2.2.1.3. Mezcla asfáltica modificada.....	13

2.2.2.	Características de las mezclas asfálticas. ....	13
2.2.2.1.	Densidad de la mezcla asfáltica.....	13
2.2.2.2.	Vacíos de aire. ....	13
2.2.2.3.	Vacíos de agregado mineral – V.M.A.....	14
2.2.2.4.	Vacíos rellenos de asfalto – V.F.A.....	14
2.2.2.5.	Contenido de Asfalto.....	14
2.2.3.	Materiales de una mezcla asfáltica.....	14
2.2.3.1.	Cemento asfáltico.....	15
2.2.3.1.1.	Propiedades físicas del asfalto. ....	15
2.2.3.1.2.	Comportamiento físico mecánico del asfalto.....	16
2.2.3.2.	Agregados.....	17
2.2.3.3.	Fibras de polipropileno.....	18
<b>2.3.</b>	<b>METODOLOGÍA MARSHALL EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE .....</b>	<b>19</b>
2.3.1.	Método Marshall. ....	19
2.3.2.	Estabilidad y flujo. ....	20
2.3.3.	Esquema del método Marshall. ....	21
2.3.3.1.	Esquema – mezcla asfáltica convencional. ....	22
2.3.3.2.	Esquema – mezcla asfáltica con fibras de polipropileno.....	23
2.3.4.	Consideraciones para el diseño de mezcla asfáltica en caliente.....	23
2.3.4.1.	Selección del Tipo de cemento asfáltico. ....	24
2.3.4.2.	Determinación de temperatura de mezclado y compactado de muestras. ....	26
2.3.4.3.	Gradación. ....	27
2.3.5.	Elaboración de muestras.....	27
2.3.5.1.	Preparación de Mezcla Asfáltica. ....	29
2.3.5.2.	Compactación de Mezcla Asfáltica.....	31
2.3.6.	Procedimiento del ensayo Marshall. ....	32
2.3.6.1.	Determinación Gravedad Específica BULK. ....	33
2.3.6.2.	Ensayo de Estabilidad y flujo.....	33
2.3.6.3.	Interpretación de resultados.....	36
2.3.7.	Cálculos en la hoja Marshall .....	36
<b>2.4.</b>	<b>DESEMPEÑO POR HUMEDAD EN MEZCLAS ASFÁLTICAS.....</b>	<b>39</b>
2.4.1.	Ensayo a la tracción indirecta TSR. ....	40
2.4.1.1.	Elaboración de muestras.....	41
2.4.1.1.1.	Preparación de mezcla asfáltica. ....	41

2.4.1.1.2.	Compactación de mezcla asfáltica .....	43
2.4.1.2.	Procedimiento del ensayo.....	43
2.4.1.3.	Resultados del ensayo. ....	43
2.4.2.	Ensayo de inmersión - compresión. ....	44
2.4.2.1.	Elaboración de muestras.....	45
2.4.2.1.1.	Preparación de mezcla asfáltica. ....	45
2.4.2.1.2.	Compactación de mezcla asfáltica. ....	47
2.4.2.2.	Procedimiento del ensayo.....	47
2.4.2.3.	Resultados del ensayo. ....	47
<b>2.5.</b>	<b>RESISTENCIA AL DESGASTE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS .....</b>	<b>48</b>
2.5.1.	Ensayo de pérdida por desgaste.....	48
2.5.1.1.	Elaboración de muestras.....	48
2.5.1.1.1.	Preparación de mezcla asfáltica. ....	49
2.5.1.1.2.	Compactación de mezcla asfáltica. ....	49
2.5.1.2.	Procedimiento de ensayo.....	49
2.5.1.3.	Resultados del ensayo. ....	49
<b>3.</b>	<b>ESTUDIO DE TRÁFICO.....</b>	<b>50</b>
<b>3.1.</b>	<b>ESTUDIO DE TRÁFICO URBANO.....</b>	<b>50</b>
3.1.1.	Índice Medio Diario Anual – IMDA.....	51
3.1.2.	Factor Direccional y Factor Carril.....	58
3.1.3.	Cálculo de tasas de crecimiento y proyección.....	58
3.1.4.	Número de repeticiones de ejes equivalentes.....	60
<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS DEL ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS PARA FINES DE PAVIMENTACIÓN.....</b>	<b>65</b>
<b>4.1.</b>	<b>OBTENCIÓN DE MATERIALES .....</b>	<b>65</b>
<b>4.2.</b>	<b>ENSAYOS DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE MATERIALES .....</b>	<b>66</b>
4.2.1.	Caracterización de Agregado Grueso para mezcla asfáltica. ....	66
4.2.1.1.	Análisis Granulométrico.....	67
4.2.1.2.	Durabilidad al sulfato de magnesio. ....	67
4.2.1.3.	Ensayo de abrasión – Los Ángeles.....	68
4.2.1.4.	Índice de durabilidad. ....	68
4.2.1.5.	Partículas chatas y alargadas. ....	69
4.2.1.6.	Caras fracturadas. ....	69

4.2.1.7.	Sales solubles totales.....	70
4.2.1.8.	Peso específico y absorción.....	70
4.2.1.9.	Peso unitario.....	71
4.2.2.	Caracterización de Agregado Fino para mezcla asfáltica.....	72
4.2.2.1.	Análisis Granulométrico.....	72
4.2.2.2.	Valor Equivalente de arena. ....	73
4.2.2.3.	Angularidad.....	73
4.2.2.4.	Azul de metileno. ....	74
4.2.2.5.	Índice de plasticidad.....	74
4.2.2.6.	Durabilidad al sulfato de magnesio.....	75
4.2.2.7.	Índice de durabilidad.....	75
4.2.2.8.	Sales solubles totales.....	75
4.2.2.9.	Peso específico y absorción.....	76
4.2.2.10.	Peso unitario.....	76
4.2.3.	Caracterización de filler. ....	77
4.2.3.1.	Densidad aparente. ....	77
<b>4.3.</b>	<b>PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE LABORATORIO.....</b>	<b>77</b>
4.3.1.	Resultados de caracterización de agregados para mezcla asfáltica.....	77
4.3.1.1.	Caracterización de Agregado Grueso.....	78
4.3.1.2.	Caracterización de Agregado Fino.....	79
4.3.1.3.	Caracterización de Filler. ....	80
4.3.1.4.	Caracterización del cemento asfáltico.....	80
<b>5.</b>	<b>DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.....</b>	<b>81</b>
<b>5.1.</b>	<b>CONSIDERACIONES GENERALES.....</b>	<b>81</b>
<b>5.2.</b>	<b>DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS - MÉTODO MARSHALL.....</b>	<b>81</b>
5.2.1.	Requerimiento Granulométrico Marshall MAC - 01. ....	82
5.2.2.	Diseño de Mezcla Asfáltica Convencional. ....	82
5.2.2.1.	Combinación de Agregados. ....	82
5.2.2.2.	Contenido Óptimo de asfalto Teórico. ....	85
5.2.2.3.	Dosificación para las briquetas.....	87
5.2.2.4.	Resultados del Ensayo Marshall.....	88
5.2.2.4.1.	Gráfica Estabilidad vs Contenido de asfalto. ....	89
5.2.2.4.2.	Gráfica Peso específico Bulk vs contenido de asfalto. ....	90

5.2.2.4.3.	Gráfica % vacíos vs contenido de asfalto. ....	91
5.2.2.4.4.	Gráfica Flujo vs contenido de asfalto. ....	92
5.2.2.4.5.	Gráfica V.M.A. vs contenido de asfalto.....	93
5.2.2.4.6.	Gráfica V.F.A. vs contenido de asfalto.....	94
5.2.2.4.7.	Gráfica Relación polvo – asfalto.....	95
5.2.2.4.8.	Gráfica Relación estabilidad - flujo. ....	96
5.2.2.5.	Determinación del óptimo contenido de C.A. ....	97
5.2.3.	Diseño de Mezcla Asfáltica Modificada. ....	97
5.2.3.1.	Combinación de Agregados. ....	98
5.2.3.2.	Dosificación para las briquetas.....	98
5.2.3.3.	Resultados del Ensayo Marshall con 4.5 % de C.A. ....	99
5.2.3.3.1.	Gráfica Estabilidad vs Contenido de fibras.....	100
5.2.3.3.2.	Gráfica Peso e. BULK vs Contenido de fibra.....	101
5.2.3.3.3.	Gráfica % de vacíos vs Contenido de fibra.....	102
5.2.3.3.4.	Gráfica Flujo vs Contenido de fibra.....	103
5.2.3.3.5.	Gráfica % V.M.A. vs Contenido de fibra.....	104
5.2.3.3.6.	Gráfica % V.F.A. vs Contenido de fibra.....	105
5.2.3.3.7.	Gráfica Relación estabilidad – flujo.....	106
5.2.3.3.8.	Gráfica Relación polvo - asfalto. ....	107
5.2.3.4.	Resultados del ensayo Marshall con 5.0 % y 5.5 % de C.A.....	108
5.2.3.4.1.	Gráfica Estabilidad vs Contenido de fibra. ....	109
5.2.3.4.2.	Gráfica Peso específico Bulk vs contenido de fibra.....	110
5.2.3.4.3.	Gráfica % vacíos vs contenido de fibra.....	111
5.2.3.4.4.	Gráfica Flujo vs contenido de fibra.....	112
5.2.3.4.5.	Gráfica V.M.A. vs contenido de fibra.....	113
5.2.3.4.6.	Gráfica V.F.A. vs contenido de fibra. ....	114
5.2.3.4.7.	Gráfica Relación polvo – asfalto.....	115
5.2.3.4.8.	Gráfica Relación estabilidad - flujo. ....	116
5.2.3.5.	Determinación del óptimo contenido de % F.P.....	117
<b>6.</b>	<b>ANÁLISIS DE DESEMPEÑO POR HUMEDAD Y RESISTENCIA AL DESGASTE DE LA MEZCLA ASFÁLTICA .....</b>	<b>118</b>
<b>6.1.</b>	<b>ENSAYO DE TSR.....</b>	<b>118</b>
6.1.1.	TSR en mezcla asfáltica convencional. ....	118
6.1.1.1.	Determinación del número de golpes que genera 7% de vacíos. ....	118

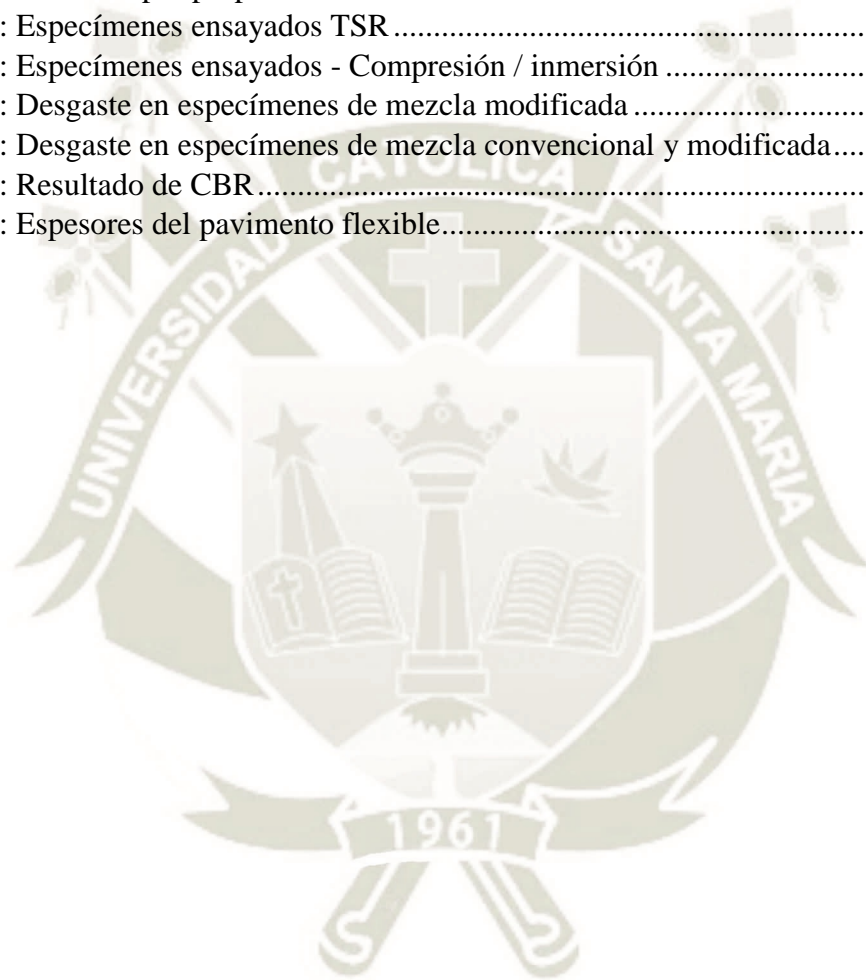
6.1.1.2.	Resultados TSR – Mezcla asfáltica convencional.....	120
6.1.2.	TSR en mezcla asfáltica adicionada con fibras. ....	121
6.1.2.1.	Determinación del número de golpes que genera 7% de vacíos. ....	121
6.1.2.2.	Resultados TSR – Mezcla asfáltica adicionada con fibras. ....	123
<b>6.2.</b>	<b>ENSAYO DE INMERSIÓN – COMPRESIÓN.....</b>	<b>124</b>
6.2.1.	Dosificación de briquetas .....	124
6.2.2.	Resultados inmersión – compresión en mezcla asfáltica convencional. ....	125
6.2.3.	Resultados inmersión – compresión en mezcla asfáltica adicionada con fibras. ....	126
<b>6.3.</b>	<b>ENSAYO DE RESISTENCIA AL DESGASTE.....</b>	<b>127</b>
6.3.1.	Resultados – desgaste mezcla asfáltica convencional.....	127
6.3.2.	Resultados – desgaste mezcla asfáltica adicionada con fibras. ....	127
<b>7.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>128</b>
<b>7.1.</b>	<b>COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS ENTRE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y MEZCLA ADICIONADA CON FIBRAS DE POLIPROPILENO ....</b>	<b>128</b>
7.1.1.	Comparación y análisis de propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica.....	128
7.1.1.1.	Análisis de pesos e. bulk vs tipo de mezcla.....	129
7.1.1.2.	Análisis de estabilidades vs tipo de mezcla.....	129
7.1.1.3.	Análisis de % de vacíos vs tipo de mezcla. ....	130
7.1.1.4.	Análisis de flujos vs tipo de mezcla. ....	130
7.1.1.5.	Análisis de % de V.M.A. vs tipo de mezcla.....	131
7.1.1.6.	Análisis de % de V.F.A. vs tipo de mezcla. ....	131
7.1.1.7.	Análisis de relación estabilidad – flujo vs tipo de mezcla.....	132
7.1.1.8.	Análisis de relación polvo – asfalto vs tipo de mezcla.....	133
7.1.2.	Comparación y Análisis de desempeño por humedad de la mezcla asfáltica.....	133
7.1.2.1.	Análisis de desempeño por humedad – resistencia conservada en el ensayo de tracción indirecta – TSR.....	134
7.1.2.2.	Análisis de desempeño por humedad – Inmersión / compresión. ....	136
7.1.3.	Comparación y Análisis de resistencia al desgaste de la mezcla asfáltica. ....	139
<b>8.</b>	<b>DISEÑO DE ESPESOR DE SUPERFICIE DE RODADURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE .....</b>	<b>141</b>
<b>8.1.</b>	<b>DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE.....</b>	<b>141</b>
8.1.1.	Generalidades. ....	141
8.1.1.1.	Criterios de diseño.....	141

8.1.1.2.	Parámetros básicos para el diseño. ....	141
8.1.2.	Metodología AASHTO 93. ....	144
8.1.3.	Resultados de diseño. ....	145
<b>9.</b>	<b>ANÁLISIS ECONÓMICO.....</b>	<b>147</b>
<b>9.1.</b>	<b>PAVIMENTO URBANO CON MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL .....</b>	<b>148</b>
9.1.1.	Aporte por m3 para preparación de Mezcla Asfáltica Convencional.....	148
9.1.2.	Aporte por m3/m2 de carpeta asfáltica convencional E= 0.12 m.....	148
9.1.3.	Metrado. ....	149
9.1.4.	Presupuesto por m2 de Pavimento y m3 de Mezcla Asfáltica. ....	150
<b>9.2.</b>	<b>PAVIMENTO URBANO CON MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON FIBRAS DE POLIPROPILENO.....</b>	<b>152</b>
9.2.1.	Aporte por m3 para preparación de Mezcla Asfáltica modificada.....	152
9.2.2.	Aporte por m3/m2 para mezcla asfáltica modificada.....	152
9.2.3.	Metrado. ....	153
9.2.4.	Presupuesto por m2 de Pavimento y m3 de Mezcla Asfáltica. ....	154
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>158</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>163</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>167</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>171</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Capas de un pavimento flexible .....	8
Figura 2: Conducta visco-elástica del cemento asfáltico.....	17
Figura 3: Fibras de Polipropileno Sika Fiber Force PP – 48 .....	18
Figura 4: Tamaños de fibra de polipropileno usados .....	19
Figura 5: Equipo Marshall .....	21
Figura 6: Estabilidad y flujo .....	21
Figura 7: Esquema - Marshall para mezcla asfáltica convencional.....	22
Figura 8: Esquema - Marshall para mezcla asfáltica adicionada con fibras de polipropileno ..	23
Figura 9: Carta de viscosidad - temperatura CA 85/100PEN.....	26
Figura 10: Separación de agregado grueso mediante tamizado .....	29
Figura 11: Preparación de Mezcla asfáltica convencional .....	30
Figura 12: Preparación de Mezcla asfáltica adicionada con fibras de polipropileno .....	30
Figura 13: Equipos empleados para la compactación de muestras .....	32
Figura 14: Especímenes recién compactados .....	32
Figura 15: Especímenes parafinados .....	33
Figura 16: Inmersión de especímenes en baño de agua a 60°C .....	34
Figura 17: Colocación de espécimen en el molde Marshall .....	35
Figura 18: Muestras ya ensayadas .....	35
Figura 19: Cabezal Lottman para ensayos de TSR .....	40
Figura 20: Esquema de elaboración de especímenes para ensayo de TSR .....	42
Figura 21: Máquina de compresión empleada para ensayo de I – C.....	44
Figura 22: Esquema de elaboración de especímenes para ensayo de inmersión – compresión	46
Figura 23: Ubicación del estudio de tráfico urbano. Arequipa, Arequipa.....	50
Figura 24: Foto del lugar de conteo vehicular .....	51
Figura 25: Ubicación de la cantera La Poderosa, Arequipa, Arequipa. ....	65
Figura 26: Análisis granulométrico de agregado grueso .....	67
Figura 27: Ensayo de durabilidad - Inmersión de muestra en la solución.....	67
Figura 28: Ensayo de abrasión - Máquina de los Ángeles .....	68
Figura 29: Ensayo de Índice de durabilidad .....	68
Figura 30: Partículas chatas y alargadas de agregado grueso.....	69
Figura 31: Caras fracturadas de agregado grueso.....	69
Figura 32: Sales solubles .....	70
Figura 33: Peso específico del agregado grueso.....	70
Figura 34: Calibración del molde de P.U. ....	71
Figura 35: Peso unitario compactado .....	71
Figura 36: Análisis granulométrico del agregado fino .....	72
Figura 37: Equivalente de arena del agregado fino .....	73
Figura 38: Angularidad del agregado fino.....	73
Figura 39: Solución de Azul de Metileno.....	74
Figura 40; Azul de Metileno en el agregado fino.....	74

Figura 41: Límite líquido.....	75
Figura 42; Límite plástico .....	75
Figura 43: Material para hallar peso específico del agregado fino .....	76
Figura 44: Peso específico del agregado fino.....	76
Figura 45: Filler – polvo de roca .....	77
Figura 46: Densidad aparente del filler .....	77
Figura 47: Ábaco para hallar el índice de asfalto .....	86
Figura 48: Fibras de polipropileno .....	98
Figura 49: Especímenes ensayados TSR.....	135
Figura 50: Especímenes ensayados - Compresión / inmersión .....	138
Figura 51: Desgaste en especímenes de mezcla modificada .....	140
Figura 52: Desgaste en especímenes de mezcla convencional y modificada.....	140
Figura 53: Resultado de CBR.....	143
Figura 54: Espesores del pavimento flexible.....	146



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Granulometría AASHTO T37 para filler .....	18
Tabla 2: Características de las Fibras de Polipropileno.....	19
Tabla 3: Requisitos para Mezclas asfálticas en caliente.....	24
Tabla 4: Selección del tipo de cemento asfáltico .....	24
Tabla 5: Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por viscosidad.....	25
Tabla 6: Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración.....	25
Tabla 7: Rangos de temperatura de aplicación °C.....	26
Tabla 8: Gradación para Mezcla asfáltica en caliente MAC .....	27
Tabla 9: Distribución de elaboración de especímenes para ensayo de estabilidad – flujo.....	28
Tabla 10: Número de golpes para compactación Marshall .....	31
Tabla 11: Fórmulas de la Hoja Marshall .....	39
Tabla 12: Distribución de elaboración de especímenes para ensayo de TSR .....	41
Tabla 13: Distribución de elaboración de especímenes para ensayo de inmersión – compresión .....	45
Tabla 14: Distribución de elaboración de especímenes para ensayo de pérdida por desgaste ..	48
Tabla 15: Periodo de conteo de tráfico Urbano.....	51
Tabla 16: Resumen del tráfico urbano - calle Salaverry .....	55
Tabla 17: Índice Medio Diario semanal e Índice Medio Diario Anual - calle Salaverry.....	56
Tabla 18: Factores de distribución Direccional y de Carril para determinar el tránsito en el Carril de diseño.....	58
Tabla 19: Tasa anual de crecimiento poblacional y de la economía expresada como el PBI del departamento de Arequipa.....	59
Tabla 20: Cálculo del tránsito proyectado al año "n" de pavimento urbano .....	59
Tabla 21: Tasas de crecimiento y Factor de crecimiento para pavimento urbano .....	60
Tabla 22: Relación de cargas por eje para determinar EE.....	60
Tabla 23: Peso máximo por ejes - Factor de EE.....	61
Tabla 24: Factor de EE por tipo de vehículo pesado .....	62
Tabla 25: Resultados del estudio del tráfico urbano – calle Salaverry.....	64
Tabla 26: Tipos de tráfico pesado según EE .....	64
Tabla 27: Requerimientos para el Agregado Grueso.....	66
Tabla 28: Requerimientos para el Agregado Fino.....	72
Tabla 29: Caracterización del Agregado Grueso.....	78
Tabla 30: Caracterización del Agregado Fino.....	79
Tabla 31: Caracterización del Filler .....	80
Tabla 32: Caracterización del cemento asfáltico.....	80
Tabla 33: Datos generales de Agregados .....	81
Tabla 34: Requerimientos MAC – 1 .....	82
Tabla 35: Combinación de agregados .....	83
Tabla 36: Cálculo de Áreas superficiales .....	85
Tabla 37: Variables para determinar el óptimo contenido teórico de asfalto.....	87

Tabla 38: % Óptimo teórico de C.A. ....	87
Tabla 39: Dosificación real en % para mezcla asfáltica convencional.....	87
Tabla 40: Resultados del Ensayo Marshall – Mezcla asfáltica convencional .....	88
Tabla 41: Características para el óptimo % de C.A.....	97
Tabla 42: Dosificación real en % para mezcla asfáltica adicionada con F.P. con 4.5% de C.A.....	98
Tabla 43: Dosificación real en % para mezcla asfáltica adicionada con F.P. con 5.0 y 5.5 % de C.A.....	98
Tabla 44: Resultados del Ensayo Marshall – Mezcla asfáltica adicionada con F.P. y 4.5 % C.A. ....	99
Tabla 45: Resultados del Ensayo Marshall – Mezcla asfáltica adicionada con F.P. y 5.0 / 5.5 % de C.A. ....	108
Tabla 46: Características para el óptimo % de F.P.....	117
Tabla 47: Número de golpes - TSR mezcla convencional .....	118
Tabla 48: Resultados TSR - Mezcla asfáltica convencional .....	120
Tabla 49: Número de golpes - TSR mezcla adicionada con F.P. ....	121
Tabla 50: Resultados TSR - Mezcla asfáltica convencional .....	123
Tabla 51: Dosificación para ensayo I - C / mezcla convencional .....	124
Tabla 52: Dosificación para ensayo I - C / mezcla modificada.....	124
Tabla 53: Resultados TSR - Mezcla asfáltica convencional .....	125
Tabla 54: Resultados TSR - Mezcla asfáltica modificada.....	126
Tabla 55: Resultados Desgaste - Mezcla asfáltica convencional .....	127
Tabla 56: Resultados Desgaste - Mezcla asfáltica modificada.....	127
Tabla 57: Dosificación de mezclas asfálticas .....	128
Tabla 58: Propiedades volumétricas de las mezclas asfálticas.....	128
Tabla 59: Desempeño por humedad de las mezclas asfálticas .....	133
Tabla 60: Valor de CBR para diseño.....	144
Tabla 61: Categorías de subrasante .....	144
Tabla 62: Cálculo del número estructural - SN.....	146
Tabla 63: Espesores de pavimento flexible .....	146
Tabla 64: Salarios y beneficios sociales .....	147
Tabla 65: Aporte de materiales por m <sup>3</sup> .....	148
Tabla 66: Aporte por m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> de mezcla asfáltica convencional .....	148
Tabla 67: Metrado de Pavimento urbano con mezcla convencional .....	149
Tabla 68: Presupuesto de Pavimento con mezcla asfáltica convencional .....	150
Tabla 69: Precio Unitario de mezcla asfáltica en caliente convencional .....	151
Tabla 70: Aporte de materiales por m <sup>3</sup> .....	152
Tabla 71: Aporte por m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> de mezcla asfáltica adicionada con fibras.....	152
Tabla 72: Metrado de Pavimento urbano con mezcla adicionada con fibras .....	153
Tabla 73: Presupuesto de Pavimento con mezcla asfáltica adicionada con fibras de polipropileno .....	154
Tabla 74: Precio Unitario de mezcla asfáltica en caliente adicionada con fibras.....	155

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Comparación entre el IMDS – IMDA .....	57
Gráfica 2: Combinación de agregados - MAC 01 .....	84
Gráfica 3: Estabilidad vs % C.A.....	89
Gráfica 4: Peso e. Bulk vs % C.A.....	90
Gráfica 5: % de vacíos vs % C.A. ....	91
Gráfica 6: Flujo vs % C.A. ....	92
Gráfica 7: V.M.A. vs % C.A. ....	93
Gráfica 8: V.F.A. vs % C.A.....	94
Gráfica 9: Relación polvo – asfalto .....	95
Gráfica 10: Relación estabilidad – flujo .....	96
Gráfica 11: Estabilidad vs % F.P.....	100
Gráfica 12: Peso e. bulk vs % F.P. ....	101
Gráfica 13: % de vacíos vs % F.P. ....	102
Gráfica 14: Flujo vs % F.P. ....	103
Gráfica 15: % V.M.A. vs % F.P. ....	104
Gráfica 16: % V.F.A. vs % F.P. ....	105
Gráfica 17: Relación estabilidad - flujo para mezcla asfáltica con F.P.....	106
Gráfica 18: Relación polvo – asfalto para mezcla asfáltica con F.P. ....	107
Gráfica 19: Estabilidad vs % F.P.....	109
Gráfica 20: Peso e. Bulk vs % F.P.....	110
Gráfica 21: % de vacíos vs % F.P. ....	111
Gráfica 22: Flujo vs % F.P. ....	112
Gráfica 23: V.M.A. vs % F.P. ....	113
Gráfica 24: V.F.A. vs % F.P.....	114
Gráfica 25: Relación polvo – asfalto – Mezcla asfáltica modificada .....	115
Gráfica 26: Relación estabilidad – flujo – Mezcla asfáltica modificada.....	116
Gráfica 27: N° de golpes vs % de vacíos – Mezcla convencional .....	119
Gráfica 28: N° de golpes vs % de vacíos – Mezcla modificada.....	122
Gráfica 29: Peso unitario vs tipo de mezcla .....	129
Gráfica 30: Estabilidad vs tipo de mezcla .....	129
Gráfica 31: % de vacíos vs tipo de mezcla.....	130
Gráfica 32: Flujo vs tipo de mezcla.....	131
Gráfica 33: % de V.M.A. vs tipo de mezcla.....	131
Gráfica 34: % de V.F.A. vs tipo de mezcla .....	132
Gráfica 35: Relación estabilidad/flujo vs tipo de mezcla.....	132
Gráfica 36: Relación polvo/asfalto vs tipo de mezcla .....	133
Gráfica 37: Resultados TSR vs tipo de mezcla .....	134
Gráfica 38: Esfuerzo Tensible en especímenes secos .....	134
Gráfica 39: Esfuerzo Tensible en especímenes sumergidos.....	135
Gráfica 40: Resultados inmersión - compresión vs tipo de mezcla.....	136

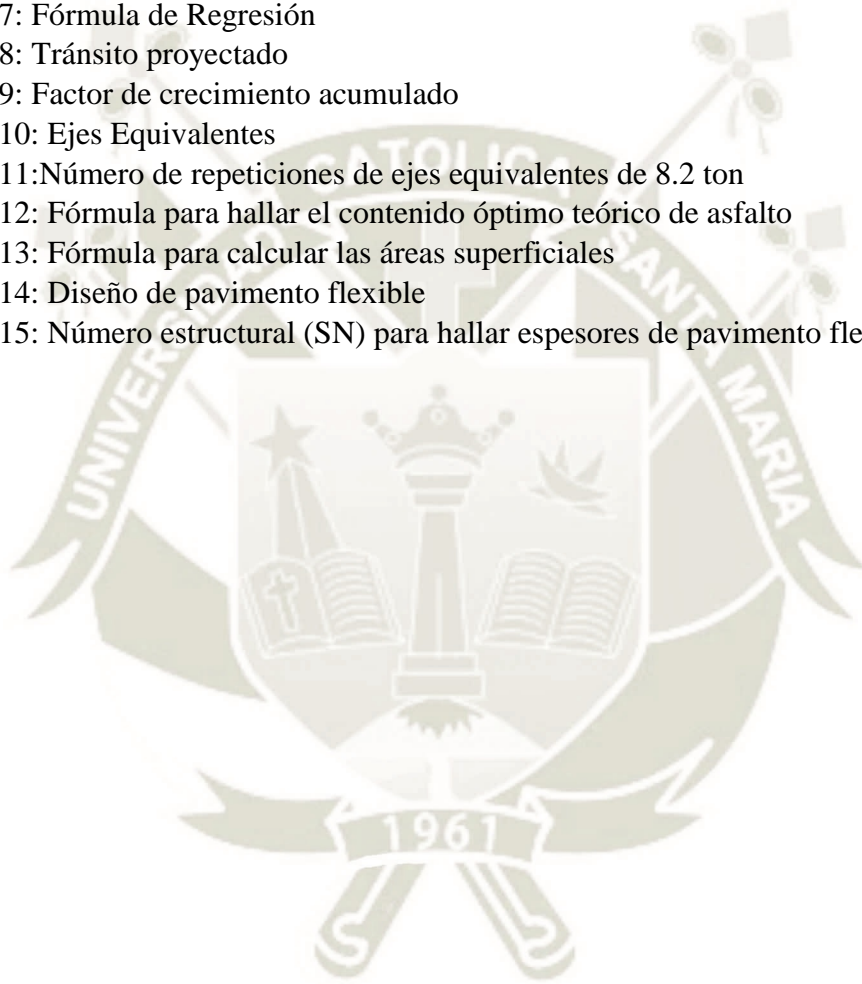
Gráfica 41: Carga máxima de especímenes secos .....	136
Gráfica 42: Carga máxima de especímenes sumergidos .....	137
Gráfica 43: Resistencia en especímenes secos .....	137
Gráfica 44: Resistencia en especímenes sumergidos .....	138
Gráfica 45: Resultados de resistencia al desgaste .....	139
Gráfica 46: Resultados de resistencia al desgaste vs tipo de mezcla.....	139
Gráfica 47: Columna Estratigráfica.....	142
Gráfica 48: Análisis económico de mezclas asfálticas.....	156
Gráfica 49: Comparación de ambas MAC .....	157



## ÍNDICE DE ECUACIONES

---

Ecuación 1: Fórmula para hallar el TSR	43
Ecuación 2: Fórmula para hallar el índice a la resistencia retenida	47
Ecuación 3: Fórmula para hallar el % de pérdida por desgaste	49
Ecuación 4: Fórmula para el cálculo del IMDA	51
Ecuación 5: Fórmula de la desviación estándar	52
Ecuación 6: Fórmula de la desviación estándar muestral	52
Ecuación 7: Fórmula de Regresión	54
Ecuación 8: Tránsito proyectado	58
Ecuación 9: Factor de crecimiento acumulado	59
Ecuación 10: Ejes Equivalentes	63
Ecuación 11: Número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 ton	63
Ecuación 12: Fórmula para hallar el contenido óptimo teórico de asfalto	85
Ecuación 13: Fórmula para calcular las áreas superficiales	85
Ecuación 14: Diseño de pavimento flexible	144
Ecuación 15: Número estructural (SN) para hallar espesores de pavimento flexible	145



## 1. GENERALIDADES

---

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1.1. Identificación y descripción del problema.

El mal estado de las vías del país se relaciona con la aparición de diferentes patologías tales como envejecimiento prematuro, agrietamiento, pérdida de agregados y ahuellamiento.

Si nos enfocamos en la ciudad de Arequipa, se evidencian dos grandes problemas, el primero relacionado con las temporadas de lluvia correspondiente a los meses entre diciembre y marzo, en los que las vías de la ciudad se ven severamente afectados por no contar con drenajes adecuados, y el segundo y aún más importante, la falta de consideración de todo el daño por humedad y la sensibilidad al agua, así como daños causados por estrés térmico que se presenta en los pavimentos y se evidencian en el mal estado de la capa de rodadura.

Todas estas problemáticas tienen un impacto sobre la infraestructura y los costos de mantenimiento asociados, además de poner en peligro a los vehículos y comprometer la seguridad de los conductores, por lo tanto, generan interés por el estudio de sus causas, relacionadas principalmente con la calidad de los componentes de la mezcla asfáltica, es decir, la calidad de los agregados, la calidad del asfalto, los procesos de producción y construcción, y en menor medida, con la calidad de los diseños.

De entre todas estas posibilidades, la calidad de los agregados y del asfalto, así como la calidad de las mezclas obtenidas a partir de estos, cobran importancia y se hace necesario identificar con mayor precisión su influencia en el desempeño de las capas flexibles, al igual que conllevan a la búsqueda de diferentes alternativas que permitan mejorar el comportamiento durante toda la vida útil de las estructuras de pavimento, así como su resistencia a daños por fatiga y factores climáticos.

La problemática de la calidad de las mezclas se ve reflejada, en el estado de las carreteras a nivel nacional, lo que abre toda una oportunidad de investigación para incluir materiales que beneficien a las propiedades de todos los componentes de la mezcla, y deriven en una mezcla asfáltica que cumpla todos los requerimientos solicitados para el diseño de un pavimento.

### **1.1.2. Importancia de la investigación.**

En la mayoría de ciudades del Perú, las vías asfaltadas se encuentran en muy mal estado, por tal motivo no cubren necesidades importantes para los ciudadanos como seguridad y comodidad al transitar por ellas.

A pesar de realizarse mantenimientos periódicos a las vías más importantes, estas en muy corto tiempo requieren de nuevas reparaciones lo que nos lleva a buscar opciones que mejoren las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas que conforman estas vías desde su diseño, en la actualidad ya se ha normalizado el uso de polímeros en el Perú, lo que brinda un punto de partida para probar con distintos materiales, en este caso fibras que han tenido muy buenos resultados en el comportamiento del concreto, por lo que se espera un comportamiento similar en las mezclas asfálticas, aportando beneficios a los aspectos que se consideran más importantes en la mezcla ; la resistencia y el buen desempeño a lo largo de su vida útil.

Tenemos claro que, para mejorar las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica, se deben mejorar todos los resultados de ensayos posibles contemplados en el Manual de Carreteras EG 2013, dentro de los cuales también considera ensayos de desempeño a la humedad, y como ya es sabido en nuestro país uno de los problemas más grandes es el daño que le ocasionan a las vías las lluvias, aún más en presencia de fenómenos naturales como el niño costero.

También se consideran ensayos a la pérdida por desgaste, que es un tema relacionado al envejecimiento de las vías.

En esta investigación se estudiará como una posible solución, la adición de fibras de polipropileno en proporción de áridos para una mezcla asfáltica en caliente.

## **1.2. HIPÓTESIS**

Dado que se desconoce el efecto de la inclusión de fibras de polipropileno en las mezclas asfálticas en caliente es probable que, al remplazar una fracción granulométrica de dichas mezclas con fibras, verificar y analizar mediante ensayos de laboratorio exista una mejora en las características y propiedades mecánicas que deben cumplir las mezclas asfálticas en caliente bajo los parámetros de la metodología Marshall, lo cual permita mejoras de resistencia y vida útil de los pavimentos flexibles.

### 1.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

#### 1.3.1. Objetivo General.

1. Comparar el comportamiento mecánico entre una mezcla asfáltica en caliente adicionada con fibras de polipropileno a diferentes dosificaciones y una mezcla asfáltica en caliente convencional, con el fin de determinar el efecto de las fibras de polipropileno en las mezclas asfálticas.

#### 1.3.2. Objetivos Específicos.

- Caracterizar los materiales granulares componentes de la mezcla asfáltica: agregados grueso y fino.
- Diseñar una mezcla asfáltica en caliente convencional óptima de pavimento flexible, con la dosificación adecuada de agregados y asfalto, usando el método Marshall.
- Diseñar una mezcla asfáltica en caliente modificada con diferentes dosificaciones de fibras de polipropileno, usando el método Marshall
- Determinar el tamaño de la fibra de polipropileno que tiene mejor respuesta cuando es adicionada a la mezcla asfáltica en caliente.
- Realizar ensayos de laboratorio para obtener las propiedades mecánicas tales como valores de flujo y estabilidad, para ambas mezclas en caliente, convencional y modificada con fibra de polipropileno, lo que permitirá comparar para posteriormente analizar los resultados que se obtendrán.
- Realizar ensayos de susceptibilidad a humedad (TSR) para ambas mezclas en caliente, convencional y modificada con fibra de polipropileno, lo que permitirá comparar para posteriormente analizar los resultados que se obtendrán.
- Realizar ensayos de susceptibilidad a humedad (Inmersión – compresión) para ambas mezclas en caliente, convencional y modificada con fibra de polipropileno, lo que permitirá comparar para posteriormente analizar los resultados que se obtendrán.
- Realizar el ensayo de resistencia al desgaste para ambas mezclas en caliente, convencional y modificada con fibra de polipropileno, lo que permitirá comparar para posteriormente analizar los resultados que se obtendrán.

- Analizar los resultados obtenidos y determinar la variación del comportamiento de las mezclas con la adición de fibras de polipropileno realizando una comparación frente a una mezcla asfáltica en caliente convencional.
- Realizar un estudio de tráfico a una zona urbana que permita obtener el número de ejes equivalentes, parámetro necesario para elaborar un diseño de pavimento flexible en el que se emplearía la mezcla asfáltica adicionada con fibras de polipropileno.
- Diseñar el espesor para superficie de rodadura del pavimento flexible.
- Comparar y analizar económicamente ambos diseños de mezcla asfáltica, convencional y adicionada con fibras de polipropileno.
- Comparar y analizar económicamente ambos costos de carpeta asfáltica, el que contempla mezcla asfáltica convencional y el que adiciona fibras de polipropileno.

#### **1.4. ANÁLISIS DE VARIABLES**

##### **1.4.1. Variable Independiente.**

- Cantidad de fibras de polipropileno adicionada a la mezcla asfáltica en caliente en % y a diferentes dosificaciones.

##### **1.4.2. Variable dependiente.**

- Mejoramiento de la capacidad de resistencia y deformación – ensayo de estabilidad / flujo.
- Mejoramiento de la resistencia al desprendimiento provocada por acción del tráfico – ensayo de resistencia al desgaste con máquina de Abrasión Los Ángeles.
- Incremento del valor de la carga máxima antes de fallar, considerando efectos por humedad – ensayo de Inmersión / compresión y ensayo de tracción indirecta TSR.

#### **1.5. ALCANCES**

La presente tesis de investigación consiste en estudiar el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente adicionada con fibras de polipropileno en remplazo de una fracción de áridos frente a una mezcla asfáltica en caliente convencional para un pavimento flexible en el departamento de Arequipa, ciudad de Arequipa, empleando para ello los agregados más usados de la zona, adquiridos de la cantera La Poderosa.

Los agregados empleados cumplen con las especificaciones de la norma del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC, 2013). El asfalto empleado es el PEN 85/100 adquirido de la empresa BRIMAX S.A. de la ciudad de Lima, pero producido por PETROPERU.

Según la granulometría obtenida se hizo necesario adquirir un filler, en este caso, polvo de roca CARPETEK de la empresa ROCATECH.

Una vez obtenidos todos los materiales se realizan los ensayos necesarios según norma EG 2013, la combinación de agregados final cumple con los husos granulométricos para mezcla asfáltica en caliente MAC – 01, con esto se elaboran dos diseños de mezcla uno convencional y otro adicionando fibras y se procede a la elaboración de briquetas, para su posterior ensayo con el equipo Marshall, además se realizan los ensayos de susceptibilidad a la humedad tales como el ensayo de TSR (Resistencia conservada en el Ensayo de Tracción Indirecta), ensayo de Inmersión-compresión, y ensayo de pérdida por desgaste haciendo uso de la máquina de Abrasión de los Ángeles. Finalmente se analizan y comparan los resultados obtenidos, además de elaborar un análisis económico.

## 1.6. ANTECEDENTES

En el Perú en el transcurso de los últimos años se han realizado trabajos de investigación acerca de la inclusión de fibras y distintos materiales que se presumen mejorarían las propiedades generales que debe satisfacer un pavimento, sin embargo, en la ciudad de Arequipa no hay estudios previos de mezclas asfálticas modificadas con algún material, siendo la presente tesis por esta razón el primer trabajo de investigación relacionado al tema, conformando además una base de datos base para cualquier investigación futura.

En el marco nacional e internacional los trabajos relacionados a la investigación de la adición de materiales a la mezcla asfáltica en caliente se detallan a continuación;

- Curo y Lizárraga (2017), en su tesis titulada “Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas y parámetros volumétricos de un concreto asfáltico con partículas de polipropileno en porcentajes variables en función al peso de la mezcla asfáltica, elaborado con los agregados de la región del cusco, cemento asfáltico de tipo convencional PEN 85-100 con filler respecto a un mezcla asfáltica tradicional”, plantearon como objetivo estudiar comparativamente las

- propiedades físico-mecánicas y medidas volumétricas de un concreto asfáltico convencional frente a un concreto asfáltico modificado con partículas de polipropileno.
- Vanegas (2016), en su tesis titulada “Caracterización mecánica de una mezcla asfáltica modificada con fibras de polipropileno” tuvo como objetivo principal el caracterizar el comportamiento de una mezcla asfáltica con fibras y diferentes porcentajes a través del módulo dinámico de los materiales y un ensayo de fatiga a tensión – compresión.
  - Jiménez (2016), en su tesis titulada “Análisis comparativo de la estabilidad y la deformación del pavimento asfáltico con fibras celulosas y pavimento asfáltico tradicional”, tuvo como objetivo establecer el comportamiento a la deformación de un pavimento con fibras celulosas y uno tradicional.
  - Benavides (2014), en su investigación titulada “Pavimentos ecológicos: Mejoramiento de las propiedades de una mezcla densa en caliente (MDC-2) modificada con desechos plástico”, planteó como objetivo determinar la influencia de los residuos plásticos en una mezcla asfáltica densa en caliente con respecto a sus propiedades físico - mecánicas.
  - Preciado y Sierra (2013), en su tesis titulada “Utilización de fibras desechas de procesos industriales como estabilizador de mezclas asfálticas SMA”, tuvieron como objetivo comparar el comportamiento mecánico de mezclas SMA y fibras de desechos industriales.
  - Burbano (2012), en su tesis “Obtención del porcentaje óptimo de asfalto para el diseño de mezclas densas en caliente, con cemento asfáltico modificado y normal, a través del método Marshall, empleando agregados pétreos y asfalto”, tuvo como objetivo comparar y determinar el contenido óptimo de ligante asfáltico para una mezcla densa en caliente con asfalto modificado con fibras de polipropileno y asfalto normal.
  - Reyes, Troncoso y Liscano (2005), en su artículo llamado “comportamiento mecánico y dinámico de una mezcla asfáltica con adición de fibras” realizaron el diseño Marshall para obtener el % óptimo de asfalto, para luego adicionar fibra de polipropileno en porcentajes de 0.15%, 0.30%, 0.45%, 0.60%, y 0.75% en peso con respecto al agregado.
  - Pinedo y Vaca (2018) en su tesis titulada “Efecto de la fibra de polipropileno en el comportamiento de la mezcla asfáltica en caliente, Trujillo 2018” realizaron ensayos Marshall a diferentes briquetas con distintas dosificaciones de fibra para determinar la influencia de estas en las mezclas asfálticas.

## 2. MARCO TEÓRICO

---

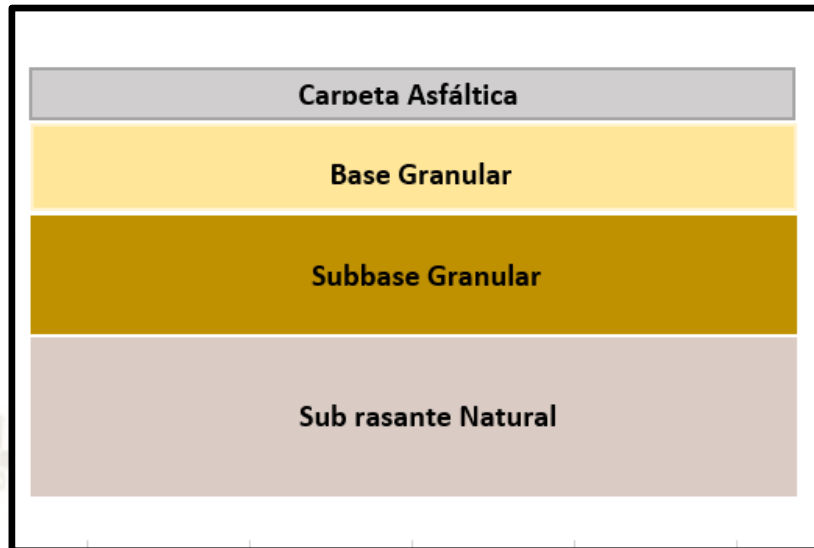
### 2.1. PAVIMENTOS

Llamamos pavimento a aquel elemento estructural conformado por capas superpuestas, diseñadas y fabricadas con materiales seleccionados aptos y debidamente compactados, construido para soportar el paso de vehículos, ya que recibe directamente las cargas del tránsito, por lo tanto, debe ser una estructura resistente, durable y eficiente.

Los materiales de mayor resistencia van en la capa superior y los de menor calidad, por ende, menor resistencia en las capas inferiores. Las capas que generalmente conforman un pavimento son la superficie de rodadura, base y sub base y se muestran en la figura 1.

- Superficie de rodadura: Es la capa más superficial que tiene como función principal proteger la subrasante y en general la estructura del pavimento, impermeabilizándola de contaminantes, evitando la filtración de fluidos y brindando resistencia a los esfuerzos que producen las cargas vehiculares. Esta capa debe brindar seguridad y comodidad a los usuarios, por lo que no debe presentar ondulaciones ni desniveles, además debe tener una textura apropiada que evite deslizamientos y un color adecuado que evite deslumbramientos.
- Base: Se encuentra debajo de la superficie de rodadura, recibe los esfuerzos de esta capa y tiene la función de transmitir estas cargas a las capas inferiores. Está conformada por material granular que puede ser tratado con asfalto, cal o cemento.
- Sub base: Esta capa actúa como un separador entre la base y la sub rasante, esta capa desempeña una función económica debido a que los materiales que la conforman no son de alta calidad, sus funciones son transmitir los esfuerzos a la sub rasante y evitar que sus finos se contaminen. De la misma manera que la base esta capa está conformada por material granular que puede o no ser tratada con asfalto, cal o cemento.
- Subrasante: es la superficie encargada de la estabilidad del pavimento. La subrasante interviene en el diseño de los espesores del pavimento y aun en condiciones severas de humedad debe proporcionar apoyo uniforme y permanente, es necesario que la subrasante este

conformada por materiales compactables ya que se debe obtener 95% de su grado de compactación. (Miranda Rebolledo, 2010)



*Figura 1: Capas de un pavimento flexible*  
*Fuente: Elaboración propia*

El motivo por el cual el pavimento se divide en capas es económico ya que, al determinar los espesores de las capas se espera que éstos sean lo necesariamente mínimo para reducir los esfuerzos sobre la capa inmediata superior.

En conjunto este elemento estructural tiene la función de soportar, transferir y distribuir las cargas que recibe de las ruedas de los vehículos hacia la subrasante para evitar agrietamientos u otras fallas sin sobrepasar la resistencia interna del pavimento, esto se logra siempre y cuando todas las capas que lo conformen estén en perfecto estado ya que de ser alteradas por factores externos tales como las lluvias no podría cumplir su función estructural.

Existen diferentes tipos de pavimentos, entre ellos; pavimento rígido, pavimentos flexibles y pavimento articulado, sin embargo, se profundizará en el pavimento flexible.

### **2.1.1. Pavimento flexible.**

Se define a este tipo de pavimento como aquel elemento estructural que está conformado generalmente por una capa resultante de la combinación de agregados cubiertos y adheridos con asfalto, conocida como carpeta bituminosa y una o más capas portantes, llamadas base y sub base, la presencia de estas capas dependerá del tipo y calidad de la subrasante que se tenga.

Y se le asigna el adjetivo flexible ya que sus dimensiones y estructura, están compuestas por materiales que permiten que se flexione o deforme dependiendo de las cargas que transiten sobre él. (Higuera, 2011)

La capa superior es la superficie de rodadura cuyo espesor oscila entre valores de 1" (25mm) a 3" (75 mm). ( The Asphalt Institute, 1997)

Un pavimento flexible tiene un periodo de vida comprendido entre 10 a 20 años, por lo que requiere constantes mantenimientos, comparado con el pavimento rígido el tiempo de ejecución es menor y tiene ventajas sobre éste como el que su construcción preliminar es económica y no cuenta con juntas de unión por lo que la circulación vehicular resulta ser más suave.

### **2.1.2. Tipo de fallas que presenta un pavimento flexible.**

En un pavimento flexible como una solución frente a la desmejorada vida útil que presentan se plantea hacer que la superficie asfáltica tenga el mayor desempeño posible, para ello esta debe ser diseñada de tal forma que sea duradera al deterioro ocasionado por factores climáticos y producto de la abrasión de los neumáticos, es decir, debe tener resistencia estructural de tal manera que todo desgaste o rotura sea de forma gradual y pueda cumplir con el ciclo de vida para el que fue diseñado.

Cuando esto no ocurre surge la necesidad de construir un pavimento nuevo o realizar mantenimientos que resultan incómodos para los usuarios al desviar o paralizar el tránsito.

Entre las patologías que se presentan en un pavimento tenemos:

- **Ahuellamiento:** siendo uno de los principales mecanismos de daño en las carpetas asfálticas de pavimentos flexibles, es la deformación vertical permanente o hundimiento producido por la constante repetición de cargas vehiculares, que generan la formación de depresiones longitudinales a lo largo de la trayectoria de las llantas. Esta patología genera fallas estructurales y funcionales pudiéndose presentar en cualquier capa que conforma un pavimento. (Rondón , Reyes, Gonzales, & Vasquez , 2012)

Según TAREFDER 2003 las causas del ahuellamiento estarían producidas por tres factores; en la mezcla asfáltica influirían la gradación de agregados y el contenido de asfalto, en las cargas la presión que ejercen las llantas y el tipo de eje y en el ambiente las precipitaciones, húmedas y cambios de temperatura.

La medición de estas fallas se expresa en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) y se subdividen en tres tipos dependiendo de la profundidad; bajas de 6 mm a 13 mm, medias de 13 mm a 25 mm y altas de más de 25 mm. (Rondón , Reyes, Gonzales, & Vasquez , 2012)

- Hinchamiento: esponjamiento vertical que se da en la carpeta asfáltica, producido por la presencia de arcillas expansivas, la medición de estas fallas se expresa en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) (Pinedo Diaz & Vaca Lopez, 2018)
- Piel de cocodrilo: fisuras interconectadas que forman polígonos irregulares en la carpeta asfáltica, con dimensiones menores a 0.30 m, fenómeno que se presenta debido a la fatiga (cargas repetidas sobre el pavimento). Este tipo de falla se divide en fisuras finas cuando son menores a 1.5 mm, fisura moderada cuando el ancho es menor a 5 mm y fisuras muy altas. La medición de estas fallas se expresa en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) (Gonzales, 2015)
- Desprendimiento de agregado: llamado también stripping, es ocasionado por un desgaste gradual, tiene como causas principales un sobrecalentamiento del bitumen, un pavimento inestable y débil o la infiltración de agua. Se clasifican según su severidad en baja media y alta, dependiendo de tamaño del diámetro y la profundidad; baja para diámetros menores a 25 mm, media entre 25 mm y 50 mm y alta mayores a 50 mm. Este tipo de fallas se expresa en número total de baches. (MOPC, 2016)

## 2.2. MEZCLA ASFÁLTICA

Llamada también aglomerado ya que está constituida por la combinación de agregados pétreos y ligante asfáltico de tal manera que estos queden cubiertos por una lámina continua de ligante, y formen finalmente un material de gran resistencia para posteriormente iniciar un proceso de compactación en la obra en la que será empleada. (Kraemer, 2009)

Las proporciones de los materiales que la conforman determinarán las propiedades físicas y el rendimiento de la mezcla que se obtendrá, pero esta composición es generalmente el 95% de agregados fino y grueso, pudiendo disminuir a 90% y completar el 5 % con filler y el 5% restante de cemento asfáltico.

Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, etc. Su principal función es brindar una superficie de rodadura cómoda para los usuarios del parque automotor.

### **2.2.1. Clasificación de las mezclas asfálticas.**

El tipo de mezcla asfáltica está en función de la temperatura de mezclado y de compactación y la clase de mezclas que tenga cada tipo está en función de su distribución granulométrica.

#### **2.2.1.1. Mezcla asfáltica en frío.**

Las mezclas asfálticas en frío son una mezcla de agregados, filler de ser necesario y emulsión asfáltica a temperatura ambiente. Se elaboran en una planta mezcladora móvil, se clasifican según su granulometría en:

- Mezcla asfáltica de granulometría densa: Mezcla uniforme y homogénea elaborada con materiales pétreos de tamaño nominal entre 37.5 mm (1 ½") y 9.5 mm (3/8"), este tipo de mezcla se emplea cuando no se requiere de resistencia estructural alta, para tránsitos bajos, o para la reparación de carpeta asfáltica como relleno de baches.
- Mezcla asfáltica de granulometría abierta: Resulta de la combinación de agregado grueso de granulometría uniforme más ligante bituminoso, esta mezcla se elabora, extiende y compacta a temperatura ambiente, se puede usar en obra inmediatamente después de su fabricación o almacenar por un tiempo sin problemas.

La temperatura de las mezclas asfálticas en frío (MAF) está comprendida entre 10°C a 30 °C. Una desventaja de las MAF está relacionada al alto contenido de vacíos que presentan, además la humedad que almacena la mezcla provoca una resistencia baja reflejada en la estabilidad y rigidez disminuidas.

#### **2.2.1.2. Mezcla asfáltica en caliente.**

Se le asigna este nombre debido a que sus componentes, es decir, agregados y ligante deben ser calentados hasta alcanzar temperaturas cercanas a los 150 °C antes de mezclarse. Se fabrican en una planta mezcladora estacionaria o móvil, una vez completado el mezclado la mezcla asfáltica se lleva a la zona a pavimentar se extiende y se compacta empleando rodillos que permiten obtener una superficie uniforme.

El principal propósito de diseño de esta mezcla es determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico, que varía dependiendo del tipo de materiales, sus propiedades y las condiciones ambientales a las que estén sometidos.

Para fabricar una mezcla asfáltica de buena calidad es necesario controlar con exactitud el contenido de asfalto y la temperatura de mezclado, por ende realizar un buen diseño de mezcla asfáltica, empleando instrumentos y equipos calibrados que respalden los resultados, de no ser así la estabilidad y durabilidad esperadas no se pueden garantizar. (Michael & Zaniewski, 2009)

Las mezclas asfálticas en caliente o HSM por sus siglas en inglés se clasifican según su granulometría en:

- Mezcla asfáltica de granulometría densa: Mezcla uniforme y homogénea, fabricada con materiales pétreos debidamente gradados y de tamaño nominal entre 37.5 mm (1 ½") y 9.5 mm (3/8") y cemento asfáltico.  
Este tipo de mezcla tiene un porcentaje de vacíos menor al 6 % y es usada para la construcción de pavimentos nuevos o refuerzo de pavimentos existentes.
- Mezcla asfáltica de granulometría abierta: Es la mezcla Open graded o porosa, es una mezcla uniforme y homogénea que presenta un porcentaje de vacíos alto, mayor al 12 %. elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos con tamaño nominal entre 12.5 mm (1/2") y 6.3 mm (1/4"). Se construyen sobre una capa de granulometría densa con el propósito de cumplir los requerimientos de calidad, pues permite que el agua sea desplazada por las llantas ocupando así los vacíos de la carpeta, haciendo que haya más fricción entre las llantas y la superficie.
- Mezcla asfáltica de granulometría discontinua: Mezcla uniforme y homogénea, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos de tamaño nominal entre 19.0 mm (3/4") y 9.5 mm (3/8"). Empleadas para conformar capas de rodadura o en capas inferiores para carreteras de alto tránsito.
- Mezcla asfáltica drenante: Una característica relevante de este tipo de mezclas es el alto contenido de vacíos que presentan, entre 16% a 25% o más. Se emplean como capa de

rodadura o como capa de alivio de fisuras. Los vacíos que presentan permiten el paso del agua, eliminándola de la superficie.

### **2.2.1.3. Mezcla asfáltica modificada.**

Las mezclas asfálticas convencionales actuales muestran incapacidad de resistir a la acción conjunta del tránsito y el clima, por lo que surge la necesidad de emplear ligantes modificados que presenten mejor grado de adherencia con los agregados, mayor resistencia al envejecimiento y menor susceptibilidad a la humedad.

En este tipo de mezclas asfálticas se contemplan a todas aquellas que han sido modificadas en su elaboración, haciendo uso de materiales o aditivos que se añaden al cemento asfáltico con la finalidad de mejorar las características de mezclas asfálticas convencionales.

El cemento asfáltico es el responsable del comportamiento visco – elástico de la mezcla, por lo tanto, las propiedades de los asfaltos son determinantes en el funcionamiento de las vías, es por eso que se pretende mejorar este comportamiento añadiendo fibras de polipropileno a la mezcla asfáltica tradicional.

### **2.2.2. Características de las mezclas asfálticas.**

Las propiedades volumétricas de la mezcla representan las características más importantes pues si los valores son óptimos se puede determinar cómo será su desempeño en la estructura final de pavimento.

#### **2.2.2.1. Densidad de la mezcla asfáltica.**

Esta característica no es más que el peso unitario de la mezcla asfáltica, expresado en (kg/m<sup>3</sup>) y se entiende como la masa de un volumen específico de mezcla. Se obtiene al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg/m<sup>3</sup>).

Es una característica importante pues para obtener un rendimiento prolongado es necesario tener una densidad alta en los pavimentos. (The Asphalt Institute MS-22, 1992)

#### **2.2.2.2. Vacíos de aire.**

Todas las mezclas asfálticas en caliente compactadas tienen vacíos de aire que se encuentran entre las partículas de agregado con asfalto, estos vacíos influyen en la durabilidad del pavimento y la

norma peruana contempla un rango de valores para estos vacíos de aire en muestras de laboratorio comprendido entre el 3% y el 5%, si se tuviese menos del 3% se trataría de una mezcla rígida que presentaría fisuras al poco tiempo de construido el pavimento y si tuviese más del 10% se trataría de una mezcla muy permeable. Los vacíos de aire permiten que haya una compactación adicional bajo las cargas de tráfico, ya que al soportar estas cargas el asfalto puede fluir y acomodarse.

#### **2.2.2.3. Vacíos de agregado mineral – V.M.A.**

Se definen como la suma de los vacíos entre las partículas de agregado mineral, vacíos de aire más los vacíos rellenos con asfalto VFA de una mezcla asfáltica ya compactada.

Para una mezcla diseñada bajo la metodología Marshall y con un agregado de tamaño nominal de 19 mm o (3/4") el VMA mínimo es de 14 %.

#### **2.2.2.4. Vacíos rellenos de asfalto – V.F.A.**

Se define el VFA como el porcentaje del VMA que contiene el asfalto en la mezcla asfáltica ya compactada, se obtienen al restar los vacíos de aire del VMA y dividiéndolo entre el VMA.

El porcentaje de VFA es muy importante pues limita los niveles máximos para el VMA y en consecuencia el contenido óptimo de asfalto, además es un indicador de la cantidad de asfalto usado en la mezcla, valores demasiado bajos indican la insuficiencia de asfalto.

El VFA de la mezcla asfáltica debe estar comprendido entre el 65 % y 75 %.

#### **2.2.2.5. Contenido de Asfalto.**

Es la cantidad óptima de cemento asfáltico que se debe usar para elaborar una mezcla asfáltica de buena calidad, está en función de las características más importantes de los agregados como la absorción y la granulometría.

Este contenido óptimo de asfalto se halla en laboratorio después de caracterizar los agregados, y probar con diferentes dosificaciones de contenido asfáltico.

#### **2.2.3. Materiales de una mezcla asfáltica.**

Como ya hemos mencionado la composición de una mezcla asfáltica en caliente consta de agregados pétreos y cemento asfáltico, pudiendo también contener filler si la combinación de agregados lo requiriese.

### **2.2.3.1. Cemento asfáltico.**

Este tipo de asfalto llamado cemento asfáltico o bitumen es un material cementante pegajoso y viscoso de color marrón oscuro o negro, que tiene diferentes consistencias, puede ser sólido o semisólido en temperaturas ambientales normales, al calentarse a temperaturas de  $145^{\circ}\text{C} \pm 30^{\circ}\text{C}$  no debe formar burbujas, pero si cambiar a una consistencia líquida que permita cubrir las partículas de agregado durante la elaboración de mezcla asfáltica en caliente. Es un material preparado especialmente para pavimentación, derivado del petróleo, compuesto de carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre y oxígeno.

Se expresan con las letras C.A. y se clasifican según el grado de dureza que presenten, el cual se mide con el ensayo de penetración, el cual consiste en dejar penetrar una aguja 5 seg. dentro de la muestra de asfalto bajo una carga estipulada de 100 g. La norma en la que se basa esto es la ASTM D-946 (clasificación estándar por grado de penetración para cementos asfálticos utilizados en pavimentos), en el Perú los C.A. comerciales son el CA 40-50 PEN, CA 60-70 PEN, CA 85-100 PEN, CA 120-150 PEN y su uso varía de acuerdo a la climatología del lugar en el que se realizará la pavimentación.

#### **2.2.3.1.1. Propiedades físicas del asfalto.**

Las propiedades físicas del asfalto más relevantes son su durabilidad, que es el tiempo en que este mantendrá sus características originales a pesar del proceso de envejecimiento y degradación natural, la susceptibilidad a la temperatura ya que el asfalto debe ser fluido en temperaturas altas, la adhesión que es la capacidad de adherencia con los agregados que conforman la mezcla asfáltica, El cemento asfáltico además es un material impermeable que no recibe daños por acción de sales, ácidos o álcalis, es decir, un pavimento correctamente diseñado y construido será impermeable y resistente a daños químicos salvo la oxidación que se puede presentar en varios años a partir de la finalización de construcción del pavimento.

La oxidación es una reacción química que vuelve al asfalto frágil, debido a que la carpeta asfáltica se endurece excesivamente, sin embargo, a pesar de que este proceso se da de forma lenta puede acelerarse cuando el asfalto esté sometido a altas temperaturas. Las carpetas asfálticas que no fueron debidamente compactadas y por ende presentan mayor porcentaje de vacíos permitiendo el

paso de oxígeno a la mezcla y aquellas con muchos años de construcción, ya deterioradas son más propensas a sufrir este daño.

#### *2.2.3.1.2. Comportamiento físico mecánico del asfalto.*

Como se mencionó anteriormente el cemento asfáltico es responsable del comportamiento visco – elástico de la mezcla, y por ello está en función de las condiciones de carga, así como de temperatura y del envejecimiento del asfalto.

El cemento asfáltico expuesto a temperaturas extremadamente altas o a condiciones de velocidad y carga sostenidas, como por ejemplo un camión a velocidad lenta se puede comportar como un líquido viscoso o conocido también como plástico y una característica de estos es el hecho de que una vez que comienzan a fluir pierden su forma y nunca la recuperan, es por esto que se debe tener cuidado al usar las mezclas asfálticas (esparcido) en un día caluroso pues esta podría fluir bajo la acción del tránsito vehicular y comportarse como un líquido plástico, y por ello perder adherencia agregado – asfalto, lo que ocasionaría desprendimiento de la carpeta asfáltica.

Caso contrario cuando el cemento asfáltico se expone a temperaturas bajas o tráfico pesado a una alta velocidad generando así cargas repetitivas cambia su comportamiento al de un sólido elástico, y en este comportamiento tiene la capacidad para recuperar su forma original una vez desplazada la carga, pero de excederse la capacidad de carga se producirían fracturas.

Cuando el cemento asfáltico se encuentra a temperatura ambiente, la carpeta asfáltica tiende a comportarse de las dos formas descritas anteriormente, líquida plástica y sólida elástica lo que permite al asfalto tener una buena adherencia con el agregado y utilizar ventajas de ambos estados, por un lado, al calentarse se fluidifica cubriendo satisfactoriamente los agregados, mejorando la adherencia entres los componentes de la mezcla y una vez que el asfalto se enfría este trabaja como ligante uniendo el agregado formando una mezcla sólida, la cual, en su estado final se comporta de manera visco-elástica.

En la figura 2. Se observa que las temperaturas altas en un periodo corto de tiempo, son directamente proporcionales a lo que ocurre a temperaturas bajas en un periodo largo de tiempo.

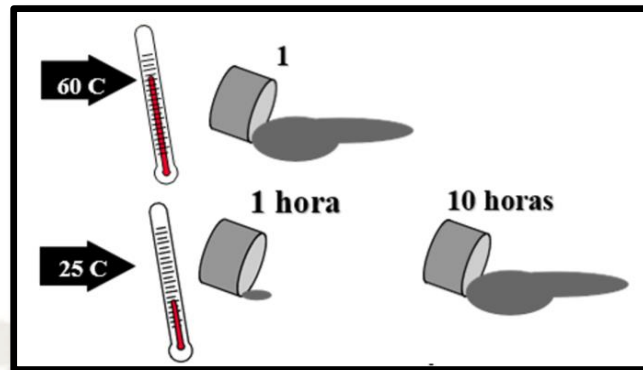


Figura 2: Conducta visco-elástica del cemento asfáltico  
Fuente: [https:// comportamiento-físico-mecánico-del-asfalto/](https://comportamiento-fisico-mecanico-del-asfalto/)

### 2.2.3.2. Agregados.

Los agregados pétreos proceden de las rocas, es decir, son partículas fragmentadas y deben tener una granulometría característica y apropiada para formar parte de la mezcla asfáltica, estas características cuyo fin es evitar el desprendimiento de materiales causados por el tránsito o factores ambientales están descritas en el Manual de Carreteras EG 2013.

Estos agregados se dividen en agregado grueso, agregado fino y filler.

- Agregado grueso: Según el (Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC, 2013) en el ítem MTC E-207 se llama agregado grueso a la porción de material retenido en el tamiz de 4.75 mm (N°4), que no debe tener fragmentos planos o alargados en más del 5% de su peso. Proviene de la trituración de rocas, gravas o combinaciones entre estos materiales.
- Agregado fino: Según el (Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC, 2013) se llama agregado fino a la porción de material que está comprendida entre los tamices de 4.75 mm (N°4) y 75  $\mu$ m (N°200). Este tipo de agregado proviene de la trituración de piedra, escoria o grava o puede ser también arena natural. Se emplean principalmente para que ocupen la mayor cantidad de vacíos y de esta forma hacer más compacta la mezcla.
- Filler: Llamado también rellenedor, se incorpora a la mezcla normalmente con el fin de cumplir los requerimientos granulométricos, es aquella porción mineral conformada de partículas finas resultado de la trituración de agregados pétreos de lo que se obtiene polvo de

roca, o pueden ser materiales comerciales como cal apagada o cemento portland, este fino polvillo se puede obtener también como residuo del lavado de agregados machacados.

Para su uso es importante que no presente características plásticas, debe estar totalmente seco y no debe ser grumoso, además de cumplir con la granulometría descrita en el método AASTHO T37 (ASTM D546) y mostrada en la tabla 1.

N° DE TAMIZ	PORCENTAJE EN PESO SECO QUE PASA (g)
30	100
100	90
200	65

Tabla 1: Granulometría AASTHO T37 para filler  
Fuente: The Asphalt Institute, 1973

### 2.2.3.3. *Fibras de polipropileno.*

Las fibras de polipropileno son un tipo de fibra macro sintética estructural diseñada y usada actualmente como uno de los tantos materiales que refuerzan el concreto, fabricada a partir de polímeros de polyolefina de alto desempeño y deformadas mecánicamente para mejorar su anclaje, son de color blanco.

Las fibras que se emplearon en esta investigación son las SIKA Fiber Force PP - 48, mostradas en la figura 3, cuyas dimensiones son 48 mm de largo, 1.2855 mm de ancho, 0.3325 mm de espesor.



Figura 3: Fibras de Polipropileno Sika Fiber Force PP – 48  
Fuente: Elaboración propia

Estas dimensiones no necesariamente mejorarán las características mecánicas de la mezcla asfáltica, como se ve en la fig. 4, fue necesario probar con diferentes tamaños de fibra.



Figura 4: Tamaños de fibra de polipropileno usados  
Fuente: Elaboración propia

Una característica muy importante de estas fibras es su alta resistencia a álcalis, sales y ácidos, propiedad que comparten con el cemento asfáltico. El punto de ablandamiento de estas fibras se produce a los 170 °C, temperatura cercana a la que deben estar los materiales de la mezcla asfáltica para lograr una buena adherencia y ser de buena calidad.

En la tabla 2 se detallan sus características más importantes, además la ficha técnica de las fibras se encuentra en el anexo 7.

FIBRAS DE POLIPROPILENO	
Absorción de agua	0%
Gravedad específica	0.92
Resistencia a la tracción	620 Mpa
Punto de fusión	440 °C
Punto de ablandamiento	170 °C
Resistencia a álcalis, sales y ácidos	alta

Tabla 2: Características de las Fibras de Polipropileno  
Fuente: Hoja técnica Sika Fiber Force PP - 48

## 2.3. METODOLOGÍA MARSHALL EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

### 2.3.1. Método Marshall.

El método Marshall es el más usado en Latinoamérica para obtener la dosificación óptima del cemento asfáltico de la mezcla asfáltica en caliente, fue desarrollado por el Ingeniero Bruce Marshall en 1929, en el departamento vial de Mississippi, pero fue mejorado por el Army Corps of Engineers o Cuerpo de Ingenieros del ejército Norteamericano en 1943, con la adición de nuevas características producto de investigaciones, pruebas de tránsito y estudios de correlaciones que permitieron finalmente obtener los criterios que conocemos para el diseño de mezclas actual, entre

ellos que el método inicial solo era aplicable para las mezclas asfálticas en caliente producidas con cemento asfáltico y agregados de tamaño nominal máximo de 1", ahora se puede emplear para agregados de hasta 1 ½" .

Este método puede emplearse en laboratorio o para control en obra de las mezclas asfálticas en caliente para pavimentación, se usa para el diseño y para la evaluación de las mezclas asfálticas, consiste en la elaboración de especímenes de dimensiones normalizadas con altura de 64 mm (2.5") y 102 mm (4") de diámetro y tiene dos características importantes que determinan la calidad de estas; el análisis de la densidad y vacíos y el ensayo de estabilidad – flujo.

Es un método con muchas ventajas, como el ser de bajo costo y sencillo de realizar por la simpleza de los equipos, además de producir densidades que se asemejan a las densidades en campo.

### **2.3.2. Estabilidad y flujo.**

El ensayo de estabilidad – flujo está estandarizado en la ASTM-D6926: "Standard Practice for Preparation of Bituminous Specimens Using Marshall Apparatus", ATM D 6927, y contemplado en el Manual de Ensayos de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, en la norma MTC E - 504, que describe el procedimiento a seguir para ensayar los especímenes preparados previamente.

El valor de estabilidad de cada muestra representa la resistencia estructural de la mezcla asfáltica compactada, se determina empleando el principio de corte en compresión semi confinada, sometiendo a las muestras a esfuerzos de compresión diametral. Este valor puede verse afectado principalmente por el contenido de asfalto, la composición granulométrica y el tipo de agregado empleado, por lo tanto, este valor es un indicador de la calidad del agregado y de la mezcla final.

El valor del Flujo de cada muestra representa la deformación producida en el sentido del diámetro del espécimen antes de producirse la fractura, es un indicador de la tendencia para alcanzar una condición plástica o inestable y en consecuencia de la resistencia que ofrecerá la carpeta asfáltica a deformarse bajo la acción de las cargas producidas por el tránsito.

El Método de diseño Marshall determina el procedimiento para realizar el ensayo de estabilidad y fluencia a mezclas asfálticas en caliente haciendo uso del equipo Marshall mostrado en las figuras 5 y 6.

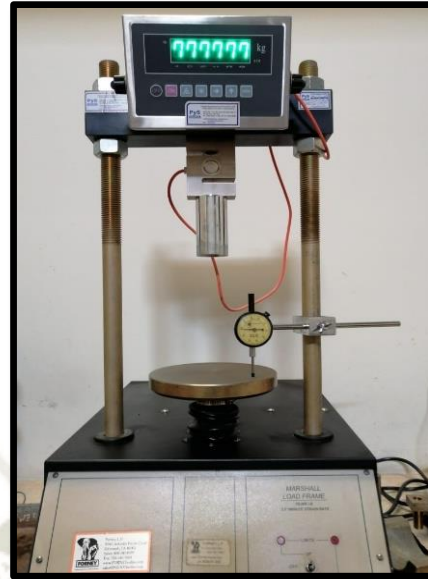


Figura 5: Equipo Marshall  
Fuente: Elaboración propia

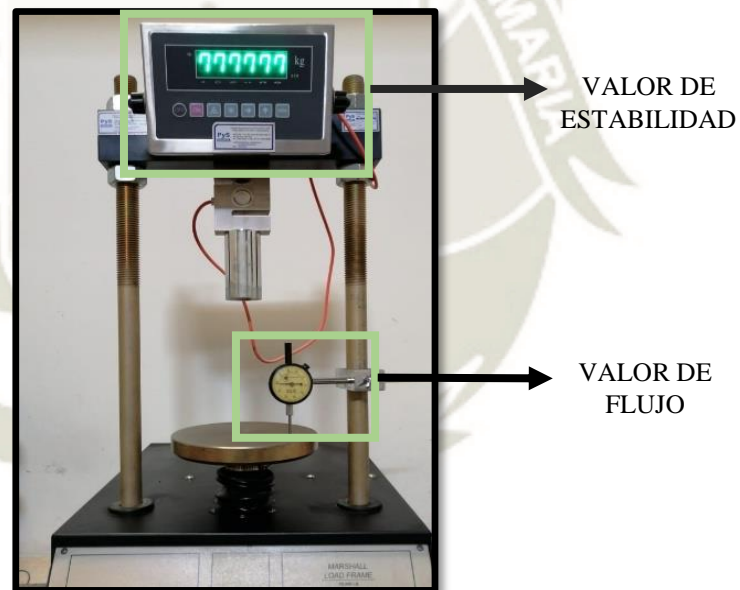


Figura 6: Estabilidad y flujo  
Fuente: Elaboración propia

### 2.3.3. Esquema del método Marshall.

Para poder desarrollar el método Marshall se elaboró un esquema con la secuencia de procedimientos a seguir tanto para el diseño de la mezcla convencional como para el diseño de la mezcla modificada con fibras de polipropileno.

**2.3.3.1. Esquema – mezcla asfáltica convencional.**

Este esquema es una secuencia de 07 pasos a seguir para obtener un buen diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional.

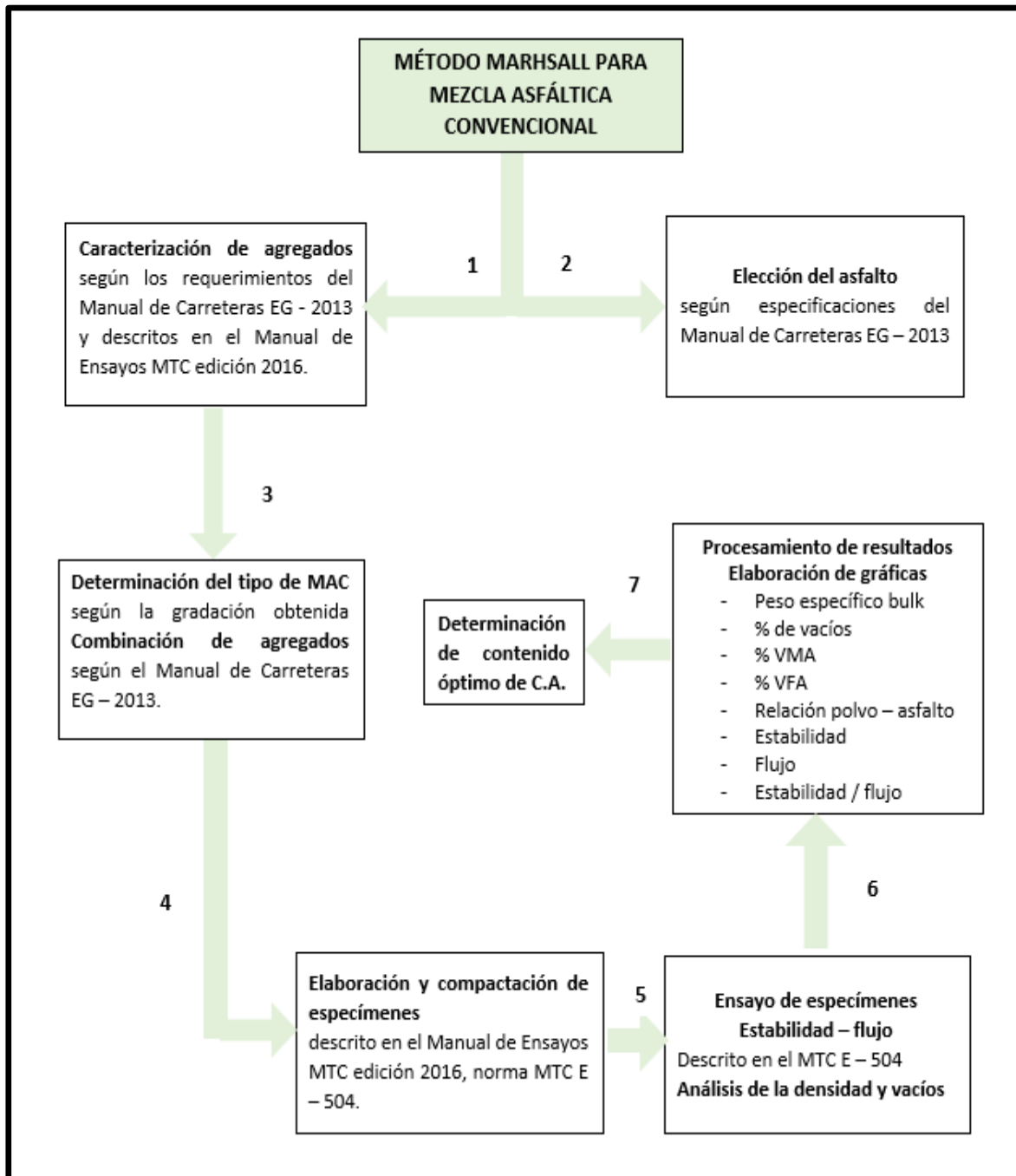


Figura 7: Esquema - Marshall para mezcla asfáltica convencional  
Fuente: Elaboración propia

### 2.3.3.2. Esquema – mezcla asfáltica con fibras de polipropileno.

Este esquema es una secuencia de 05 pasos a seguir para obtener un buen diseño de mezcla asfáltica en caliente adicionada con fibras de polipropileno.

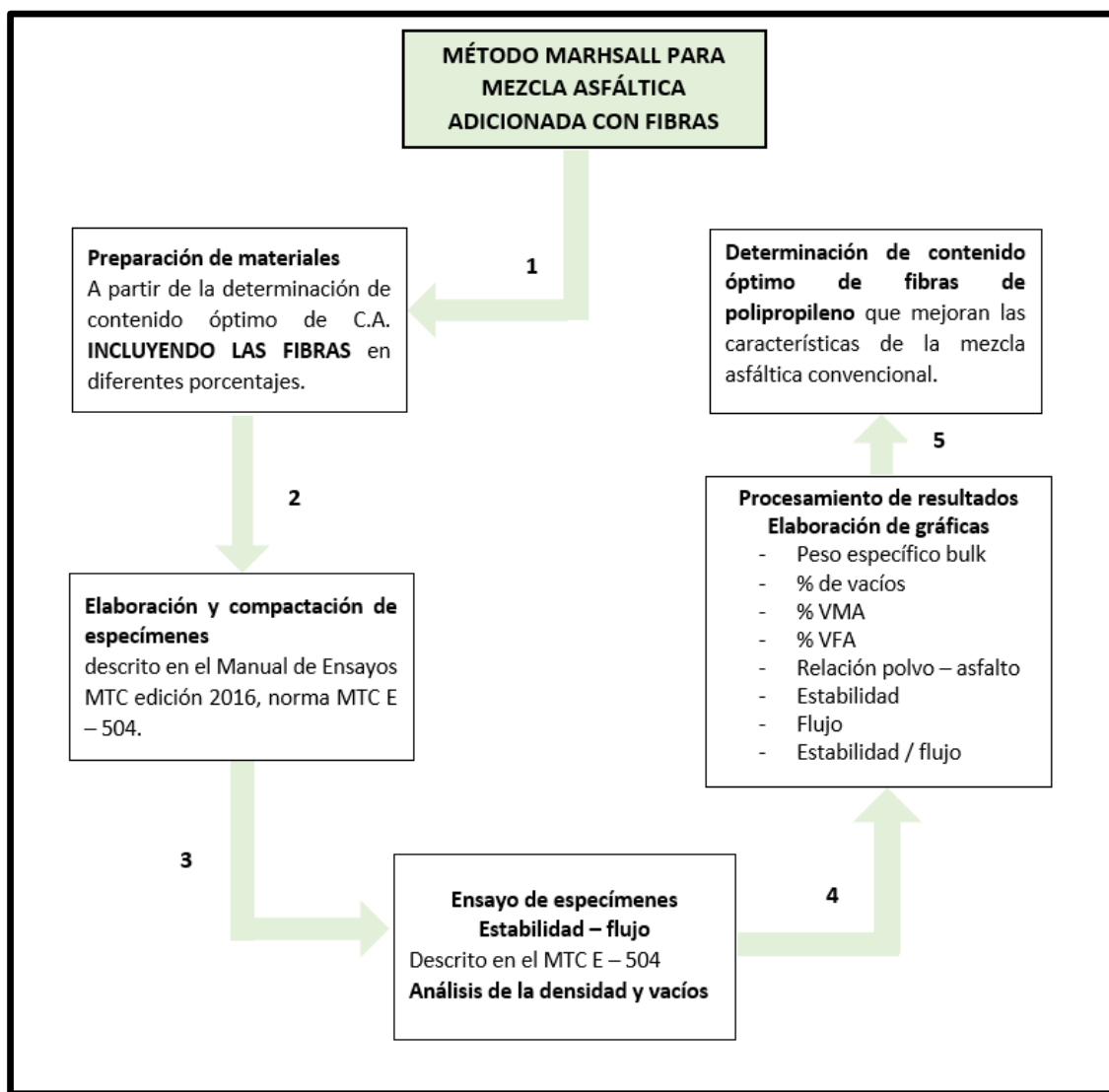


Figura 8: Esquema - Marshall para mezcla asfáltica adicionada con fibras de polipropileno  
Fuente: Elaboración propia

### 2.3.4. Consideraciones para el diseño de mezcla asfáltica en caliente.

Las consideraciones más importantes para un diseño de mezcla asfáltica tienes que ver sobre todo con el tipo de materiales, y la elección de cada uno de ellos estará en función a si cumple con requisitos mínimos de calidad.

Los requerimientos que se tienen que cumplir para cualquier mezcla asfáltica se muestran en la tabla 3.

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
<b>Marshall MTC E - 504</b>			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	5,44 kN	4,53 kN
3. Flujo 0,01" (0.25 mm)	8 - 14	8 - 16	8 - 20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3 - 5	3 - 5	3 - 5
5. Vacíos en el agregado mineral	Ver tabla 423 - 10		
<b>Inmersión – Compresión (MTC E - 518)</b>			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación polvo - Asfalto	0,6 – 1,3	0,6 – 1,3	0,6 – 1,3
Relación Estabilidad / Flujo (kg/cm)	1.700 - 4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 Mín.		

Tabla 3: Requisitos para Mezclas asfálticas en caliente  
Fuente: Manual de Carreteras – EG 2013

Las consideraciones más importantes para el diseño de mezcla se detallan a continuación.

### 2.3.4.1. Selección del Tipo de cemento asfáltico.

La determinación del tipo de cemento asfáltico a usar estará relacionada a las características del clima y temperatura que presente la región de la zona a pavimentar, así como a la carta de viscosidad, es por ello que los cementos asfálticos serán clasificados según la viscosidad absoluta y la penetración que tengan.

El cemento asfáltico por lo tanto debe satisfacer una de las clasificaciones mostradas en la tabla 4 y establecidos en el Manual de Carreteras - EG 2013 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC, 2013), según las temperaturas.

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

Tabla 4: Selección del tipo de cemento asfáltico  
Fuente: Manual de Carreteras EG 2013, MTC

Los diferentes tipos de cemento asfáltico en función de las diferentes viscosidades y penetraciones que tengan deberán cumplir los requisitos de calidad indicados en las tablas 5 y 6 respectivamente y de acuerdo al Manual de Carreteras - EG 2013.

Características	Grado de viscosidad				
	AC - 2,5	AC - 5	AC - 10	AC - 20	AC - 40
Viscosidad absoluta a 60°C, Poises	250±50	500±100	1.000±200	2.000±400	4.000±800
Viscosidad cinemática, 135°C St. mínimo	80	110	150	210	300
Penetración 25°C. 100gr, 5 s mínimo	200	120	70	40	20
Punto de inflamación COC, °C mínimo	163	177	219	232	232
Solubilidad en tricloroetileno, % masa, mínimo	99	99	99	99	99
Pruebas sobre el residuo del ensayo de película fina.					
- Viscosidad absoluta, 60°C, Poises máximo	1.250	2.500	5.000	10.000	20.000
- Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm, mínimo	100	100	50	20	10
Ensayo de la mancha (Oliensies) (1)					
Solvente Nafta Estándar	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Nafta - Xileno, % Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Heptano - Xileno, % Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

(1) Porcentajes de solvente a usar, se determina si el resultado indica positivo.  
Fuente: ASTM D 3381, NTP

Tabla 5: Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por viscosidad  
Fuente: Manual de Carreteras EG 2013, MTC

Características		Grado de Penetración									
Grado	Ensayo	PEN 40-50		PEN 60-70		PEN 85-100		PEN 120-150		PEN 200-300	
		Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Pruebas sobre el material Bituminoso											
Penetración 25°C. 100gr, 5s, 0.01 mm	MTC E - 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de inflamación °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 tricloroetileno, %	MTC E - 302	99,0		99,0		99,0		99,0		99,0	
Índice de penetración (susceptibilidad térmica) (1)	MTC E - 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
Ensayo de la mancha (Oliensies) (2)											
Solvente Nafta Estándar	AASHTO M 20	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Nafta - Xileno, % Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Heptano - Xileno, % Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Pruebas sobre la película delgada a 163°C, 3,2 mm, 5h											
Pérdida de masa %	ASTM D 1754		0,8		0,8		1,3		1,0		1,5
Penetración reunida después del ensayo de película fina, %	MTC E - 304	55+		52+		47+		42+		37+	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5cm/min, cm (3)	MTC E - 306			50		75		100		100	

(2) , (2) ensayos opcionales para su evaluación complementaria del comportamiento geológico en el material bituminoso indicado  
(3) si la ductilidad es menor de 100 cm, el material se aceptará si la ductilidad a 15,5 °C es mínimo 100 cm a la velocidad de 5cm/min.

Tabla 6: Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración  
Fuente: Manual de Carreteras EG 2013, MTC

**2.3.4.2. Determinación de temperatura de mezclado y compactado de muestras.**

Una vez que se seleccione el tipo de asfalto se procede a determinar la temperatura de aplicación, que no es más que la temperatura de mezclado. Para el presente trabajo de investigación se usó cemento asfáltico CA 85/100 PEN de PETROPERU, cuya carta de viscosidad – temperatura y ficha técnica mostrados en el anexo 06, y de manera resumida en la figura 9, indican que la temperatura ideal de mezcla está comprendida entre 134°C y 152 °C.

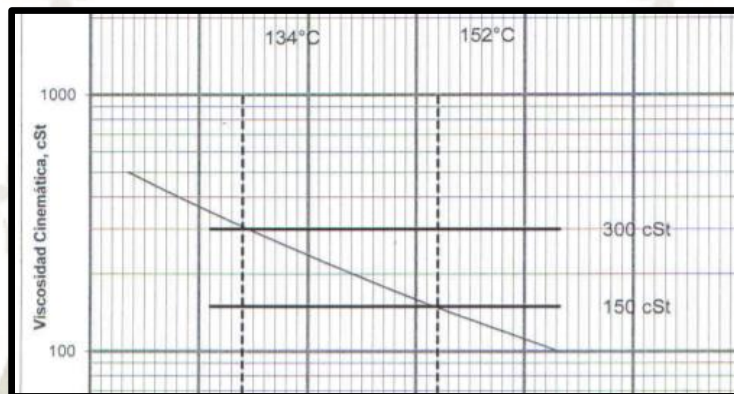


Figura 9: Carta de viscosidad - temperatura CA 85/100PEN  
Fuente: laboratorio de PETROPERU

Teniendo la información de la carta de viscosidad – temperatura del cemento asfáltico a emplear, se define la temperatura de compactación que esté en función también de los rangos de temperatura de aplicación mostrados en la tabla 7 y establecidos en el Manual de Carreteras - EG 2013.

Tipo y grado del asfalto	Temperatura de esparcido (2)		Temperaturas de mezclado en planta (1)	
	Mezclas in situ	Tratamientos superficiales	Mezclas densas	Mezclas abiertas
<b>Asfaltos diluidos</b>				
MC – 30	-	30	-	-
RC – 70 ó MC – 70	20	50	-	-
RC – 250 ó MC - 250	40	75	55 – 80	-
RC – 800 ó NC - 800	55	95	75 – 100	-
<b>Emulsiones asfálticas</b>				
CRS – 1	-	50 - 85	-	-
CRS – 2	-	50 - 85	-	-
CMS – 2	20 – 70		10 – 70	
CMS – 2h, CSS – 1, CSS – 1h	20 - 70		10 - 70	
<b>Cemento asfáltico</b>				
Todos los grados	140 máx (4)		140 máx (4)	

(1) Temperatura de mezcla inmediatamente después de preparada  
 (2) La máxima temperatura deberá estar debajo de aquella en la que ocurre vapores o espuma  
 (3) En algunos casos la temperatura de aplicación puede estar por encima del punto de inflamación. Por tanto, se debe tener precaución para prevenir fuego o explosiones  
 (4) Se podrá variar esta temperatura de acuerdo a la carta de viscosidad – temperatura  
 Fuente: MS – 16 – Asphalt Institute

Tabla 7: Rangos de temperatura de aplicación °C  
Fuente: Manual de Carreteras EG 2013, MTC

Es así finalmente que definimos a la temperatura de mezclado y compactación para esta investigación en 150°C, valor que cumple con lo reportado en la carta de viscosidad – temperatura y con lo indicado en el Manual de Carreteras EG – 2013.

### 2.3.4.3. Gradación.

Las mezclas asfálticas en caliente pueden ser de tres tipos diferentes de gradación, dependiendo de los husos granulométricos a los que satisfacen, es decir, al tamaño máximo nominal del agregado, así como al nivel de tráfico al que será sometida la estructura de pavimento final.

En cada una de estas se evalúan tres tipos de gradaciones, una en el límite superior, otra en el límite inferior y otra en el medio, que es la que se obtiene de la combinación de agregados y debe mantener holgura con ambos límites.

Estos tipos de MAC (mezcla asfáltica en caliente) se muestran en la tabla 8. Para esta investigación por el tipo de agregado empleado cuyo tamaño máximo nominal es de 3/4” se trabajó con una MAC – 01.

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC - 1	MAC - 2	MAC - 3
0.38	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

Tabla 8: Gradación para Mezcla asfáltica en caliente MAC  
Fuente: Manual de Carreteras EG 2013, MTC

### 2.3.5. Elaboración de muestras.

La elaboración de especímenes bajo la metodología Marshall se describe en el Manual de Ensayos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, en la norma MTC E – 504.

Por propósitos de diseño de mezcla los ensayos de estabilidad y flujo se obtendrán del promedio de 03 especímenes por cada incremento de contenido de cemento asfáltico que varían en incrementos de 0.5 %.

El rango de contenido de ligante se selecciona normalmente en base a la experiencia y datos históricos de los materiales, pero puede ser seleccionado también con criterios de juicio y error para incluir el rango de propiedades de la mezcla. (Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

Por otro lado, el ensayo de estabilidad y flujo de muestras de mezcla asfáltica adicionada con fibras de polipropileno se determinará del promedio de 05 especímenes por cada incremento de contenido de fibras de polipropileno al diseño de mezcla asfáltica con el contenido óptimo hallado previamente,

Para este trabajo de investigación se analizarán 07 puntos de porcentajes distintos de contenido de asfalto en la mezcla asfáltica convencional y 05 puntos de porcentajes distintos de contenido de fibras de polipropileno en la mezcla asfáltica con contenido óptimo de cemento asfáltico, además para efectos de investigación se tomarán dos puntos por encima del contenido óptimo de cemento asfáltico a los que también se les adicionará los 05 puntos de porcentajes de fibras de polipropileno a fin de determinar la variación de propiedades de la mezcla.

La distribución de elaboración de muestras para el ensayo de estabilidad - flujo se efectuó como se indica en la tabla 9.

<b>MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL</b>													
% OPTIMO DE C.A.													
Contenido de asfalto	4%	4.5%	5%	5.5%	6%	6.5%	7%						
Número de briquetas	3	3	3	3	3	3	3						
<b>MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON FIBRAS DE POLIPROPILENO</b>													
Contenido de % de F.P.	% OPTIMO DE C.A. + FIBRAS (enteras, ½, 1/3 )					2 VALORES ENCIMA DEL% OPTIMO DE C.A. + FIBRAS							
						Valor 1				Valor 2			
	0.5%	1%	1.5%	2%	2.5%	1%	1.5%	2%	2.5%	1%	1.5%	2%	2.5%
Número de briquetas	15	15	15	15	15	5	5	5	5	5	5	5	5
<b>ESPECÍMENES TOTALES PARA ENSAYO DE ESTABILIDAD - FLUJO</b>													
Briquetas totales		136											

Tabla 9: Distribución de elaboración de especímenes para ensayo de estabilidad – flujo  
Fuente: Elaboración propia

### 2.3.5.1. Preparación de Mezcla Asfáltica.

En primer lugar, está la selección de los materiales; Agregados, descrito en el ítem 2.4 de la presente investigación y cemento asfáltico cuyos criterios de selección se detallan en el ítem 2.3.4.1.

Una vez seleccionados los agregados, se calentarán en el horno a una temperatura de entre 105 °C a 110 °C, para después separarlos mediante tamizado en seco en las fracciones recomendadas de (1 a ¾”), (¾” a ½”), (½” a 3/8”), (3/8” a N°4), (N°4 a N°8) y (pasante de la N°8).



Figura 10: Separación de agregado grueso mediante tamizado  
Fuente: Elaboración propia

La carta de viscosidad del cemento asfáltico seleccionado indicará la temperatura a la que deben ser calentados los materiales y compactada la mezcla, valor comprendido entre los 130 °C a 150 °C. Como se indica en el ítem 2.3.4.1. la temperatura de mezcla y compactación en esta investigación fue de 150°C.

Se pueden preparar especímenes en bachadas solas o múltiples con material para hasta 04 briquetas, el peso para cada una es de aproximadamente 1200 g, pero hay que considerar un peso extra por posibles pérdidas durante el mezclado, en nuestro caso será de 50 g extra. Para la mezcla asfáltica convencional se separan los agregados (agregado grueso, agregado fino y filler de ser determinado su uso según requerimiento de gradación) para cada 03 briquetas en distintos recipientes y se calientan máximo a 28 °C por encima de la temperatura de compactación si se usara cemento asfáltico o 14 °C por encima de la temperatura de compactación si se usara asfalto cut back.

Si las briquetas a elaborar serán las correspondientes a la mezcla asfáltica adicionada con fibras de polipropileno, las fibras se añaden a la mezcla como reemplazo de un porcentaje de áridos, y por

ello se calientan junto con los agregados. Cuando se haya alcanzado la temperatura requerida se hace un cráter al medio para posteriormente añadirle el asfalto que estará a la misma temperatura, el mezclado para bachadas simples es por 60s y para bachadas múltiples de 120 s.

En las figuras 11 y 12 se muestran imágenes de preparación convencional y adicionada con fibras de polipropileno respectivamente antes de ser mezcladas.



*Figura 11: Preparación de Mezcla asfáltica convencional*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura 12: Preparación de Mezcla asfáltica adicionada con fibras de polipropileno*  
*Fuente: Elaboración propia*

Esta mezcla ya preparada se puede acondicionar en contenedores de metal cubiertos dentro de un horno con una temperatura de entre 8 °C a 11°C como máximo por encima de la temperatura de compactación y por un tiempo máximo de 2 h.

### 2.3.5.2. Compactación de Mezcla Asfáltica.

Una vez que se tiene la mezcla asfáltica preparada se procede a llenar los moldes previamente calentados al igual que el martillo de compactación hasta alcanzar temperaturas de entre 90 °C y 150 °C, para esto se coloca primero papel no absorbente en la base del molde, acto seguido se vierte la mezcla asfáltica, peso aproximado de 1210 g por molde, cuya temperatura debe ser lo suficientemente apta para que inmediatamente antes de la compactación esté dentro de los límites de temperatura establecidos, y se chusea con una espátula de acabado circular, 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el centro del molde, hecho esto se coloca otro papel absorbente en la parte superior.

Inmediatamente después se lleva el molde con la mezcla asfáltica dentro y se coloca sobre el pedestal de compactación, se ajusta apropiadamente y se aplica el número requerido de golpes, cuando se lleve a cabo la compactación manual con el martillo se debe tener cuidado de que la dirección de los golpes sea perpendicular a la base del molde ensamblado. Posteriormente se retira el collar y la placa de base, además se coloca un rótulo a la mezcla recién compactada como se muestra en la figura 14 y se deja enfriar los especímenes para desmoldarlos.

El número de golpes será determinado en función del tránsito de la vía a pavimentar, expresado en el ESAL y del que se detallará más adelante, en el capítulo 3.

La tabla 10 muestra el número de golpes requeridos según sea el tránsito.

TRÁNSITO ESAL	ESAL	Nº DE GOLPES POR CARA
Liviano	$ESAL < 10^4$	75
Mediano	$10^4 < ESAL < 10^6$	50
Pesado	$10^6 < ESAL$	35

Tabla 10: Número de golpes para compactación Marshall  
Fuente: Elaboración propia



Figura 13: Equipos empleados para la compactación de muestras  
Fuente: Elaboración propia



Figura 14: Especímenes recién compactados  
Fuente: Elaboración propia

### 2.3.6. Procedimiento del ensayo Marshall.

Las briquetas ya elaboradas podrán acondicionarse para el ensayo en cuanto alcancen la temperatura ambiente, pero en un lapso de tiempo no mayor a las 24 h de haberse compactado.

A continuación, se describen los pasos a seguir para ensayar los especímenes.

### 2.3.6.1. *Determinación Gravedad Específica BULK.*

Este procedimiento consiste en hallar la gravedad específica Bulk que es la relación de masa de un determinado volumen de un material a 25 °C sobre la masa de un volumen de agua igual que se encuentra a la misma temperatura, esta descrito en el Manual de Ensayos del MTC, en la normativa MTC E – 514 cuando la absorción del espécimen sea menor al 2% y en la normativa MTC E – 506 si excede este porcentaje.

En este trabajo de investigación se aplicó la normativa MTC E – 506 cuyo procedimiento resumido se describe a continuación.

Se registra el peso al aire de los especímenes y se toman sus dimensiones, 04 alturas y 02 diámetros, a continuación, se recubren las muestras con parafina derretida con el fin de sellar los vacíos superficiales, se dejan enfriar por 30 minutos y se registra el peso de los especímenes parafinados.



*Figura 15: Especímenes parafinados*  
*Fuente: Elaboración propia*

Después se procede a sumergir los especímenes uno por uno en agua a 25 °C a fin de determinar el peso del espécimen recubierto con parafina en agua.

### 2.3.6.2. *Ensayo de Estabilidad y flujo.*

El ensayo de estabilidad y flujo requiere que los especímenes sean sumergidos previamente en un baño de agua controlado a 60 °C por un lapso de tiempo comprendido entre 30 a 40 minutos.



*Figura 16: Inmersión de especímenes en baño de agua a 60°C  
Fuente: Elaboración propia*

Mientras los especímenes completan el tiempo de inmersión se calienta el cabezal Marshall hasta que alcance una temperatura comprendida entre 20 °C a 40°C, también se deben limpiar las barras guías y la superficie interior del molde de ensayo, de tal manera que la mordaza se deslice sin problemas, es recomendable lubricar las paredes internas del molde para evitar que los especímenes se adhieran.

Para la medición del flujo se coloca el flujómetro en una de las barras guía de tal forma que esté bien ajustado.

Se retira un espécimen, se le quita el exceso de agua con una franela y se coloca en el molde, cuidando que se encuentre perfectamente centrada, se coloca la parte superior del cabezal y se introduce al equipo de ensayo Marshall. Hay que considerar que el tiempo desde la extracción del espécimen del baño de agua a la determinación de la carga máxima no debe ser más de 30 segundos.

Se inicia el ensayo aplicando la carga al espécimen a razón constante de 50 mm/min, hasta que esta comience a decrecer, se da por finalizado el ensayo y se registra el valor de estabilidad que queda anotado en la pantalla del equipo y el flujo registrado en el dial generalmente en unidades de 0.25 mm, para el buen registro de datos del ensayo se necesita de dos personas.



*Figura 17: Colocación de espécimen en el molde Marshall*  
*Fuente: Elaboración propia*

Cada vez que finaliza un ensayo, se limpian del molde los restos de muestra o agua que puedan quedar, se ajusta el medidor de flujo a cero y se regresa la carga a cero también. Los especímenes ya ensayados deben ser desechados en un contenedor apropiado.



*Figura 18: Muestras ya ensayadas*  
*Fuente: Elaboración propia*

### 2.3.6.3. Interpretación de resultados.

Como se mencionó anteriormente la estabilidad de la mezcla depende de la cohesión y fricción interna, una fricción y cohesión adecuadas evita que las partículas se desprendan unas de otras como consecuencia del tráfico, entonces el valor de estabilidad indica la resistencia a la deformación de la mezcla elaborada y el flujo por su parte representa la deformación de la briqueta, representado en la disminución del diámetro vertical del espécimen.

Las mezclas con valores bajos de fluencia y altos de estabilidad se consideran demasiado frágiles y rígidas, las que presentan valores altos de fluencia son muy plásticas por lo que se deforman rápidamente.

### 2.3.7. Cálculos en la hoja Marshall

Para procesar los datos obtenidos que finalmente derivan en las gráficas necesarias para la selección del % adecuado de contenido de cemento asfáltico, es necesario elaborar una hoja de cálculo que comúnmente se realiza en el programa Microsoft Excel, y que permite obtener los parámetros base para dichas gráficas.

A continuación, en la tabla 11 se detalla el procedimiento seguido, así como los cálculos que se realizaron para la obtención de estos parámetros.

<b><u>CÁLCULOS – HOJA MARSHALL</u></b>			
1	Número de briqueta	Nº	Corresponde al número de espécimen ensayado.
2	% fibras	%	Es el % de fibras incluido en el diseño de mezcla asfáltica, para esta investigación se usaron 0.5%, 1%, 1.5%, 2% y 2.5%.
3	Peso específico fibras	g/cm <sup>3</sup>	Es un dato que se encuentra en la ficha técnica de las fibras empleadas, el valor para esta tesis es de 0.92.
4	C.A. en peso de la mezcla	%	Es el % de cemento asfáltico empleado en el diseño de mezcla asfáltica de cada espécimen, en esta tesis se emplearon valores desde 4% a 7% en intervalos de 0.5%
5	% A.G.	%	Es el % de agregado grueso incluido en el diseño de mezcla.
6	% A.F.	%	Es el % de agregado fino incluido en el diseño de mezcla.
7	% Filler	%	Es el % de filler incluido en el diseño de mezcla

<b>CÁLCULOS – HOJA MARSHALL</b>			
8	Peso aparente C.A.	g/cm <sup>3</sup>	Es un dato que se obtiene de la ficha técnica del cemento asfáltico empleado, en esta tesis tiene un valor de 1.02 g/cm <sup>3</sup> .
9	Peso bulk A.G, Peso aparente A.G. Peso bulk A.F. Peso aparente A.F.	g/cm <sup>3</sup>	Estos valores se obtienen después de realizar el ensayo de Peso específico Bulk y aparente, según el MTC E-205 y MTC E-206
13	Peso aparente Filler	g/cm <sup>3</sup>	Este valor se obtiene después de haber realizado la caracterización del filler empleado, bajo la norma MTC E-205.
14	Altura promedio de briqueta	mm	Es el promedio de 04 mediciones longitudinales que se le realizan a cada briqueta.
15	Peso briqueta al aire	g	Es el peso de cada espécimen que se realiza antes de obtener sus propiedades volumétricas.
16	Peso briqueta + parafina	g	Es el peso que se obtiene después de impermeabilizar el espécimen con parafina..
17	Peso briqueta + parafina sumergida	g	Es el peso que se observa en la balanza cuando se realiza el ensayo descrito en el MTC E -506
18	Volumen briqueta + parafina	cm <sup>3</sup>	Se obtiene de la resta del peso briqueta + parafina, punto 16, menos el peso de la briqueta + parafina sumergida, punto 17, de la presente tabla.
19	Peso parafina	cm <sup>3</sup>	Se obtiene de la resta de la briqueta al aire, punto 15 menos el peso de la briqueta + parafina, punto 16, de la presente tabla.
20	Volumen parafina	cm <sup>3</sup>	Se obtiene de dividir el peso de la parafina, hallado en el punto 19 entre su densidad, cuyo valor es 0.85 g/cm <sup>3</sup>
21	Volumen briqueta por desplazamiento	cm <sup>3</sup>	Se obtiene de restar el volumen de la briqueta + parafina, punto 18, menos el volumen de la parafina, punto 20.
22	Volumen geométrico	cm <sup>3</sup>	Se obtiene de la multiplicación del promedio de alturas, punto 14, por el área de la sección trasversal.
23	Volumen adoptado	cm <sup>3</sup>	Es el mismo valor que el volumen de la briqueta por desplazamiento, punto 21.
24	Peso específico bulk de briqueta	g/cm <sup>3</sup>	Se obtiene de dividir el peso de la briqueta al aire, punto 15, entre el volumen adoptado, punto 23.
25	Máxima densidad teórica	g/cm <sup>3</sup>	<p>Para obtener este valor, se emplea la siguiente fórmula:</p> $G_{mm} = \frac{100}{\frac{\%C.A.}{P_{e.apar.C.A.}} + \frac{\% A.G.}{P_{e.total de a.g.}} + \frac{\% A.F.}{P_{e.total de a.f.}} + \frac{\% filler}{P_{e.apar.filler}}}$ <p>Donde:  <i>P<sub>e.total de agregados fino y grueso</sub> = suma de pe.bulk + pe.aparente</i></p>

<b>CÁLCULOS – HOJA MARSHALL</b>			
26	% vacíos	%	Para obtener este valor, se emplea la siguiente fórmula: $\%_{\text{vacíos}} = 100 * \frac{G_{mm} - P_{e.bulk \text{ de la briqueta}}}{G_{mm}}$
27	Peso específico bulk agregado total	g/cm <sup>3</sup>	Para obtener este valor, se emplea la siguiente fórmula: $P_{e.bulk \text{ agregado total}} = \frac{\% A. G. + \% A. F. + \% Filler}{\frac{\% A. G.}{P_{e.bulk \text{ a.g.}}} + \frac{\% A. F.}{P_{e.bulk \text{ a.f.}}} + \frac{\% Filler}{P_{e.apar.filler}}}$
28	Peso aparente agregado total	g/cm <sup>3</sup>	Para obtener este valor, se emplea la siguiente fórmula: $P_{e.apar.agreg.total} = \frac{\% A. G. + \% A. F. + \% Filler}{\frac{\% A. G.}{P_{e.apar.a.g.}} + \frac{\% A. F.}{P_{e.apar.a.f.}} + \frac{\% Filler}{P_{e.apar.filler}}}$
29	Peso efectivo agregado	g/cm <sup>3</sup>	Para obtener este valor, se emplea la siguiente fórmula: $P_{e.efec.} = \frac{\% A. G. + \% A. F. + \% Filler}{\frac{\% A. G.}{P_{e.buk \text{ ag.}} + P_{e.apar.a.g.}} + \frac{\% A. F.}{P_{e.bulk \text{ a.f.}} + P_{e.ap.a.f.}} + \frac{\% Filler}{P_{e.apar.filler}}}$
30	C.A. absorbido por peso ag. seco	%	Para obtener este valor, se emplea la siguiente fórmula: $\% C. A._{abs.} = \frac{P_{e.ef.agr.} - P_{e.ap.agr.total}}{P_{e.ef.agr.} * P_{e.ap.agr.total}} * P_{e.ap.c.a.} * 100$
31	% volumen agregado/ volumen bruto briqueta	%	Para obtener este valor, se emplea la siguiente fórmula: $\% \frac{vol. C. A. efec.}{vol. bruto briq.} = \frac{(\% A. G. + \% A. F. + \% Filler) * P_{e.bulk.briqueta}}{P_{e.bulk \text{ agr.total}}}$
32	% volumen C.A. efectivo/volumen briqueta	%	Para obtener este valor, se emplea la siguiente fórmula: $\% \frac{vol. C. A. efec.}{vol. briqueta} = 100 - (\% \frac{vol. C. A. efec.}{vol. bruto} + \%_{\text{vacíos}})$
33	% vacíos en el agregado mineral – V.M.A	%	Para obtener este valor, se emplea la siguiente fórmula: $\% V. M. A. = 100 - \% \frac{vol. C. A. efec.}{vol. bruto briqueta}$
34	C.A. efectivo/peso de la mezcla	%	Para obtener este valor, se emplea la siguiente fórmula: $\% \frac{C. A. efec.}{\text{peso de la mezcla}} = \left( \% C. A. - \frac{\% C. A._{abs.}}{100} \right) * (\% A. G. + \% A. F. + \% Filler)$

<b>CÁLCULOS – HOJA MARSHALL</b>			
35	Relación asfalto - vacíos (CA absorbido) – V.F.A.	%	Para obtener este valor, se emplea la siguiente fórmula: $\% V.F.A. = \frac{\% \frac{vol. C.A. efec.}{vol. briqueta}}{\% V.M.A.} * 100$
	Estabilidad	kg	Este es el valor que se lee en equipo Marshall, a la falla del espécimen
37	Estabilidad	KN	Se multiplican los valores de estabilidad por 0.00980665 para hacer la conversión a KN
38	Flujo 0.01 mm	0.01mm	Este es el valor que se lee en el dial del equipo Marshall, a la falla del espécimen
39	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 "	Se divide el valor del flujo entre 25.4 para convertirlo a centésima de pulgada
40	Relación estabilidad/flujo	kg/cm	Resulta de dividir la estabilidad, punto 36, entre el flujo, punto 38, y este resultado dividirlo entre 0.001

Tabla 11: Fórmulas de la Hoja Marshall

Fuente: Elaboración propia basado en "Ingeniería de Pavimentos Materiales" de Rafael Menéndez

#### 2.4. DESEMPEÑO POR HUMEDAD EN MEZCLAS ASFÁLTICAS

El daño por humedad en las mezclas asfálticas es uno de los problemas más comunes que ocasiona deterioro en los pavimentos flexibles y es precisamente un aspecto que no se considera en los métodos de diseño, este daño no es causado por acumulación de esfuerzos sino más bien por la deficiencia de adherencia entre los componentes de la capa asfáltica; agregados – asfalto bajo condiciones de humedad que ocasionan patologías como el stripping (desprendimiento de material ocasionado por la pérdida de adherencia entre la película de asfalto y la superficie del agregado en la mezcla asfáltica) o rotura de agregados y que derivan finalmente en la disminución de la vida útil del pavimento. (Aranda Bohm, 2017)

Este daño se hace más crítico en zonas con prolongados periodos de tiempo expuesto a lluvias, por lo que se busca medidas para su control como la verificación del proceso constructivo o la aplicación de agentes antistripping, aunque lo que se pretende realmente es hallar la solución para evitar los daños ocasionados por la humedad, esta no sería tarea sencilla ya que en este tipo de daños se involucran diferentes variables; agregados, ligante, adhesión, porcentaje de vacíos y estas variables se analizan en función del momento en el que intervienen en el pavimento, puede ser en el diseño, fabricación, colocación o etapa de servicio. (Figuroa Infante & Reyes Lizcano, 2016)

El estudio y análisis de la susceptibilidad al daño por humedad “Moisture Damage” en mezclas asfálticas es clave pues además tiene un impacto económico relevante en los pavimentos. En esta investigación se evalúa la susceptibilidad a este daño en las mezclas asfálticas convencionales para identificar los efectos del agua y garantizar una resistencia mínima al daño por humedad añadiéndole a esta mezcla fibras de polipropileno.

Existen diferentes métodos para evaluar este tipo de daño, la mayoría empíricos, pero de entre ellos en esta investigación se desarrollaron dos.

#### **2.4.1. Ensayo a la tracción indirecta TSR.**

Este ensayo es el MTC E – 522, que es la traducción al español de la norma AASHTO T – 283 de nombre, “Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage”.

En el año 1978 Lottman presentó el protocolo de ensayo, lo que significó un avance pues predecía el daño por humedad, con el paso del tiempo este ensayo fue modificado por Tunnicliff y llamado ensayo de tracción indirecta o TSR por sus siglas en inglés: Tensile Strength Ratio. En esta modificación el uso del ciclo hielo – deshielo no es obligatoria y además se demostró que con 24 horas de inmersión los especímenes adquieren daños provocados por humedad, la combinación de ambos ensayos deriva en el ensayo de Lottman Test modificado que es el que se usó.

El ensayo de tracción indirecta evalúa la susceptibilidad a la humedad de mezclas asfálticas compactadas, mide el cambio de la resistencia a la tensión diametral que resulta de efectos de saturación y acondicionamiento en agua de un subgrupo de especímenes frente a otro en condiciones secas. En esta investigación se realizó el ensayo TSR a los contenidos óptimos de mezcla asfáltica convencional y de mezcla asfáltica adicionada con fibras de polipropileno, para lo que se usó el equipo Marshall con la implementación del cabezal Lottman que se muestra en la figura 19.



*Figura 19: Cabezal Lottman para ensayos de TSR  
Fuente: Elaboración propia*

### 2.4.1.1. *Elaboración de muestras.*

La distribución de elaboración de muestras para el ensayo de TSR se efectuó como se indica en la tabla 12.

TIPO DE MEZCLA	CONDICIÓN DEL ESPÉCIMEN	Nº DE ESPÉCIMENES	Nº TOTAL DE ESPÉCIMENES
Mezcla asfáltica Convencional con % óptimo de CA	seca	3	6
	sumergido	3	
Mezcla asfáltica con % óptimo de CA y % óptimo de fibras de polipropileno	seca	3	6
	sumergido	3	
Briquetas totales para ensayo de TSR			12

*Tabla 12: Distribución de elaboración de especímenes para ensayo de TSR*  
Fuente: Elaboración propia

#### 2.4.1.1.1. *Preparación de mezcla asfáltica.*

El procedimiento para la preparación de la mezcla asfáltica a emplearse para la fabricación de briquetas del ensayo TSR se encuentra descrito en el Manual de Ensayo de Materiales, normativa MTC E – 522.

El tamaño de los especímenes para este ensayo es el mismo de los especímenes del ensayo de estabilidad – flujo de Marshall, es decir 64 mm (2.5”) de altura y 102 mm (4”) de diámetro, siempre y cuando no se tenga agregado de más de 25 mm o 1”.

El primer paso es tamizar los agregados en seco y separarlos en recipientes, cada uno con material suficiente para elaborar una briqueta, se procede a meterlos al horno para que alcancen la temperatura de mezclado de 150° C, al igual que el ligante, después se mezcla de la misma manera que para el ensayo Marshall.

Cuando se prepare la mezcla asfáltica adicionada con fibras de polipropileno, las fibras se calientan junto con los agregados.

El procedimiento a partir de este punto se detalla en la figura 20, que esquematiza los pasos a seguir para la elaboración de especímenes según este ensayo.



Figura 20: Esquema de elaboración de especímenes para ensayo de TSR  
Fuente: Elaboración propia

#### 2.4.1.1.2. Compactación de mezcla asfáltica.

La compactación de los especímenes en este ensayo es muy importante, pues tiene que ser suficiente como para producir 7% de vacíos de aire, es por ello que se recomienda elaborar 02 especímenes que sirven para probar la cantidad de golpes por cara que produce este porcentaje de vacíos requerido.

En base al análisis de investigaciones relacionados al daño por humedad que se produce en las mezclas asfálticas es que se tiene como punto de referencia que este porcentaje de vacíos se alcanza con los 50 golpes por cara.

#### 2.4.1.2. Procedimiento del ensayo.

Con los especímenes de ambos subgrupos listos para ensayar se procede a lubricar las barras guía del molde y a colocar cada muestra en medio, de tal forma que la carga sea aplicada a lo largo del diámetro del espécimen, se aplica la carga a razón constante de movimiento del cabezal Lottman de 50 mm/min y se registra el esfuerzo a compresión máximo obtenido que provoca una fisura vertical en el espécimen,

Se retira el espécimen y se inspecciona visualmente si presenta agregados fracturados, se reporta el daño por humedad en una escala del 0 al 5, con 5 como mayor desprendimiento.

#### 2.4.1.3. Resultados del ensayo.

Lo que se pretende obtener finalizado el ensayo y procesados los datos es la razón del esfuerzo a tensión (TSR) que se halla de la siguiente manera:

$$TSR = \frac{S_2}{S_1}$$

*Ecuación 1: Fórmula para hallar el TSR*  
*Fuente: Manual de ensayo de materiales, MTC E-522*

Donde:

$S_1$  = promedio del esfuerzo a la tensión del subgrupo seco, Kpa

$S_2$  = promedio del esfuerzo a la tensión del subgrupo acondicionado, Kpa

El valor mínimo aceptado para TSR es de 80%.

#### 2.4.2. Ensayo de inmersión - compresión.

Este ensayo se describe en la norma MTC E - 513, que es la traducción al español de la norma AASHTO T - 161 y ASTM D - 1074 de nombre, “Standard Test Method for Compressive Strength of Bituminous Mixtures”, pero la elaboración de los especímenes se describe en la norma MTC E - 518.

En este ensayo se calcula la resistencia a la compresión simple de especímenes compactados, pero sometidos a condiciones diferentes; unas curadas al aire y otras sometidas a la acción del agua, es por esto que contribuye a la caracterización de la mezcla, siendo un factor que determina si esta es conveniente según las condiciones de carga y medioambientales a la que será sometida la vía a pavimentar.

En esta investigación se realizó el ensayo de inmersión - compresión a los contenidos óptimos de mezcla asfáltica convencional y de mezcla asfáltica adicionada con fibras de polipropileno, para realizar este ensayo se necesita de un equipo de compresión, el que se usó para esta investigación se muestra en la figura 21.



*Figura 21: Máquina de compresión empleada para ensayo de I - C  
Fuente: Elaboración propia*

### 2.4.2.1. *Elaboración de muestras.*

La distribución de elaboración de muestras para el ensayo de Inmersión – compresión se efectuó como se indica en la tabla 13.

TIPO DE MEZCLA	CONDICIÓN DEL ESPÉCIMEN	Nº DE ESPÉCIMENES	Nº TOTAL DE ESPÉCIMENES
Mezcla asfáltica Convencional con % óptimo de CA	seco	3	6
	sumergido	3	
Mezcla asfáltica con % óptimo de CA y % óptimo de fibras de polipropileno	seco	3	6
	sumergido	3	
Briquetas totales para ensayo de inmersión – compresión			12

*Tabla 13: Distribución de elaboración de especímenes para ensayo de inmersión – compresión*  
Fuente: Elaboración propia

#### 2.4.2.1.1. *Preparación de mezcla asfáltica.*

El procedimiento para la preparación de la mezcla asfáltica a emplearse para la fabricación de briquetas del ensayo inmersión – compresión se encuentra descrito en el Manual de Ensayo de Materiales, normativa MTC E – 518.

El tamaño de los especímenes para este ensayo es de 101.6 mm (4”) de altura y 101.6 mm (4”) de diámetro, los moldes deben ser del mismo material que los moldes empleados en los ensayos anteriores.

El primer paso es tamizar los agregados en seco y separarlos en recipientes, cada uno con material suficiente para elaborar solo una briqueta, el peso aproximado para elaborar especímenes del tamaño indicado es 1850 g, se procede a meterlos al horno para que alcancen la temperatura de mezclado de 150° C, al igual que el ligante, después se mezcla de la misma manera que para el ensayo Marshall.

Cuando se prepare la mezcla asfáltica adicionada con fibras de polipropileno, las fibras se calientan junto con los agregados.

El procedimiento a partir de este punto se detalla en la figura 22, que esquematiza los pasos a seguir para la elaboración de especímenes según este ensayo.

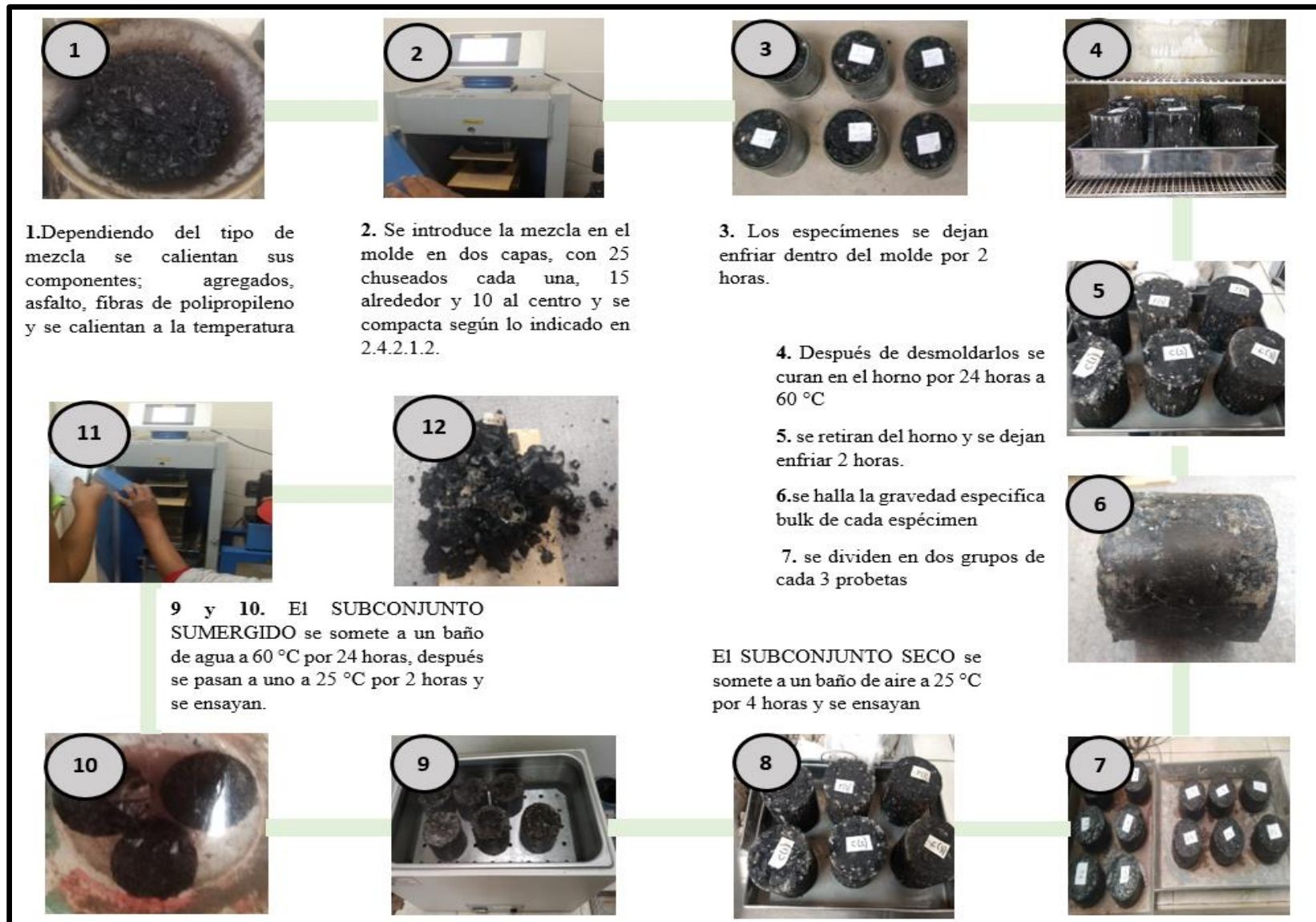


Figura 22: Esquema de elaboración de especímenes para ensayo de inmersión – compresión  
Fuente: Elaboración propia

#### 2.4.2.1.2. *Compactación de mezcla asfáltica.*

La compactación en este ensayo se realiza con una máquina de compresión que aplica sobre el espécimen una compactación inicial de 1 MPa (10 kgf/cm<sup>2</sup>) para asentar la mezcla, hecho esto se inicia la compactación definitiva aplicando una carga de 20.7 MPa (210 kgf/cm<sup>2</sup>) sobre la mezcla por 2 minutos, se dejan enfriar dentro del molde por 2 horas y se extraen.

#### 2.4.2.2. *Procedimiento del ensayo.*

Después de haber acondicionado cada subgrupo de especímenes, se introduce un espécimen a la máquina de compresión y se inicia el ensayo, que se produce a una velocidad vertical constante que equivale a 1.3 mm/min por cada 25 mm (1") de la altura de la probeta, para las probetas de 4" este valor representa una velocidad de deformación de 5.08 mm/min.

Al ser la máquina de compresión digital, esta parará automáticamente una vez que falle el espécimen, se registra entonces el valor al que ocurrió la falla y se coloca otro espécimen.

#### 2.4.2.3. *Resultados del ensayo.*

Lo que se pretende obtener finalizado el ensayo y procesados los datos es el índice de resistencia retenida, para ello se emplea la ecuación 2, pero primero lo que se debe hacer es dividir cada resistencia a la compresión obtenido de cada espécimen entre el área de su sección transversal, para las briquetas de 4" de diámetro se usa como área el valor de 81.1 cm<sup>2</sup>.

$$\text{índice de resistencia retenida} = \frac{S_2}{S_1} \times 100$$

*Ecuación 2: Fórmula para hallar el índice a la resistencia retenida*  
*Fuente: Manual de ensayo de materiales, MTC E-518*

Donde:

$S_1$  = promedio de la resistencia a la compresión de especímenes secos kgf/cm<sup>2</sup>

$S_2$  = promedio de la resistencia a la compresión de especímenes sumergidos kgf/cm<sup>2</sup>

Como se vio en la sección 2.3.4. tabla 3, el valor mínimo admitido para la resistencia a la compresión es de 2.1 MPa, y para el índice de resistencia retenida 75%.

## 2.5. RESISTENCIA AL DESGASTE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS

El desgaste se refleja en los pavimentos en forma de baches y otros desperfectos prematuros que se generan por la falta de un adecuado diseño, la falta de asesoría técnica a la hora de diseñar una mezcla y, sobre todo, falta de un adecuado control de calidad que permita analizar los materiales.

### 2.5.1. Ensayo de pérdida por desgaste.

Este ensayo se describe en la norma MTC E - 515, con referencia de la norma técnica española NLT 352: “Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo de cántabro de pérdida por desgaste”, con este ensayo se calcula el valor de pérdida por desgaste de las mezclas asfálticas haciendo uso de la máquina de los Ángeles, se emplea para mezclas cuyo tamaño máximo de agregado sea de 25 mm (1”), que pueden ser elaboradas en laboratorio o para control de mezclas en obra.

El ensayo de pérdida por desgaste permite evaluar la resistencia de la mezcla a la disgregación de sus componentes, que en la realidad se producirían por efectos abrasivos del tráfico.

En esta investigación se realizó el ensayo de pérdida por desgaste al contenido óptimo de asfalto de la mezcla asfáltica convencional y a la mezcla asfáltica adicionada con porcentajes de 1%, 1.5%, 2% y 2.5% de fibras de polipropileno, se elaboran como mínimo 04 especímenes por cada contenido.

#### 2.5.1.1. Elaboración de muestras.

La distribución de elaboración de muestras para el ensayo de pérdida por desgaste se efectuó como se indica en la tabla 14.

TIPO DE MEZCLA	% DE FIBRAS DE POLIPROPILENO	Nº DE ESPECÍMENES	Nº TOTAL DE ESPECÍMENES
Mezcla asfáltica Convencional con % óptimo de CA	0 %	4	4
Mezcla asfáltica con % óptimo de CA y diferentes % de fibras de polipropileno	1 %	4	16
	1.5 %	4	
	2 %	4	
	2.5 %	4	
Briquetas totales para ensayo de pérdida por desgaste			20

Tabla 14: Distribución de elaboración de especímenes para ensayo de pérdida por desgaste  
Fuente: Elaboración propia

#### **2.5.1.1.1. Preparación de mezcla asfáltica.**

Se describe en el Manual de Ensayo de Materiales, normativa MTC E – 515.

El primer paso es tamizar los agregados en seco y separarlos en recipientes, cada uno con material suficiente para elaborar una briqueta, el peso aproximado por briqueta es de 1000 g, el resto del procedimiento, así como el tamaño de especímenes es tal cual se realiza para la elaboración de briquetas Marshall.

Cuando se prepare la mezcla asfáltica adicionada con fibras de polipropileno, las fibras se calientan junto con los agregados.

#### **2.5.1.1.2. Compactación de mezcla asfáltica.**

La compactación para este ensayo será la misma que se usa para el ensayo Marshall, con la excepción de que en este ensayo se dan solo 50 golpes por cara.

#### **2.5.1.2. Procedimiento de ensayo.**

Una vez desmoldados los especímenes se determina la densidad y contenido de vacíos de cada uno, se registra su masa y se mantienen por 6 horas a la temperatura de 15 °C a 30 °C.

Transcurrido este tiempo se introduce un espécimen a la máquina de los Ángeles, pero sin las bolas de acero, se inicia el ensayo haciendo girar el tambor a la velocidad de 30 a 33 rpm durante 300 vueltas y se repite este proceso con cada una de las muestras.

#### **2.5.1.3. Resultados del ensayo.**

Lo que se pretende obtener finalizado el ensayo y procesados los datos es el valor de pérdida por desgaste en %, para ello se emplea la ecuación 3.

$$P = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

*Ecuación 3: Fórmula para hallar el % de pérdida por desgaste*  
*Fuente: Manual de ensayo de materiales, MTC E-515*

Donde:

$P_1$  = masa inicial de la probeta en gramos

$P_2$  = masa final de la probeta en gramos

### 3. ESTUDIO DE TRÁFICO

#### 3.1. ESTUDIO DE TRÁFICO URBANO

Para esta investigación, se tomó como zona de estudio de tráfico la calle Salaverry que conduce al puente San Martín, la vía más transitada del óvalo de Vallecito, Provincia de Arequipa, Departamento de Arequipa. El conteo vehicular fue realizado durante 7 días (24 horas cada día), considerando ambos sentidos de la pista. La semana en la que se realizó el estudio de tráfico vehicular es la que comprende los días del 17 al 23 de febrero del 2020.

La figura 23 muestra en línea color rojo el recorrido de la calle Salaverry, donde se realizó el conteo de vehículos y la figura 24 muestra una foto de la zona.

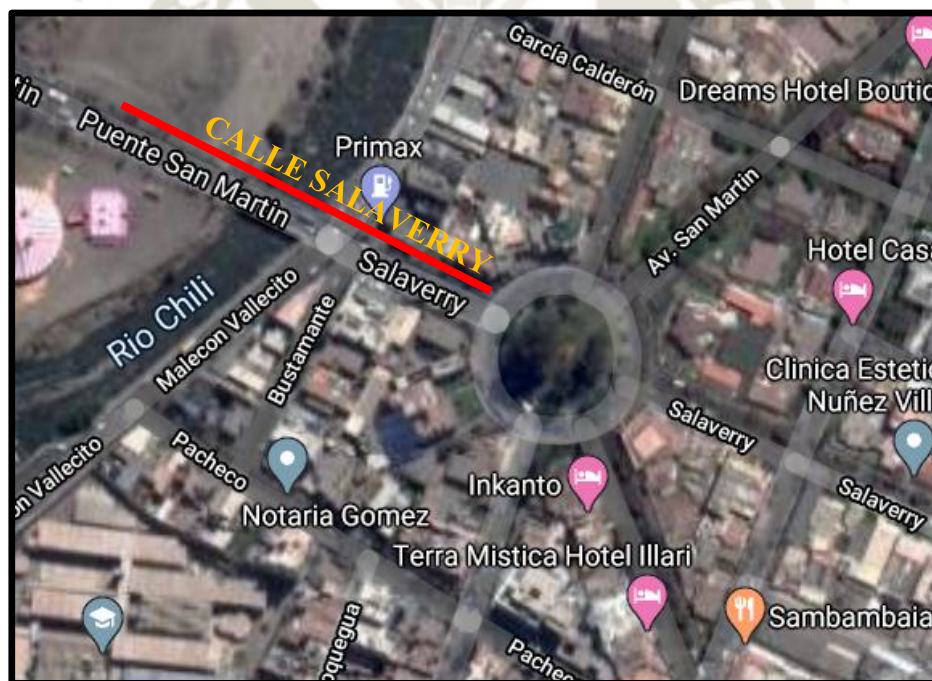


Figura 23: Ubicación del estudio de tráfico urbano. Arequipa, Arequipa  
Fuente: Google Earth

Se realizará el diseño de este pavimento urbano según las especificaciones del MTC Manual de Carreteras - Sección Suelos y Pavimentos que están basadas en el método AASHTO 93. También se realizará el cálculo de Ejes Equivalentes.

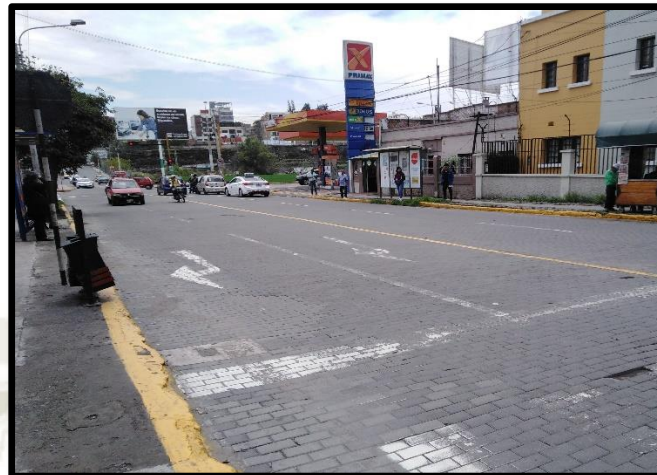


Figura 24: Foto del lugar de conteo vehicular  
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 15 se muestran los días y horarios en los que se llevó a cabo el conteo vehicular.

PERIODO	HORARIO DE CONTEO
Lunes 17 de febrero 2020	12:00 am – 23:00 pm
Martes 18 de febrero 2020	12:00 am – 23:00 pm
Miércoles 19 de febrero 2020	12:00 am – 23:00 pm
Jueves 20 de febrero 2020	12:00 am – 23:00 pm
Viernes 21 de febrero 2020	12:00 am – 23:00 pm
Sábado 22 de febrero 2020	12:00 am – 23:00 pm
Domingo 23 de febrero 2020	12:00 am – 23:00 pm

Tabla 15: Periodo de conteo de tráfico Urbano  
Fuente: Elaboración propia

### 3.1.1. Índice Medio Diario Anual – IMDA.

Definido como el promedio de la cantidad de vehículos que pasan en un día completo por la vía seleccionada, durante un tiempo controlado, que en este caso es un año. Ya que el conteo fue en una semana, se halló el índice medio diario semanal IMDS, que sería la muestra, con esto procedemos a calcular el índice medio diario anual IMDA según el nivel de confiabilidad deseado de la siguiente forma:

$$\text{IMDA} = \text{IMDS} \pm A$$

Ecuación 4: Fórmula para el cálculo del IMDA  
Fuente: Ingeniería de tránsito, fundamentos y materiales – Cal y Mayor

$$A = K * \sigma$$

Donde:

IMDA = índice medio diario anual

IMDS = índice medio diaria semanal

K = nivel de confiabilidad, se pueden tomar valores entre 1.64 y 1.96 para niveles entre 90% y 95% respectivamente, en este caso tomaremos el mayor valor para el cálculo del IMDA, el cual es 1.96

$\sigma$  = desviación estándar vehicular estimada o error estándar de la media:

$$\sigma = \frac{S}{n} \left( \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \right)$$

*Ecuación 5: Fórmula de la desviación estándar*

*Fuente: Ingeniería de tránsito, fundamentos y materiales – Cal y Mayor*

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (ID_i - IMDS)^2}{n-1}}$$

*Ecuación 6: Fórmula de la desviación estándar muestral*

*Fuente: Ingeniería de tránsito, fundamentos y materiales – Cal y Mayor*

Donde:

S = desviación estándar muestral

ID<sub>i</sub> = cantidad de vehículos en el día “i”

N = Población, en este caso al ser IMDA será 365 días

n = Muestra, ya que estamos haciendo el IMDS será de 7 días

Con estos datos hallados, ya tenemos el Índice Medio Diario Anual IMDA, con el cual procederemos a hallar el tránsito a futuro.

- **Tránsito Futuro (TF):** es el resultado de la suma del tránsito actual (TA) más el incremento de tránsito (IT) que se dará en nuestro periodo de diseño, se puede expresar de la siguiente forma:

$$TF = TA + IT$$

- **Tránsito Actual (TA):** será el volumen de tránsito que la carretera usará al culminar el servicio; es el resultado de la suma del tránsito existente (TE), que es el IMDA más el tránsito atraído (TAt), ya que nuestro proyecto es de mejoramiento de una vía, los usuarios la elegirán motivados por la seguridad y comodidad, propondremos un 5% del tránsito existente como atraído.
- **Incremento de Tránsito (IT):** será el volumen estimado que use la carretera en el año futuro propuesto del proyecto, que a su vez está compuesto por el crecimiento normal de tránsito (CNT), el tránsito generado (TG) y el tránsito desarrollado (TD).
- **Crecimiento Normal de Tránsito (CNT):** es el incremento del volumen de tránsito en el tiempo debido a la mayor demanda, es el aumento normal en el uso de los vehículos, el cual está influenciado por factores sociales y económicos, estos se usarán para calcularlo, en el caso de vehículos livianos se usará el factor de crecimiento poblacional y en el caso de vehículos pesados el factor de crecimiento económico o incremento del PBI.
- **Tránsito Generado (TG):** consta de los viajes que anteriormente no circulaban por la carretera, el cual tiene un incremento entre el 5% y 25% del tránsito actual, tomaremos la sugerencia que se nos da en el libro de Cal y Mayor y Cárdenas (2007), el cual es el 15% del tránsito actual.
- **Tránsito Desarrollado (TD):** el incremento de tránsito en este caso se da debido a las mejoras en las zonas adyacentes a nuestra carretera, dado que nuestra vía ya existe, no tomaremos este incremento.

Luego de haber encontrado nuestro tránsito futuro es necesario calcular el nuevo tránsito actual considerando todos los incrementos que se dieron en el tránsito futuro, esto se puede hallar despejando  $T_o$  de la fórmula de regresión, que quedaría expresada de la siguiente manera:

$$T_0 = \frac{T_n}{(1 + r)^{n-1}}$$

*Ecuación 7: Fórmula de Regresión*

*Fuente: Ingeniería de tránsito, fundamentos y materiales – Cal y Mayor*

Con este  $T_0$  hallado podremos usar el factor de crecimiento acumulado y el número de repeticiones de ejes equivalentes, como se explicará posteriormente en el capítulo.

A continuación, se muestra en la tabla 16 los cálculos y valores del IMDS y IMDA hallados y en la tabla 15 se muestra el resumen del conteo de tráfico vehicular realizado.



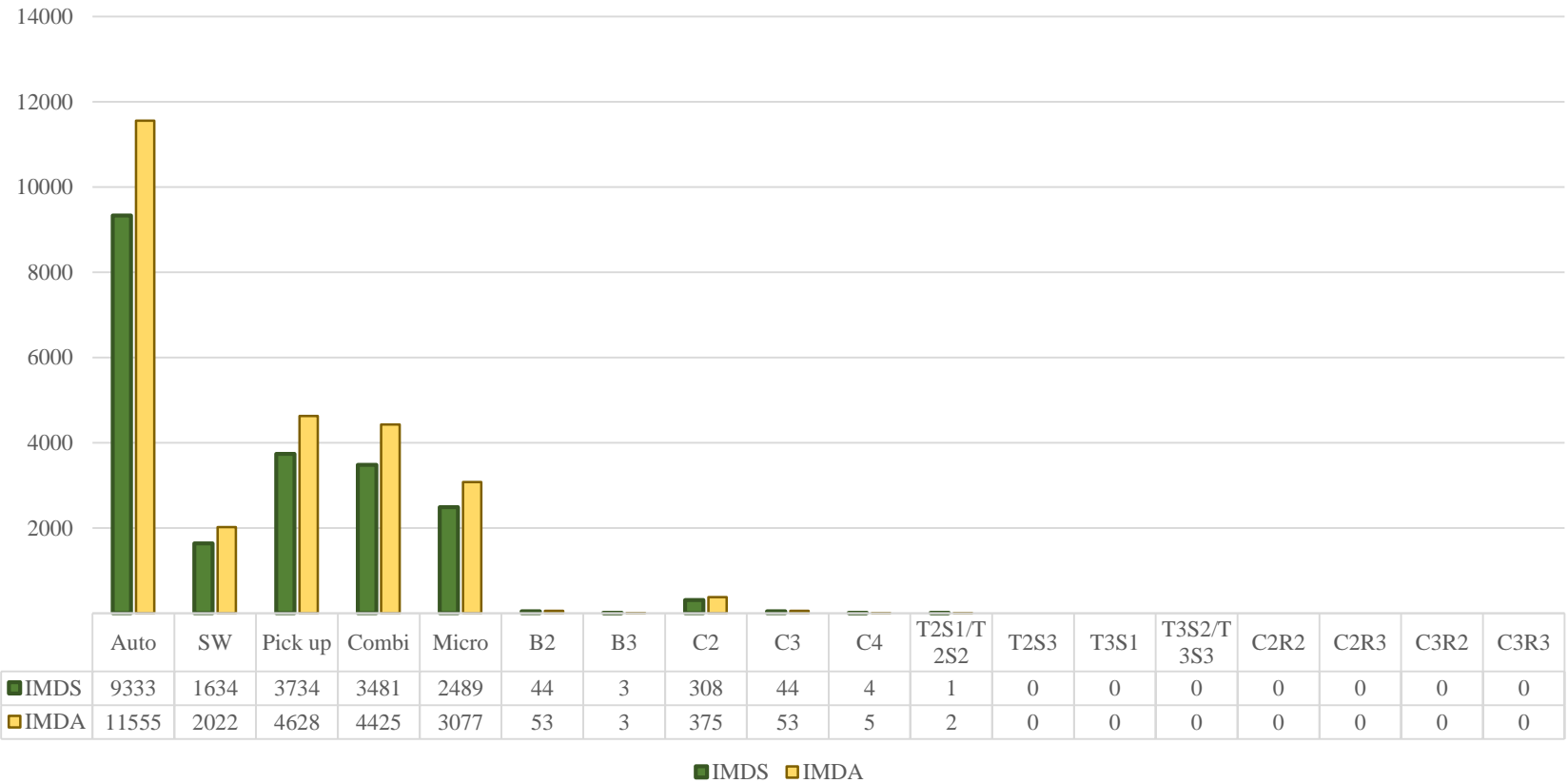
RESUMEN DE CONTEO VEHICULAR																				
DÍA	SENTIDO	AUTO	SW	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMIÓN			SEMI TRAILER				TRAILER				TOTAL
				PICK UP	COMBI		2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	T2S1	T2S2	T2S3	T3S1	T3S2	T3S3	C2R2	>=3T3	
LUNES	ENTRADA	3889	767	1592	836	1179	23	1	124	19	2									8432
	SALIDA	5685	908	2552	847	1384	20	2	202	30	3									11631
MARTES	ENTRADA	4038	795	1121	1271	1219	23	1	126	13	1									8608
	SALIDA	5888	944	2631	2815	1431	20	2	210	30	2									13973
MIERCOLES	ENTRADA	4500	889	1536	1450	1357	35	2	144	18	2	6								9939
	SALIDA	6570	1050	2960	3144	1595	30	3	243	42	4	3								15644
JUEVES	ENTRADA	4399	860	1400	1161	1309	23		132	13	1									9298
	SALIDA	6414	1020	2797	3031	1537	20	1	214	30	2									15066
VIERNES	ENTRADA	4254	840	1387	1304	1285	23		73	13	1									9180
	SALIDA	6218	996	2773	2971	1507	20	1	214	30	2									14732
SABADO	ENTRADA	3578	707	1219	1078	1081	24	2	117	13	1	1								7821
	SALIDA	5224	836	2328	2504	1266	20	2	187	31	2									12400
DOMINGO	ENTRADA	1902	381	557	611	583	17		60	10	1									4122
	SALIDA	2772	442	1283	1346	687	12	1	110	19	2									6674
<b>ENTRADA</b>		26560	5239	8812	7711	8013	168	6	776	99	9	7	0	0	0	0	0	0	0	57400
<b>SALIDA</b>		38771	6196	17324	16658	9407	142	12	1380	212	17	3	0	0	0	0	0	0	0	90122

Tabla 16: Resumen del tráfico urbano - calle Salaverry  
Fuente: Elaboración propia

IMDS e IMDA															
SENTIDO	AUTO	SW	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMIÓN			SEMI TRAILER				TOTAL
			PICK UP	COMBI		2 E	3 E	2E	3 E	4 E	T2S1	T2S2	T2S3	T3S1	
ENTRADA	3794	748	1259	1102	1145	24	1	111	14	1	1				8200
SALIDA	5539	885	2475	2380	1344	20	2	197	30	2	0				12875
AMBOS	9333	1634	3734	3481	2489	44	3	308	44	4	1				21075
K 95%	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96				
N	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365				
N	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7				
S	2194.80	381.46	891.36	1176.60	573.17	10.57	1.68	68.67	9.21	1.29	3.39				
$\sigma$	310.95	54.04	126.28	166.69	81.20	1.50	0.24	9.73	1.30	0.18	0.48				
A	609	106	248	327	159	3	0	19	3	0	1				
TE	9942	1740	3982	3808	2648	47	3	327	47	4	2				
Tat	497	87	199	190	132	2	0	16	2	0	0				
TA	10439	1827	4181	3998	2780	49	3	343	49	4	2				
TG	1566	274	627	600	417	7	0	51	7	1	0				
r	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026				
n	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20				
CNT + TA	14651	2564	5868	5611	3902	80	5	559	80	7	3				
TF	16217	2838	6495	6211	4319	87	5	610	87	8	3				
IMDA	11555	2022	4628	4425	3077	53	3	375	53	5	2				26198
IMDS	VEHÍCULOS LIVIANOS = 20671					VEHÍCULOS PESADOS = 404									
IMDA	VEHÍCULOS LIVIANOS = 25707					VEHÍCULOS PESADOS = 491									

Tabla 17: Índice Medio Diario semanal e Índice Medio Diario Anual - calle Salaverry  
Fuente: Elaboración propia

### IMDS - IMDA ( CALLE SALAVERRY - PTE SAN MARTÍN)



Gráfica 1: Comparación entre el IMDS – IMDA  
Fuente: Elaboración propia

### 3.1.2. Factor Direccional y Factor Carril.

La vía de estudio se compone de 01 calzada, con 02 sentidos con 02 carriles para cada sentido, por lo tanto, le corresponde de 0.5 factor direccional y 0.8 de factor carril, como se indica en la tabla 18.

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional Fd	Factor Carril Fc	Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25

Tabla 18: Factores de distribución Direccional y de Carril para determinar el tránsito en el Carril de diseño  
Fuente: Manual de Carreteras, Sección Suelos y Pavimentos, 2014

### 3.1.3. Cálculo de tasas de crecimiento y proyección.

Se halla el tránsito proyectado al año “n” en veh/día ( $T_n$ ), con la siguiente ecuación:

$$T_n = T_0(1 + r)^{n-1}$$

Ecuación 8: Tránsito proyectado

Fuente: Manual de Carreteras, Sección Suelos y Pavimentos, 2014

Donde:

- $T_n$ = Tránsito proyectado al año “n” en veh/día.
- $T_0$ = Tránsito actual (año base 0) en veh/día.
- n = Número de años del período de diseño.
- r = Tasa anual de crecimiento del tránsito.

Para la ecuación anterior el número de años que se consideró para este diseño será de 20 años.

El Manual de Carreteras – Sección Suelos y Pavimentos, menciona que las tasas requeridas para el diseño están relacionadas con el crecimiento socio-económico de la región donde se desarrolla el proyecto, es por esto, que la tasa de crecimiento del tránsito de vehículos de pasajeros se asocia con la tasa anual de crecimiento poblacional y la tasa de crecimiento de tránsito de vehículos de carga con la tasa anual de crecimiento de la economía expresada como el Producto Bruto Interno (PBI).

Estos factores fueron obtenidos de la página del Instituto Nacional de Estadística e Informática y se muestran en la tabla 19.

TASA ANUAL DE CRECIMIENTO POBLACIONAL (%)	TASA ANUAL DE CRECIMIENTO DE LA ECONOMÍA - PBI (%)
1.8	2.6

Tabla 19: Tasa anual de crecimiento poblacional y de la economía expresada como el PBI del departamento de Arequipa  
Fuente: Elaboración propia en función a base de datos del INEI  
(<https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indicetematico/growth-and-size-of-population/> Y  
<https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/producto-bruto-internopor-departamentos-9089/>)

Con estos datos, se calcula el Factor de Crecimiento Acumulado (Fca) usando la siguiente ecuación:

$$\text{Factor Fca} = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

Ecuación 9: Factor de crecimiento acumulado  
Fuente: Manual de Carreteras, Sección Suelos y Pavimentos, 2014

En la tabla 20 se muestran los valores de tránsito proyectado ( $T_n$ ) y en la tabla 21, los valores hallados para factor de crecimiento acumulado.

VEHÍCULO	UND	LIVIANO	PESADO	TOTAL
Tránsito Existente	TE (Veh/día)	22120	430	
Tránsito Atraído (5%)	Tat (Veh/día)	1106	22	
Tránsito Actual	TA (Veh/día)	23226	452	
Tránsito Generado (15%)	TG (Veh/día)	3484	68	
Periodo de Diseño	n (años)	20	20	
Tasa Anual de Crecimiento	r (%)	1.8	2.6	
Tránsito final al año "n"	Tf (Veh/día)	32597	736	
Tránsito Proyectado al año "n"	Tn (Veh/día)	36081	804	36885

Tabla 20: Cálculo del tránsito proyectado al año "n" de pavimento urbano  
Fuente: Elaboración propia

TASA DE CRECIMIENTO VEHÍCULO DE PASAJEROS	TASA DE CRECIMIENTO VEHÍCULOS DE CARGA	FACTOR DE CRECIMIENTO VEHÍCULOS DE PASAJEROS	FACTOR DE CRECIMIENTO VEHÍCULOS DE CARGA
%	%	Fca	Fca
1.8	2.6	23.8	25.8

Tabla 21: Tasas de crecimiento y Factor de crecimiento para pavimento urbano  
Fuente: Elaboración propia

### 3.1.4. Número de repeticiones de ejes equivalentes.

El tráfico ligero no tiene una incidencia considerable en el factor de destrucción es por ello que para el diseño de pavimentos flexibles se toma en cuenta solo el tráfico pesado que se mide en una unidad definida por AASHTO como ejes equivalentes (EE) y que representa el efecto dañino sobre el pavimento. Llamado también como ESAL, es un eje estándar compuesto por un eje con dos ruedas a los extremos, con un peso de 8.2 ton y con presión de neumáticos de 80 lbs/plg<sup>2</sup>.

Con el objetivo de evaluar este efecto dañino se consideran factores de equivalencia de carga por eje, que se obtuvieron a partir de resultados experimentales realizados por la AASHTO Road Test y que se muestran en la tabla 22.

Tipo de Eje	Eje Equivalente ( $EE_{8.2ton}$ )
Eje simple de ruedas simples $EE_{S1}$	$EE_{S1} = \left[ \frac{P}{6.6} \right]^4$
Eje simple de ruedas dobles $EE_{S2}$	$EE_{S2} = \left[ \frac{P}{8.2} \right]^4$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) $EE_{TA1}$	$EE_{TA1} = \left[ \frac{P}{14.8} \right]^4$
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) $EE_{TA2}$	$EE_{TA2} = \left[ \frac{P}{15.1} \right]^4$
Eje Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) $EE_{TR1}$	$EE_{TR1} = \left[ \frac{P}{20.7} \right]^{3.9}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) $EE_{TR2}$	$EE_{TR2} = \left[ \frac{P}{21.8} \right]^{3.9}$
P= peso real por eje en toneladas	

Tabla 22: Relación de cargas por eje para determinar EE  
Fuente: Manual de Carreteras, Sección Suelos y Pavimentos, 2014

Con estos Factores Equivalentes para cada tipo de Eje, y con el peso máximo por eje se elaboró la tabla 23, también se calculó el Factor de vehículo pesado Fvpi para cada tipo de vehículo que se registró en el conteo vehicular de esta investigación, tal como se muestra en la tabla 24.

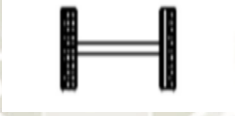
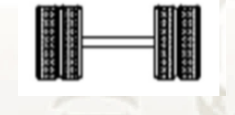

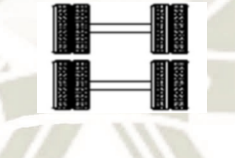
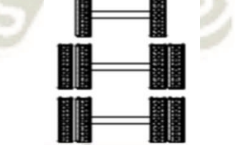
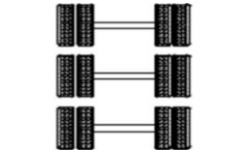
CONFIGURACIÓN VEHÍCULAR	GRÁFICO	PESO MÁX POR EJE (ton)	FACTOR EE (8.2 ton)
Eje simple de ruedas simples		7	1.265
Eje simple de ruedas dobles		11	3.238
Eje Tándem ( 1 eje ruedas dobles + eje rueda simple)		16	1.366
Eje Tándem ( 2 ejes de ruedas dobles)		18	2.019
Eje Tridem ( 2 ejes ruedas dobles + eje rueda simple)		23	1.508
Ejes Tridem ( 3 ejes de ruedas dobles)		25	1.706

Tabla 23: Peso máximo por ejes - Factor de EE  
Fuente: Elaboración propia con datos del Reglamento Nacional de vehículos 2003

El Factor de vehículo pesado  $F_{vpi}$  para cada tipo de vehículo se muestra a continuación:

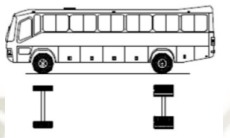
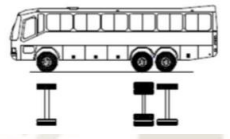
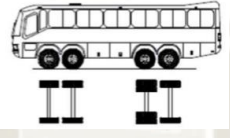


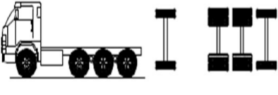
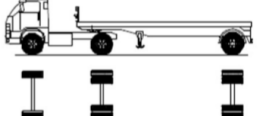
CONFIGURACIÓN VEHICULAR	GRÁFICO	FACTOR VEH. PESADO $F_{vpi}$
B2		4.504
B3		2.631
B4		3.897
C2		4.504
C3		3.285
C4		2.774
T2S1		7.742

Tabla 24: Factor de EE por tipo de vehículo pesado  
Fuente: Elaboración propia con datos del Reglamento Nacional de vehículos 2003

El Factor de presión de neumáticos debe ser calculada en campo, por lo tanto, se asumirá un valor de 1.0.

Con los datos ya obtenidos, se hallan los Ejes Equivalentes para cada tipo de vehículo pesado, por día y para el carril de diseño, que se expresa como se indica en la ecuación 6.

$$EE = IMD_{pi} * F_d * F_c * F_{vpi} * F_{pi}$$

*Ecuación 10: Ejes Equivalentes*  
*Fuente: Manual de Carreteras, Sección Suelos y Pavimentos, 2014*

Donde:

- $EE$  = Ejes equivalentes por cada tipo de vehículo pesado, por día para el carril de diseño.
- $IMD_{pi}$  = Índice Medio Diario según tipo de vehículo pesado seleccionado.
- $F_d$  = Factor Direccional.
- $F_c$  = Factor Carril de diseño.
- $F_{vpi}$  = Factor vehículo pesado del tipo seleccionado.
- $F_p$  = Factor de Presión de neumáticos.

Y se finaliza con el cálculo del Número de repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 ton, en el periodo de diseño, para lo que se usará la siguiente ecuación.

$$N_{rep\ de\ EE} = \sum [EE * F_{ca} * 365]$$

*Ecuación 11: Número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 ton*  
*Fuente: Manual de Carreteras, Sección Suelos y Pavimentos, 2014*

Los resultados se muestran en la tabla 25.

NÚMERO DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES												
VARIABLES	BUSES		CAMIÓN			SEMI - TRAILER				TRAILER		
	B2	B3	C2	C3	C4	T2S1/T2S2	T2S3	T3S1	T3S2/T3S3	C2R2	C2R3	C3R2
IMDS	44	3	308	44	3	1	0	0	0	0	0	0
IMDA/IMDpi	53	3	375	53	5	2	0	0	0	0	0	0
Fd	0.54	0.67	0.64	0.68	0.65	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fc	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Fvpi	4.504	2.631	4.504	3.285	2.774	7.742	6.21	6.52	5.3	4.5	4.5	3.28
Fpi	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
EE día/carril	103.493	4.210	864.868	94.946	7.255	8.671	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fca	23.8	23.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8
Días del año	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365
Nrep de EE (8.2 ton)	899045.45	36568.79	8144464.54	894106.54	68321.05	81655.18	0	0	0	0	0	0

NÚMERO DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES 8.2 ton										10,124,162		
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------------	--	--

Tabla 25: Resultados del estudio del tráfico urbano – calle Salaverry  
Fuente: Elaboración propia

Con este valor de número de repeticiones acumuladas obtenido clasificamos el tipo de tráfico pesado expresado en EE como un Tp10.

Tipos de tráfico pesado expresado en EE	Rangos de tráfico pesado expresados en EE
$T_{P7}$	$>3'000,000 \text{ EE} \leq 5'000,000 \text{ EE}$
$T_{P8}$	$>5'000,000 \text{ EE} \leq 7'500,000 \text{ EE}$
$T_{P9}$	$>7'500,000 \text{ EE} \leq 10'000,000 \text{ EE}$
$T_{P10}$	$>10'000,000 \text{ EE} \leq 12'500,000 \text{ EE}$

Tabla 26: Tipos de tráfico pesado según EE  
Fuente: Manual de Carreteras, Sección Suelos y Pavimentos, 2014

## 4. ANÁLISIS DEL ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS PARA FINES DE PAVIMENTACIÓN

---

### 4.1. OBTENCIÓN DE MATERIALES

Los agregados minerales gruesos y finos empleados en esta investigación se adquirieron de la cantera La Poderosa, que es la cantera más comercial de la provincia de Arequipa, departamento de Arequipa. Esta cantera se ubica en el distrito de Uchumayo, sector Congata como se muestra en la figura 25.



Figura 25: Ubicación de la cantera La Poderosa, Arequipa, Arequipa.  
Fuente: Google Earth

Se elaboró esta investigación con 5 sacos de agregado grueso de tamaño nominal de  $\frac{3}{4}$ " y 5 sacos de agregado fino, arena gruesa, cada saco tiene un peso de 40 kg, y como filler se usó polvo de roca de la empresa ROCATECH, ubicada en el km 6 de la variante de Uchumayo del distrito de Tiabaya, departamento de Arequipa.

Para todos los ensayos los agregados fueron cuarteados a fin de obtener muestras representativas.

## 4.2. ENSAYOS DE PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE MATERIALES

Como ya se definió, los agregados forman parte importante en el diseño de mezclas asfálticas, es por ello que definir sus propiedades y verificar que cumplan con los requerimientos mínimos para su uso es un tema importante en esta investigación.

### 4.2.1. Caracterización de Agregado Grueso para mezcla asfáltica.

Los requisitos que debe cumplir un agregado grueso que será usando en el diseño de mezcla asfáltica para las condiciones de altitud de la ciudad de Arequipa de 2328 msnm se muestran remarcados en la tabla 27.

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud	
		≤ 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	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E - 210	85/50	90/70
Sales solubles totales	MTC E - 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción *	MTC E - 206	1.0% máx.	1.0% máx.

\*Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores solo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica

- La adherencia del agregado grueso para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla según lo señalado en la subsección 430.02
- La notación 80/50 indica que el 85% del agregado grueso tiene una cara fracturada y que el 50% tiene dos caras fracturadas

Tabla 27: Requerimientos para el Agregado Grueso  
Fuente: Manual de Carreteras – EG 2013

A continuación, se procede a describir brevemente cada ensayo que se realizó a las muestras de agregado grueso.

Cabe mencionar que los ensayos fueron realizados en los laboratorios de Mecánica de Suelos y Pavimentos de la Universidad Católica de Santa María.

#### 4.2.1.1. Análisis Granulométrico.

**Norma:** MTC E – 204

Mediante este ensayo se realiza la clasificación de agregados en diferentes tamaños, empleando tamices normados. La cantidad para realizar el ensayo depende del tamaño máximo nominal de la cantidad total de agregado.



*Figura 26: Análisis granulométrico de agregado grueso  
Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2.1.2. Durabilidad al sulfato de magnesio.

**Norma:** MTC E – 209

Mediante este ensayo se evalúa la resistencia a la desintegración de las partículas de agregado, se emplea una solución a base de sulfato de magnesio para sumergir el agregado retenido en el tamiz N° 4.



*Figura 27: Ensayo de durabilidad - Inmersión de muestra en la solución  
Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2.1.3. *Ensayo de abrasión – Los Ángeles.*

**Norma:** MTC E – 207

Mediante este ensayo se evalúa la resistencia a la degradación por efecto de fuerzas de impacto, representado en la pérdida de masa de los agregados introducidos en la máquina de los Ángeles.



*Figura 28: Ensayo de abrasión - Máquina de los Ángeles*  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.1.4. *Índice de durabilidad.*

**Norma:** MTC E – 214

El índice de durabilidad permite calcular el valor representativo de resistencia de los agregados para generar finos dañinos como la arcilla, para esto se someten a un proceso de degradación mecánica. El uso de este ensayo es importante si se elaborará mezclas bituminosas con los agregados como en nuestro caso.



*Figura 29: Ensayo de Índice de durabilidad*  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.1.5. *Partículas chatas y alargadas.*

**Norma:** MTC E - 223

La finalidad de este ensayo es determinar el porcentaje de partículas chatas y alargadas que contiene el agregado, su importancia radica en que se considera que estas partículas afectan en la consolidación y dificultan la colocación de los materiales. El dispositivo calibrador proporcional usado en este ensayo, presenta diferentes relaciones, para efectos de esta investigación y de acuerdo con los requerimientos de las normas se usará la relación 1:3 para pavimentos urbanos.



*Figura 30: Partículas chatas y alargadas de agregado grueso  
Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2.1.6. *Caras fracturadas.*

**Norma:** MTC E - 210

La finalidad de este ensayo es determinar el porcentaje de partículas con una o más caras fracturadas (con bordes agudos o superficies rugosas) que contiene una cantidad determinada de agregado.



*Figura 31: Caras fracturadas de agregado grueso  
Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2.1.7. Sales solubles totales.

**Norma:** MTC E - 219

La finalidad de este ensayo es determinar el porcentaje de sales, entre cloruros y sulfatos que presenta el agregado, para esto una muestra se somete a continuos lavados con agua destilada, hasta la extracción total de las sales.



*Figura 32: Sales solubles  
Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2.1.8. Peso específico y absorción.

**Norma:** MTC E - 206

El peso específico es la relación entre el peso de un material y su volumen. La finalidad de este ensayo es obtener el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, peso específico aparente y la absorción de la muestra de agregado grueso retenido en la malla N°4.

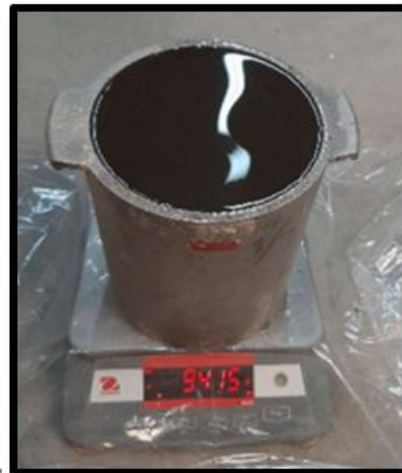


*Figura 33: Peso específico del agregado grueso  
Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2.1.9. *Peso unitario.*

**Norma:** MTC E - 203

El objeto de este ensayo es determinar el peso unitario suelto y compactado de los agregados, el peso unitario suelto se usa para hacer conversiones de peso a volumen para conocer su consumo por metro cúbico y el peso unitario compactado se somete a compactación para conocer el factor de acomodamiento del material. Para datos más exactos se calibra el molde de forma que se halle su volumen para el ensayo.



*Figura 34: Calibración del molde de P.U.  
Fuente: Elaboración propia*



*Figura 35: Peso unitario compactado  
Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2.2. Caracterización de Agregado Fino para mezcla asfáltica.

Los requisitos que debe cumplir un agregado fino que será usando en el diseño de mezcla asfáltica para las condiciones de altitud de la ciudad de Arequipa de 2328 msnm se muestran remarcados en la tabla 28.

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud	
		≤ 3.000	>3.000
Equivalente de arena	MTC E - 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E - 222	30	40
Azul de metileno	AASHTO 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.

\*\*Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores solo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica

- La adherencia del agregado fino para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla según lo señalado en la subsección 430.02

Tabla 28: Requerimientos para el Agregado Fino  
Fuente: Manual de Carreteras – EG 2013

##### 4.2.2.1. Análisis Granulométrico.

(Ver 4.2.2.1.)



Figura 36: Análisis granulométrico del agregado fino  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2.2. Valor Equivalente de arena.

**Norma:** MTC E - 114

El objeto de este ensayo es determinar el porcentaje de finos arcillosos y polvo en el agregado pasante del tamiz N° 4, asignando un valor empírico al contenido de material arcilloso presente en la muestra de ensayo que determinaría cambios en la calidad de los agregados.



*Figura 37: Equivalente de arena del agregado fino  
Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2.2.3. Angularidad.

**Norma:** MTC E - 222

El objeto de este ensayo es determinar el porcentaje de vacíos con aire presente en el agregado de partículas menores de 2,36 mm (pasante malla N° 8) y retenido en la malla N° 200.



*Figura 38: Angularidad del agregado fino  
Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2.2.4. *Azul de metileno.*

**Norma:** AASHTO TP 57

El objeto de este ensayo es determinar la cantidad de material potencialmente dañino, se incluye también la arcilla y material orgánico presente en el agregado fino.

Se usa como muestra el agregado fino pasante de la malla N° 200, se emplea para este ensayo solución de azul de metileno que se vierte sobre papel filtro en incrementos de 0.5 ml.



Figura 39: Solución de Azul de Metileno  
Fuente: Elaboración propia

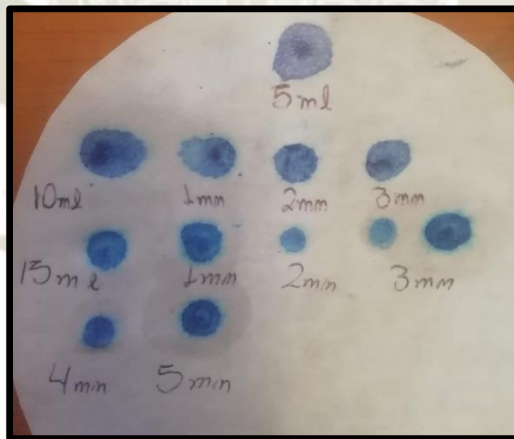


Figura 40; Azul de Metileno en el agregado fino  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2.5. *Índice de plasticidad.*

**Norma:** MTC E - 111

Este ensayo se realiza para el material pasante de la malla N° 40 y también para el pasante de la malla N° 200, su objetivo es determinar el índice de plasticidad de las muestras, para ello se debe

primero hallar el límite líquido y plástico, para el primero se emplea la cuchara de Casagrande y el segundo es la humedad con la que se pueden formar “gusanitos” de suelo.

Se espera que para el material pasante de la malla N° 40 no se presente índice de plasticidad.



*Figura 41: Límite líquido  
Fuente: Elaboración propia*



*Figura 42: Límite plástico  
Fuente: Elaboración propia*

#### **4.2.2.6. Durabilidad al sulfato de magnesio.**

(Ver 4.2.1.2.)

#### **4.2.2.7. Índice de durabilidad.**

(Ver 4.2.1.4.)

#### **4.2.2.8. Sales solubles totales.**

(Ver 4.2.1.7.)

#### 4.2.2.9. *Peso específico y absorción.*

**Norma:** MTC E - 205

Este ensayo hace referencia a la relación que existe entre un material y otro de referencia, en este caso agua. Con este ensayo se obtiene el peso específico seco y saturado además de la absorción de agregado fino.



*Figura 43: Material para hallar peso específico del agregado fino  
Fuente: Elaboración propia*



*Figura 44: Peso específico del agregado fino  
Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2.2.10. *Peso unitario.*

(Ver 4.2.1.9.)

#### 4.2.3. Caracterización de filler.

El filler empleado en esta investigación es polvo de roca y se muestra en la figura 45.



*Figura 45: Filler – polvo de roca  
Fuente: Elaboración propia*

##### 4.2.3.1. Densidad aparente.

**Norma:** MTC E – 205

Para hallar la densidad aparente se emplea el mismo ensayo del agregado fino.



*Figura 46: Densidad aparente del filler  
Fuente: Elaboración propia*

### 4.3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE LABORATORIO

#### 4.3.1. Resultados de caracterización de agregados para mezcla asfáltica.

Los resultados de la caracterización de materiales para mezcla asfáltica se muestran en tablas resumen y ampliamente en los anexos 01 y 02 de la presente investigación.

#### 4.3.1.1. Caracterización de Agregado Grueso.

Se muestra el resumen de acuerdo a los requisitos del Manual de Carreteras EG – 2013.

CARACTERIZACIÓN DE AGREGADO GRUESO						
ENSAYO	NORMA	REQUERIMIENTO EG - 2013	UNIDAD	RESULTADOS	PROMEDIO	CUMPLE/ NO CUMPLE
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E – 209	18 % máx.	%	0.30	0.32	CUMPLE
				0.28		
				0.40		
Abrasión los Ángeles	MTC E - 207	40 % máx.	%	16.62	15.50	CUMPLE
				14.42		
				15.46		
Adherencia	MTC E - 517	+95	-	100	99	CUMPLE
				99		
				98		
Índice de durabilidad	MTC E - 214	35 % mín.	%	98.82	98.89	CUMPLE
				98.96		
				98.89		
Partículas chatas y alargadas	MTC E - 223	10 % máx.	%	6.22	6.61	CUMPLE
				7.12		
				6.50		
Caras fracturadas	MTC E - 210	85/50	-	89/65	88/62	CUMPLE
				87/59		
				88/63		
Sales solubles totales	MTC E - 219	0.5 % máx.	%	0.0000070	0.00001	CUMPLE
				0.0000100		
				0.0000077		
Absorción	MTC E - 206	1.0 % máx.	%	0.81	0.87	CUMPLE
				0.90		
				0.90		
Peso unitario suelto	MTC E - 203	-	Kg/m3	1499.20	1505.52	-
				1511.85		
				1505.52		
Peso unitario compactado	MTC E - 203	-	Kg/m3	1637.31	1642.23	-
				1644.69		
				1644.69		

Tabla 29: Caracterización del Agregado Grueso  
Fuente: Elaboración propia

4.3.1.2. Caracterización de Agregado Fino.

CARACTERIZACIÓN DE AGREGADO FINO						
ENSAYO	NORMA	REQUERIMIENTO EG - 2013	UNIDAD	RESULTADOS	PROMEDIO	CUMPLE/ NO CUMPLE
Equivalente de arena	MTC E - 114	60 mín.	%	81.95	87.95	CUMPLE
				86.93		
				94.96		
Angularidad	MTC E - 222	30 mín.	%	47.31	47.15	CUMPLE
				46.98		
				47.02		
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 % máx.	%	3.99	4.33	CUMPLE
				4.00		
				5.00		
Índice de plasticidad malla N°40	MTC E - 111	NP	%	NP	NP	CUMPLE
				NP		
				NP		
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E - 209	-	%	4.46	3.95	CUMPLE
				4.00		
				3.40		
Índice de durabilidad	MTC E - 214	35 % mín.	%	97.48	97.47	CUMPLE
				97.46		
				97.48		
Índice de plasticidad malla N°200	MTC E - 111	4 % máx.	%	2.00	2.00	CUMPLE
				2.00		
				2.00		
Sales solubles totales	MTC E - 219	0.5 % máx.	%	0.0004	0.0004	CUMPLE
				0.0004		
				0.0004		
Absorción	MTC E - 205	0.5 % máx.	%	0.77	0.76	NO CUMPLE
				0.72		
				0.79		
Peso unitario suelto	MTC E - 203	-	Kg/m <sup>3</sup>	1536.36	1544.62	-
				1543.44		
				1554.06		
Peso unitario compactado	MTC E - 203	-	Kg/m <sup>3</sup>	1713.36	1728.70	-
				1734.60		
				1738.14		

Tabla 30: Caracterización del Agregado Fino

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.1.3. Caracterización de Filler.

CARACTERIZACIÓN DE FILLER						
ENSAYO	NORMA	REQUERIMIENTO EG - 2013	UNIDAD	RESULTADOS	PROMEDIO	CUMPLE/ NO CUMPLE
Peso específico	MTC E – 205	2.0 – 2.5 g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	2.34	2.35	CUMPLE
				2.35		
				2.35		
Coefficiente de emulsibilidad	-	Menor a 0.6	-	0.1 – 0.6	-	CUMPLE

Tabla 31: Caracterización del Filler  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.1.4. Caracterización del cemento asfáltico.

Los resultados que se presentan en la tabla 32 fueron extraídos de la ficha técnica del cemento asfáltico 85/100 PEN de PETROPERU, que se encuentra en el anexo 06.

CARACTERIZACIÓN DE CEMENTO ASFÁLTICO					
ENSAYO	NORMA	REQUERIMIENTO EG - 2013	UNIDAD	RESULTADO	CUMPLE/ NO CUMPLE
Penetración a 25 °C, 100 g, 5 s, 0.1 mm	MTC E – 304	85 – 100	PEN	85	CUMPLE
Punto de inflamación	MTC E – 303	232 min.	°C	300	CUMPLE
Ductilidad a 25 °C, 5 cm./min, cm	MTC E – 306	100 min.	cm	150	CUMPLE
Solubilidad en tricloro – etileno	MTC E – 302	99.0 min.	%	99.8	CUMPLE
Índice de penetración	MTC E – 304	-1 < x < +1	-	-0.09	CUMPLE
Ensayo de la mancha	MTC E – 314	Negativo	-	Negativo	CUMPLE
Película delgada – pérdida de masa	MTC E – 315	1 máx.	%	0.17	CUMPLE
Película delgada – penetración retenida	MTC E – 315	+47 min	-	. 64.7	CUMPLE
Película delgada – ductilidad del residuo	MTC E – 315	75 min.	-	100	CUMPLE

Tabla 32: Caracterización del cemento asfáltico  
Fuente: Elaboración propia

## 5. DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

### 5.1. CONSIDERACIONES GENERALES

En esta investigación se diseñaron dos mezclas asfálticas en caliente, una convencional con porcentajes de contenido de asfalto en incrementos de 0.5 % comprendidos desde 4%, 4.5%, 5.5%, 6%, 6.5% hasta 7% y otra con 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2% y 2.5% de adición de fibras de polipropileno.

Los criterios de diseño y elaboración de mezcla asfáltica en caliente se describen en el capítulo 2, ítem 2.3. Los criterios de elección del cemento asfáltico se describen en el ítem 2.3.4.1. el que se usó para ésta investigación fue el 85/100 PEN de PETROPERU, y como filler polvo de roca CARPETEK de ROCATECH.

La temperatura de mezclado y compactado de acuerdo al cemento asfáltico se define en el ítem 2.3.4.2. y es de 150 °C.

### 5.2. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS - MÉTODO MARSHALL

Para el diseño de mezclas asfálticas es primordial tener información básica de los agregados a usar, tal cual se muestran en la tabla resumen 33.

ENSAYO	NORMA	UNIDAD	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
Peso unitario compactado	MTC E - 203	kg/m <sup>3</sup>	1642.23	1728.70
Peso unitario suelto	MTC E - 203	kg/m <sup>3</sup>	1505.52	1544.62
Peso específico BULK	MTC E – 205 y 206	g/cm <sup>3</sup>	2.69	2.58
Peso específico SSS	MTC E – 205 y 206	g/cm <sup>3</sup>	2.71	2.60
Peso específico aparente	MTC E – 205 y 206	g/cm <sup>3</sup>	2.75	2.62
Absorción	MTC E – 205 y 206	%	0.87	0.76

Tabla 33: Datos generales de Agregados  
Fuente: Elaboración propia

### 5.2.1. Requerimiento Granulométrico Marshall MAC - 01.

La gradación con la que se diseñó es la MAC -01, el tamaño máximo nominal del agregado con el que se elaboró la mezcla es  $\frac{3}{4}$ ".

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC - 1	MAC - 2	MAC - 3
0.38	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

Tabla 34: Requerimientos MAC – 1  
Fuente: Manual de Carreteras EG - 2013

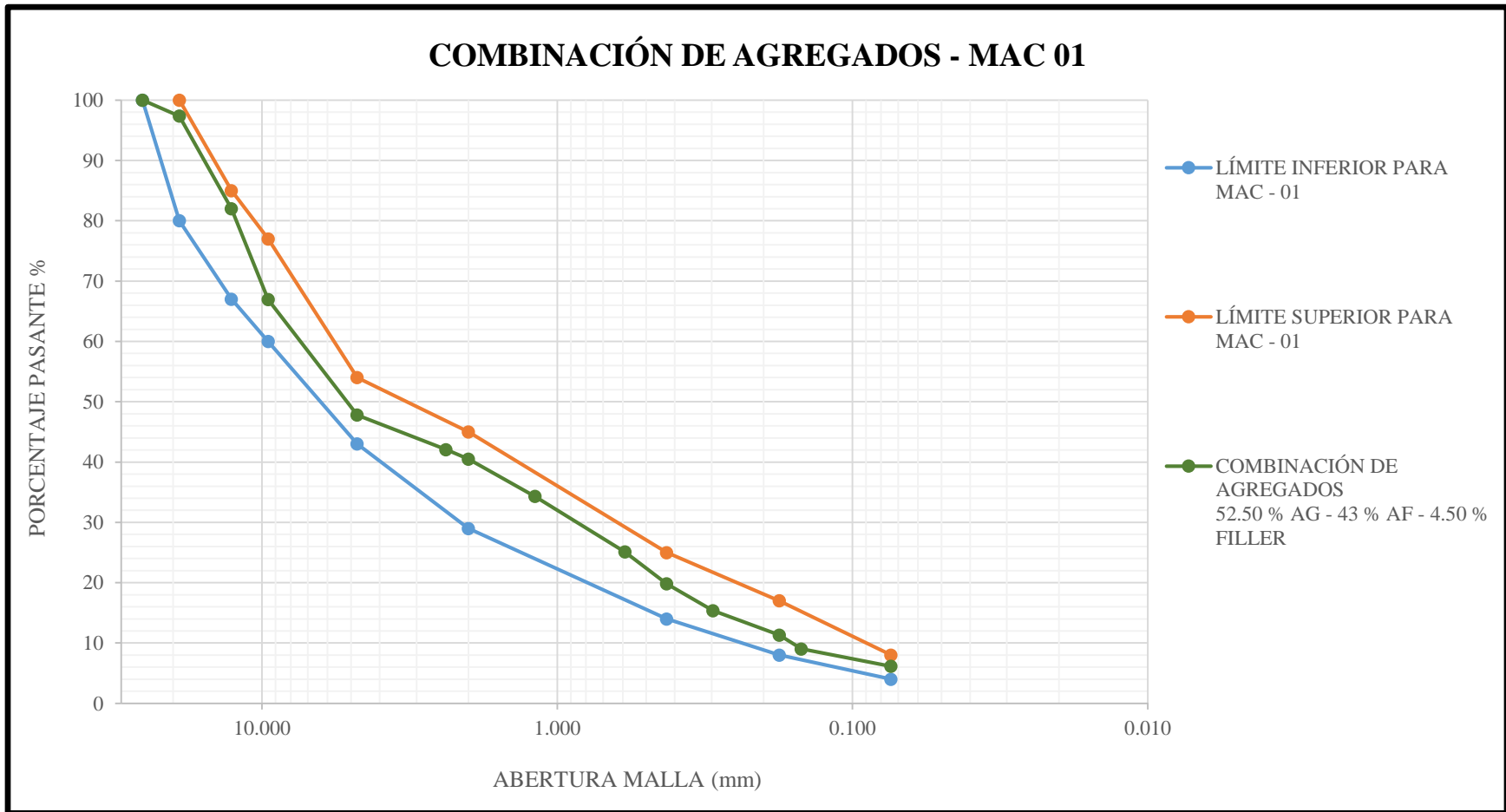
### 5.2.2. Diseño de Mezcla Asfáltica Convencional.

#### 5.2.2.1. Combinación de Agregados.

Se realizó la combinación de agregados como se muestra en la tabla 35, realizada en base a los resultados obtenidos del análisis granulométrico de agregado grueso y fino, cuyos resultados se muestran en el anexo 01 de esta investigación.

COMBINACIÓN DE AGREGADOS										
GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS					% DE COMBINACIÓN				REQUERIMIENTO MAC - 1	
TAMIZ	ABERTURA (mm)	% PASANTE AG GRUESO (a)	% PASANTE AG FINO (b)	% PASANTE FILLER (c)	a	b	c	a + b + c	ESPECIFICACIÓN	CUMPLE
					52.50%	43.00%	4.50%	MEZCLA		
1"	25.400	100.00%	100.00%	100.00%	52.50%	43.00%	4.50%	100.00%	100	
3/4"	19.050	94.96%	100.00%	100.00%	49.85%	43.00%	4.50%	97.35%	80 - 100	CUMPLE
1/2"	12.700	65.68%	100.00%	100.00%	34.48%	43.00%	4.50%	81.98%	67 - 85	CUMPLE
3/8"	9.525	37.03%	100.00%	100.00%	19.44%	43.00%	4.50%	66.94%	60 - 77	CUMPLE
N° 4	4.760	1.88%	98.41%	100.00%	0.99%	42.32%	4.50%	47.80%	43 - 54	CUMPLE
N° 8	2.380	0.00%	87.37%	100.00%	0.00%	37.57%	4.50%	42.07%		CUMPLE
N° 10	2.000	0.00%	83.70%	100.00%	0.00%	35.99%	4.50%	40.49%	29 - 45	CUMPLE
N° 16	1.190	0.00%	69.31%	100.00%	0.00%	29.80%	4.50%	34.30%		
N° 30	0.590	0.00%	47.91%	100.00%	0.00%	20.60%	4.50%	25.10%		
N° 40	0.426	0.00%	35.61%	100.00%	0.00%	15.31%	4.50%	19.81%	14 - 25	CUMPLE
N° 50	0.297	0.00%	25.28%	100.00%	0.00%	10.87%	4.50%	15.37%		
N° 80	0.177	0.00%	15.87%	100.00%	0.00%	6.82%	4.50%	11.32%	8 - 17	CUMPLE
N° 100	0.149	0.00%	10.50%	100.00%	0.00%	4.51%	4.50%	9.01%		
N° 200	0.074	0.00%	3.84%	100.00%	0.00%	1.65%	4.50%	6.15%	4 - 8	CUMPLE
FONDO	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		

Tabla 35: Combinación de agregados  
Fuente: Elaboración propia



Gráfica 2: Combinación de agregados - MAC 01  
Fuente: Elaboración propia

### 5.2.2.2. Contenido Óptimo de asfalto Teórico.

Para obtener el contenido óptimo teórico de asfalto usamos el Método de las áreas superficiales, que contempla el concepto de que cada partícula que forma parte de los agregados de una mezcla asfáltica esté recubierta por una película de asfalto de un espesor suficiente que permita una óptima adherencia, para este método se utiliza la ecuación 8.

$$P = \frac{2.65 * \text{Área superficial} * \text{índice de asfalto}}{\text{Peso específico del agregado}}$$

*Ecuación 12: Fórmula para hallar el contenido óptimo teórico de asfalto  
Fuente: Ingeniería de Pavimentos Material – Rafael Menéndez*

En la tabla 36 se muestran las áreas equivalentes para los distintos tamices, para hallar las áreas superficiales se empleó la ecuación 9.

$$\text{Área superficial} = \% \text{ retenido de la combinación} * \text{área equivalente}$$

*Ecuación 13: Fórmula para calcular las áreas superficiales  
Fuente: Ingeniería de Pavimentos Material – Rafael Menéndez*

TAMIZ	ABERTURA (mm)	% PASANTE MEZCLA	% RETENIDO DE MEZCLA	ÁREA EQUIVALENTE	ÁREA SUPERFICIAL
1"	25.400	100.00%	0.00%	1	0.000
3/4"	19.050	97.35%	2.65%	1	0.026
1/2"	12.700	81.98%	15.37%	1	0.154
3/8"	9.525	66.94%	15.04%	1	0.150
N° 4	4.760	47.80%	19.14%	2	0.383
N° 8	2.380	42.07%	5.74%	4	0.229
N° 10	2.000	40.49%	1.58%	8	0.126
N° 16	1.190	34.30%	6.19%	8	0.495
N° 30	0.590	25.10%	9.21%	16	1.473
N° 40	0.426	19.81%	5.29%	30	1.586
N° 50	0.297	15.37%	4.44%	30	1.332
N° 80	0.177	11.32%	4.05%	60	2.429
N° 100	0.149	9.01%	2.31%	60	1.386
N° 200	0.074	6.15%	2.86%	120	3.436
FONDO	0.00	0.00%	6.15%	250	15.378
					<b>28.583</b>

*Tabla 36: Cálculo de Áreas superficiales  
Fuente: Elaboración propia*

A continuación, haciendo uso del ábaco índice de asfalto vs área superficial mostrado en la figura 47 se determina el índice de asfalto como 0.0015.

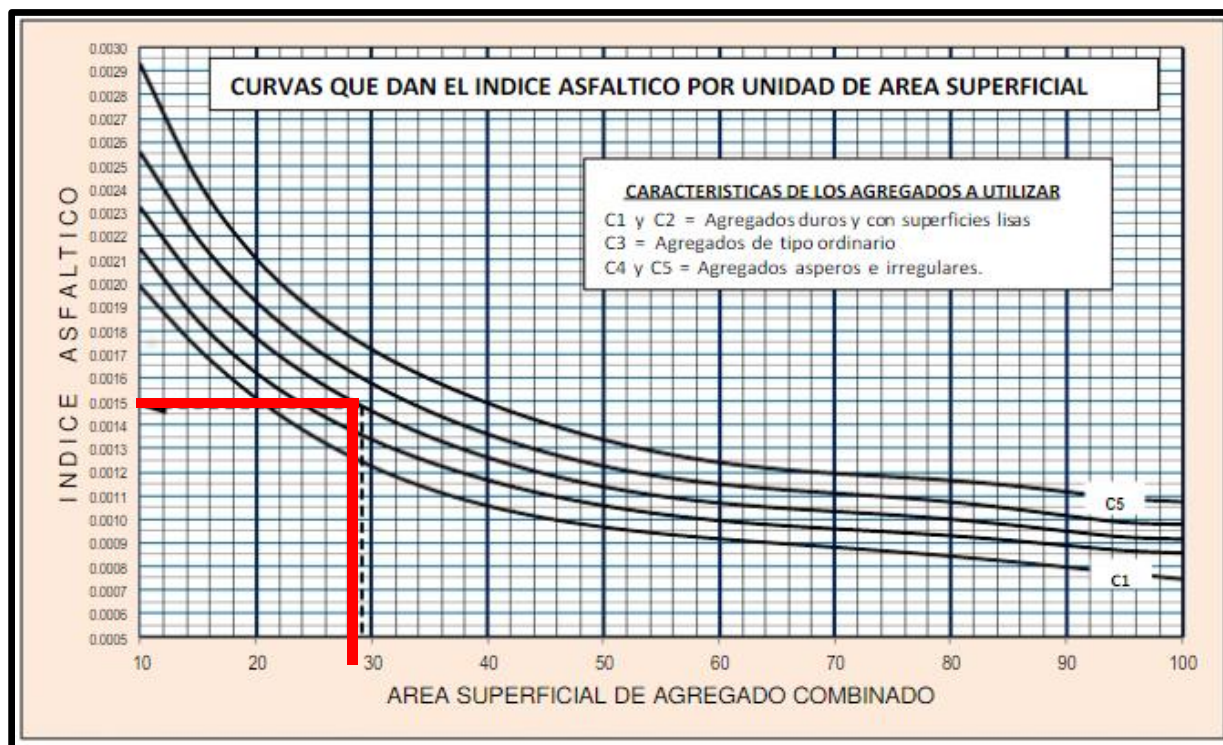


Figura 47: Ábaco para hallar el índice de asfalto  
Fuente: Ingeniería de Pavimentos Material – Rafael Menéndez

Una vez establecidas las variables necesarias, mostradas en la tabla 37 se halla el peso óptimo teórico empleando los distintos pesos específicos: aparente, bulk y efectivo mostrado en la tabla 38 y se toma el mayor valor obtenido.

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
Área Superficial	28.583	p2/lb
Índice Asfáltico	0.0015	-
Peso específico bulk Agregado Grueso	2.687	g/cm <sup>3</sup>
Peso Aparente Agregado Grueso	2.752	g/cm <sup>3</sup>
Promedio Agregado Grueso	2.719	g/cm <sup>3</sup>
Peso específico bulk Agregado Fino	2.584	g/cm <sup>3</sup>
Peso Aparente Agregado Fino	2.616	g/cm <sup>3</sup>
Promedio Agregado Fino	2.600	g/cm <sup>3</sup>
Peso Aparente Filler	2.347	g/cm <sup>3</sup>
% Agregado Grueso	52.50	%
% Agregado Fino	43.00	%

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
% Filler	4.50	%
Peso Específico Aparente del Agregado	2.671	g/cm <sup>3</sup>
Peso Específico Bulk del Agregado	2.625	g/cm <sup>3</sup>
Peso Específico Efectivo del Agregado	2.648	g/cm <sup>3</sup>

Tabla 37: Variables para determinar el óptimo contenido teórico de asfalto  
Fuente: Elaboración propia

PESO ESPECÍFICO EMPLEADO	% OPTIMO TEÓRICO DE C.A.
P APARENTE	4.33%
P BULK	4.25%
P EFECTIVO	4.29%

Tabla 38: % Óptimo teórico de C.A.  
Fuente: Elaboración propia

Se toma el mayor valor obtenido que sería en este caso 4.33% como el porcentaje de cemento asfáltico teórico.

### 5.2.2.3. Dosificación para las briquetas.

Con los porcentajes de agregados definidos previamente en el ítem 5.2.2.1. se prepararon diferentes dosificaciones para cada porcentaje de contenido de cemento asfáltico de prueba.

Estas dosificaciones en % se muestran en la tabla 39 y detalladas en peso según distribución por tamices en el anexo 03.

Material	4.0 % CA	4,5 % CA	5.0 % CA	5,5 % CA	6.0 % CA	6.5 % CA	7.0 % CA
A. Grueso	50.4 %	50.13 %	49.88 %	49.61 %	49.35 %	48.81 %	48.83 %
A. Fino	41.28 %	41.07 %	40.85 %	40.64 %	40.42 %	40.21 %	39.99 %
Filler	4.32 %	4.30 %	4.28 %	4.25 %	4.23 %	4.21 %	4.19 %

Tabla 39: Dosificación real en % para mezcla asfáltica convencional  
Fuente: Elaboración propia

#### 5.2.2.4. Resultados del Ensayo Marshall.

Se muestran los resultados obtenidos para cada porcentaje diferente de asfalto en la tabla 40.

PARÁMETROS	Und.	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6	Ensayo 7
C.A. en la mezcla	%	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
Agregado grueso en la mezcla	%	50.40	50.13	49.88	49.61	49.35	48.81	48.83
Agregado fino en la mezcla	%	41.28	41.07	40.85	40.64	40.42	40.21	39.99
Filler en la mezcla	%	4.32	4.30	4.28	4.25	4.23	4.21	4.19
Peso específico aparente del CA	g/cm <sup>3</sup>	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.0	1.02
Peso específico aparente del AG	g/cm <sup>3</sup>	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75
Peso específico aparente del AF	g/cm <sup>3</sup>	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62
Peso específico aparente Filler	g/cm <sup>3</sup>	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35
Peso e. BULK de la briqueta	g/cm <sup>3</sup>	2.321	2.357	2.384	2.396	2.390	2.379	2.366
Peso específico máximo teórico	g/cm <sup>3</sup>	2.489	2.471	2.452	2.434	2.417	2.399	2.382
% de vacíos - Va	%	6.749	4.584	2.776	1.593	1.099	0.830	0.676
Estabilidad	Kg	1068.63	1264.19	1172.84	946.26	825.82	733.30	691.46
Flujo 0.01"	mm	10.801	13.780	15.171	16.391	17.690	19.895	20.906
Peso e. bulk de los áridos	g/cm <sup>3</sup>	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625
% de VMA	%	15.106	14.231	13.705	13.752	14.406	15.247	16.175
% de VFA	%	55.329	67.841	79.813	88.449	92.536	94.623	95.832
Peso e. efectivo - agregado total	g/cm <sup>3</sup>	2.648	2.648	2.648	2.648	2.648	2.648	2.648
Relación estabilidad/flujo	Kg/cm	3955.90	3602.74	3041.85	2372.59	1838.33	1492.44	1318.99
Relación polvo/asfalto	-	1.476	1.305	1.169	1.057	0.964	0.885	0.817

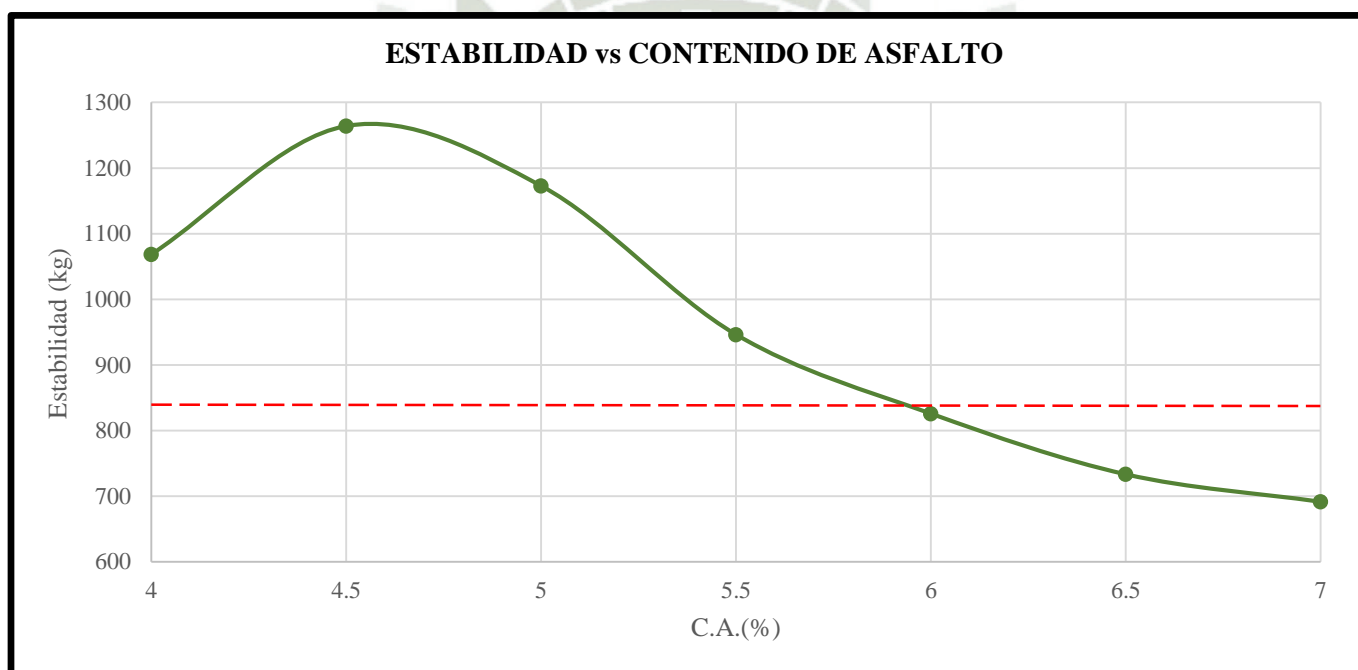
Tabla 40: Resultados del Ensayo Marshall – Mezcla asfáltica convencional  
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestran los gráficos elaborados con datos extraídos de la tabla 39.

#### 5.2.2.4.1. Gráfica Estabilidad vs Contenido de asfalto.

Como se indica en la tabla 3, de la sección 2.3.4. el valor de estabilidad mínimo permitido por el Manual de carreteras – EG 2013 para una MAC – 01 es de 8.15 KN (831.07 kg), considerando esto, todos los valores por encima de la línea roja del gráfico 3 son aceptados.

Estos valores están comprendidos desde 4.0% de C.A. hasta 5.97 % de C.A.

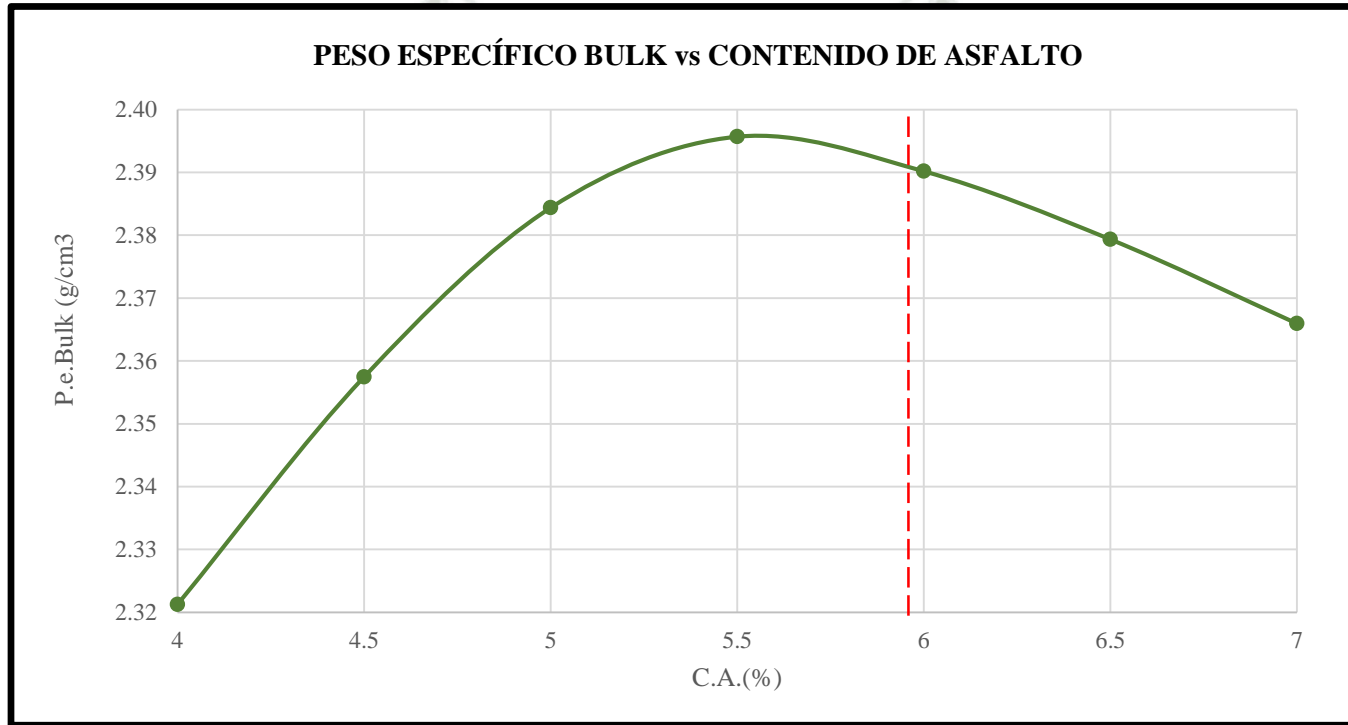


% C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
Estabilidad (kg)	1068.63	1264.19	1172.84	946.26	825.82	733.30	691.46

Gráfica 3: Estabilidad vs % C.A.  
Fuente: Elaboración propia

**5.2.2.4.2. Gráfica Peso específico Bulk vs contenido de asfalto.**

En el Manual de carreteras EG – 2013, no se tiene establecido un parámetro para el peso específico bulk, por lo que se mantienen los valores elegidos anteriormente, todos los valores a la izquierda de la línea roja de la gráfica 4 como aptos, valores comprendidos entre 4.0% y 5.97% de C.A.

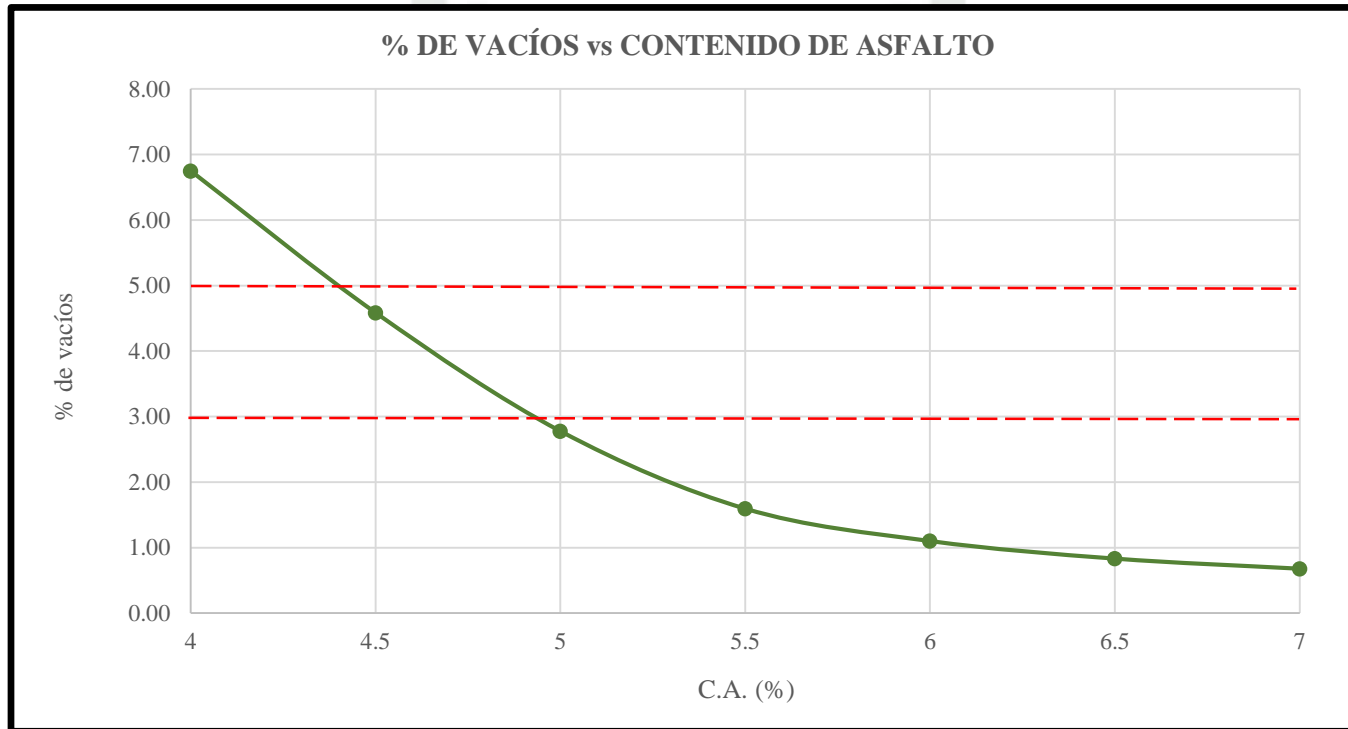


% C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
P.e. Bulk (g/cm3)	2.321	2.357	2.384	2.396	2.390	2.379	2.366

Gráfica 4: Peso e. Bulk vs % C.A.  
Fuente: Elaboración propia

**5.2.2.4.3. Gráfica % vacíos vs contenido de asfalto.**

El Manual de Carreteras EG – 2013 establece que el % de vacíos para una MAC - 01 debe estar entre el 3 y 5 %, por lo que los valores aptos quedan reducidos al rango comprendido entre 4.4% a 4.9% de contenido de C.A.

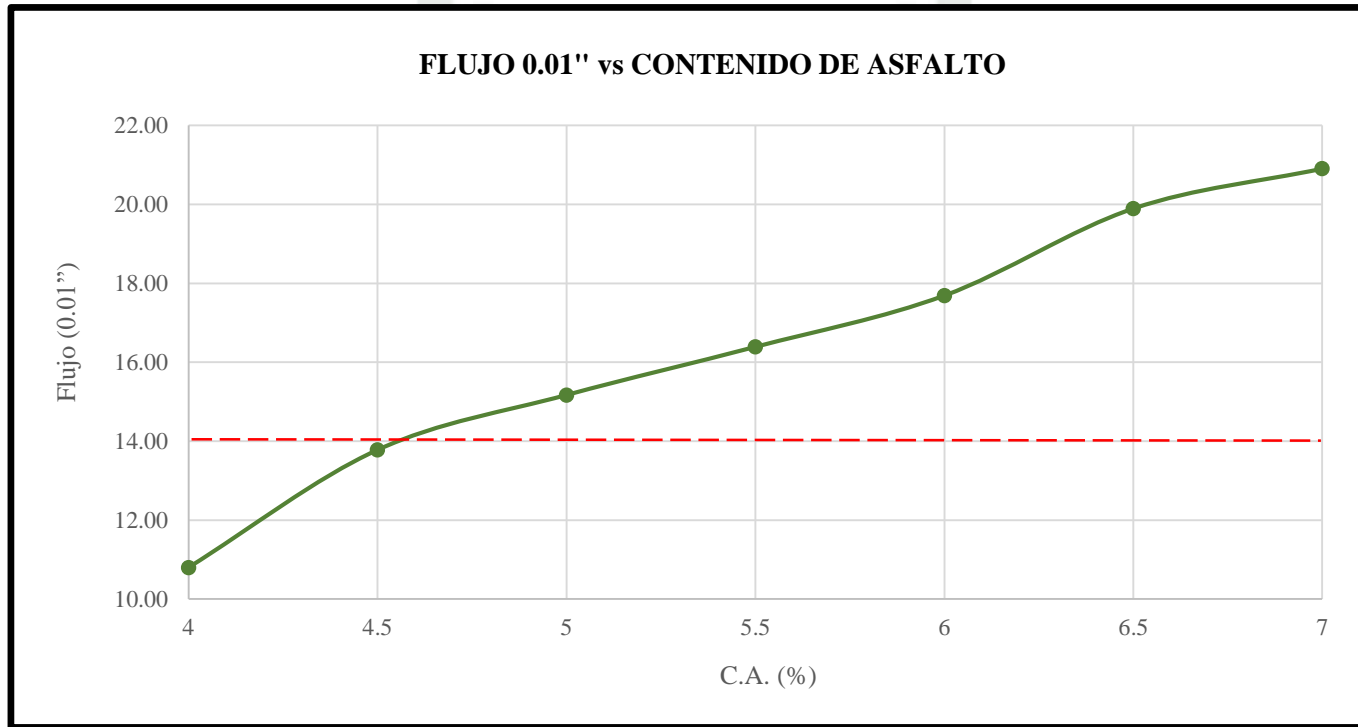


% C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
% Vacíos	6.749	4.584	2.776	1.593	1.099	0.830	0.676

Gráfica 5: % de vacíos vs % C.A.  
Fuente: Elaboración propia

**5.2.2.4.4. Gráfica Flujo vs contenido de asfalto.**

El Manual de carreteras EG – 2013 establece que el flujo para una MAC – 01 debe estar entre 8 y 14, por lo que el valor de C.A. está entre 4.4 % y 4.57 %.

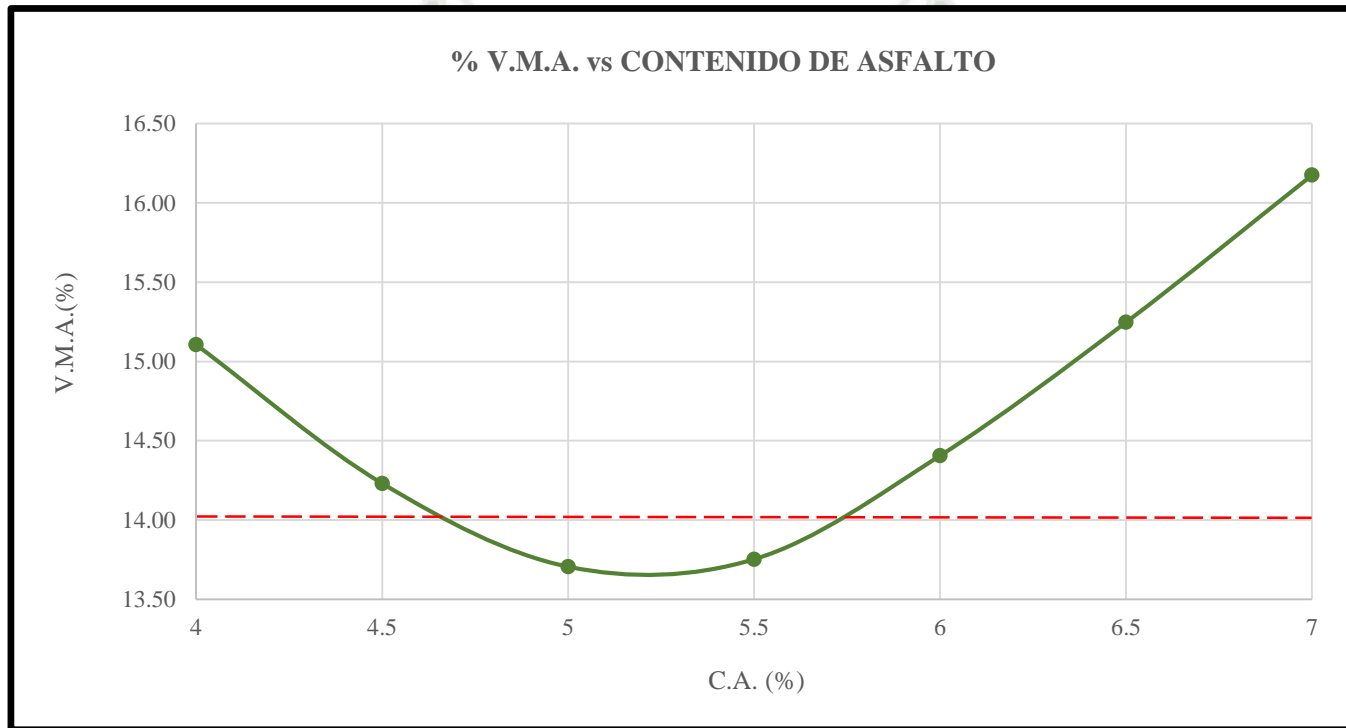


% C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
Flujo (0.01")	10.801	13.780	15.171	16.391	17.690	19.895	20.906

*Gráfica 6: Flujo vs % C.A.  
Fuente: Elaboración propia*

**5.2.2.4.5. Gráfica V.M.A. vs contenido de asfalto.**

El Manual de carreteras EG – 2013 establece que el valor mínimo de V.M.A. para una MAC – 01 con agregado de tamaño nominal de ¾” es de 14%, por lo que el valor de C.A. estaría comprendido entre 4.4% y 4.67% pero por el descarte anterior se mantiene entre 4.4% y 4.57 %.

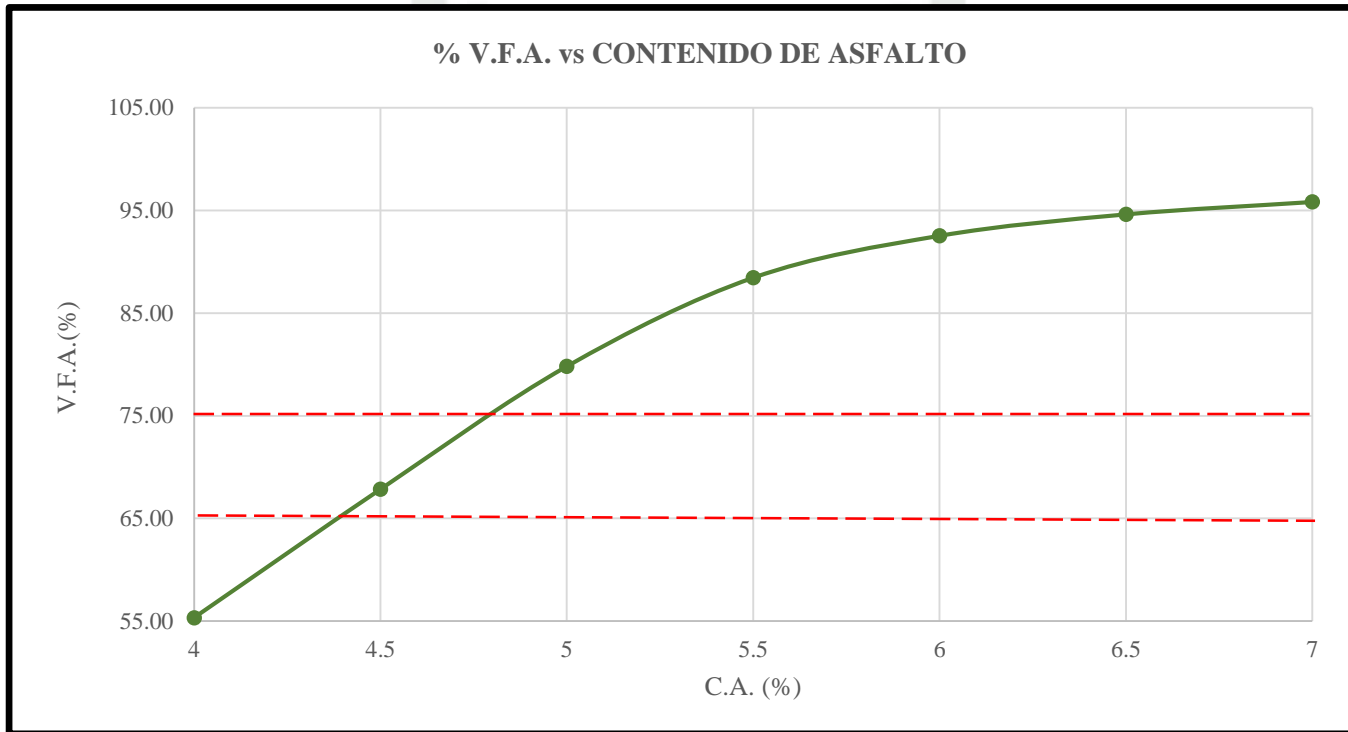


% C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
% V.M.A.	15.106	14.231	13.705	13.752	14.406	15.247	16.175

Gráfica 7: V.M.A. vs % C.A.  
Fuente: Elaboración propia

**5.2.2.4.6. Gráfica V.F.A. vs contenido de asfalto.**

En el Manual de carreteras EG – 2013, no se tiene establecido un parámetro para V.F.A. pero según el Instituto del asfalto este valor debe estar comprendido entre 65% y 75 %, por lo que se mantiene al C.A. entre 4.4 % y 4.57 %.

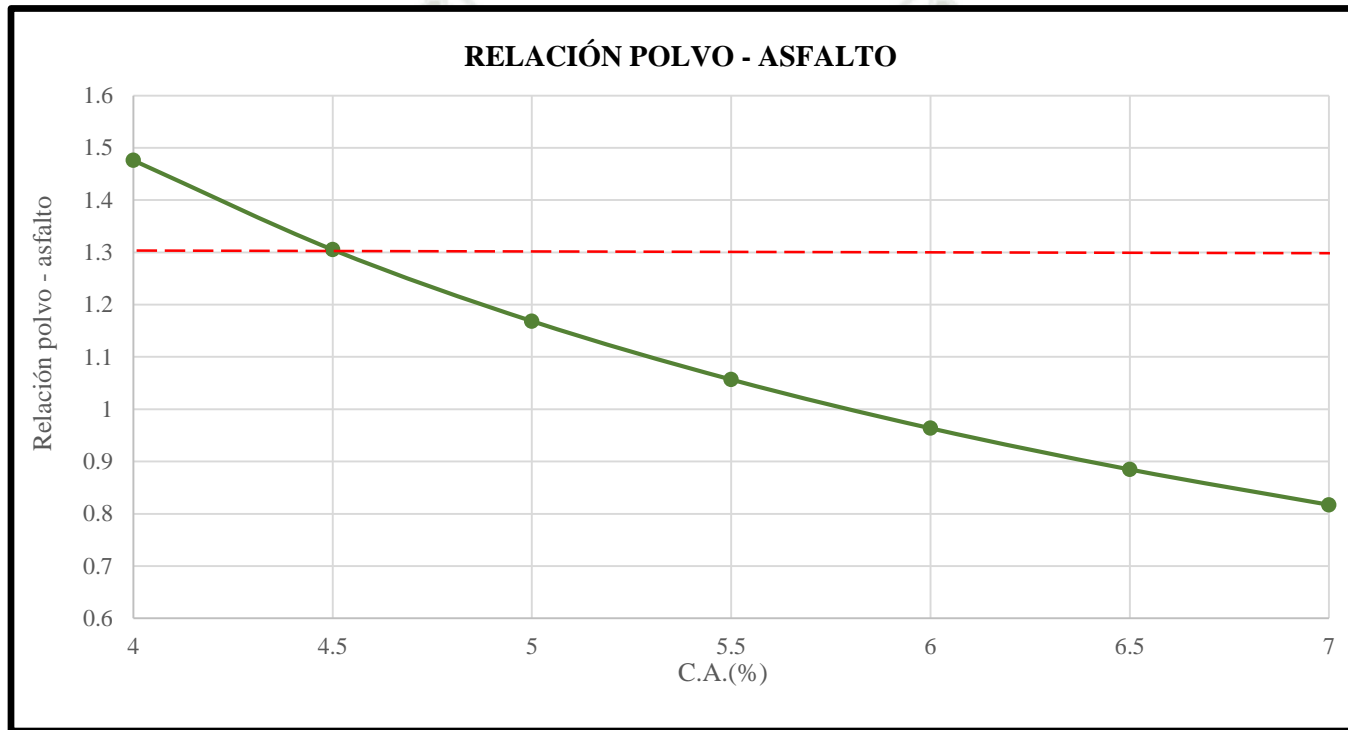


% C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
% V.F.A.	55.329	67.841	79.813	88.449	92.536	94.623	95.832

Gráfica 8: V.F.A. vs % C.A.  
Fuente: Elaboración propia

**5.2.2.4.7. Gráfica Relación polvo – asfalto.**

Es la relación entre el porcentaje en peso del agregado más fino que el tamiz 0,075 mm y el contenido de asfalto efectivo, en porcentaje en peso del total de la mezcla, según el Manual de carreteras este valor para una MAC – 01 debe estar comprendido entre 0.6 y 1.3, por lo que nuestro contenido óptimo de C.A. toma el valor de 4.5 % como único valor que satisface todo lo indicado.



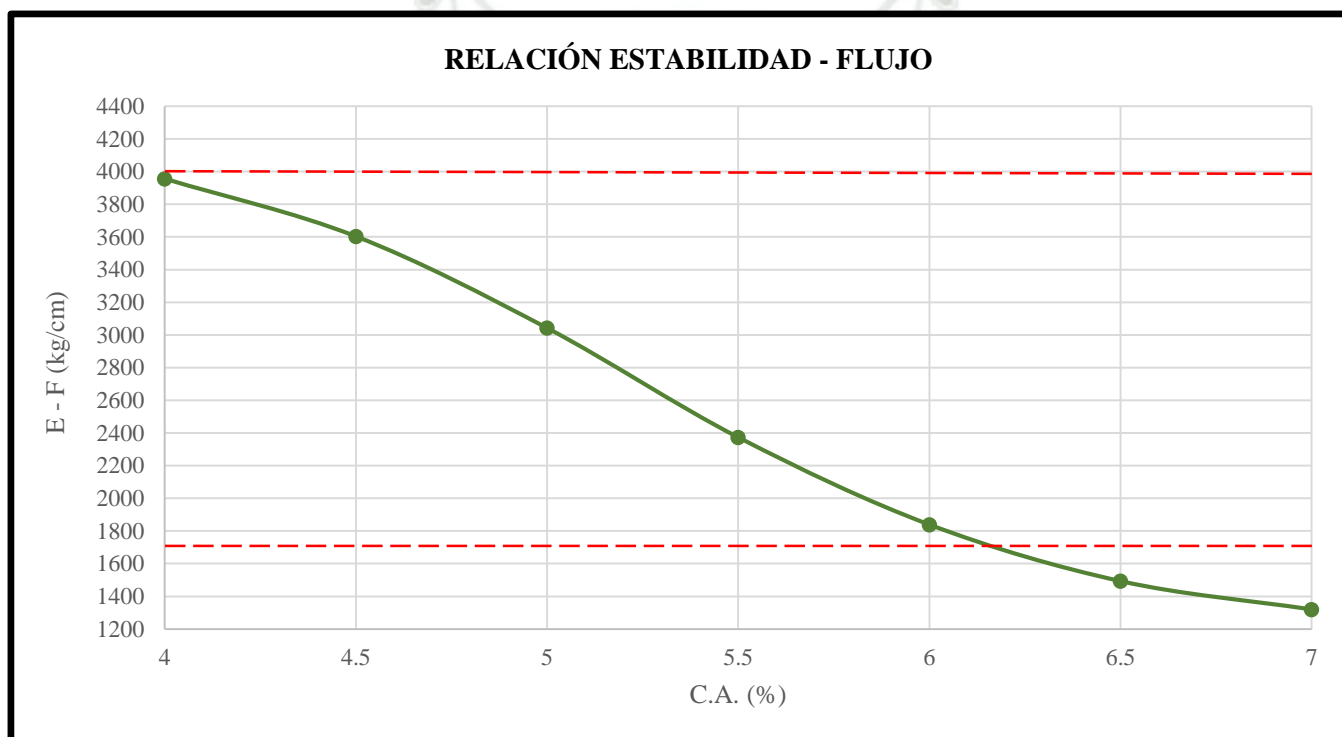
% C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
Polvo- asfalto	1.476	1.305	1.169	1.057	0.964	0.885	0.817

Gráfica 9: Relación polvo – asfalto  
Fuente: Elaboración propia

### 5.2.2.4.8. Gráfica Relación estabilidad - flujo.

Según el Manual de carreteras EG – 2013, este valor para cualquier tipo de MAC estará comprendido entre 1700 a 4000 (kg/cm).

En este caso el valor de la relación estabilidad/flujo para 4.5 % de C.A. es de 3602.74 kg/cm, valor que cumple con lo especificado por la EG – 2013.



% C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
<b>Estabilidad -flujo</b>	3955.90	3602.74	3041.85	2372.59	1838.33	1492.44	1318.99

Gráfica 10: Relación estabilidad – flujo  
Fuente: Elaboración propia

### 5.2.2.5. Determinación del óptimo contenido de C.A.

Con el análisis de los gráficos de la sección anterior 5.2.2.3. se determinó que el contenido óptimo de cemento asfáltico para la mezcla asfáltica es de 4.5 %, por ser el C.A. que satisface todas las características, con este resultado se realizó la comprobación de este porcentaje de asfalto para lo cual se elaboraron 3 briquetas y el resumen de las características obtenidas se muestra en la tabla 41.

PARÁMETROS	UND.	DATOS GRÁFICAS	DATOS FINALES	REQUERIMIENTO EG – 2013 MAC - 1	CUMPLE / NO CUMPLE
% de cemento asfáltico	%	4.5	4.5	-	-
Peso específico bulk	g/cm <sup>3</sup>	2.357	2.359	-	-
Vacíos de aire Va	%	4.584	4.519	3 - 5	CUMPLE
V.M.A.	%	14.231	14.172	14 mín.	CUMPLE
V.F.A.	%	67.841	68.115	65 - 75	CUMPLE
Estabilidad	KN	12.397	12.511	8.15 mín.	CUMPLE
Flujo	mm	13.780	13.609	8 - 14	CUMPLE
Relación estabilidad - flujo	Kg/cm	3602.74	3693.25	1700 - 4000	CUMPLE
Relación polvo - asfalto	-	1.305	1.305	0.6 – 1.3	NO CUMPLE

Tabla 41: Características para el óptimo % de C.A.  
Fuente: Elaboración propia

### 5.2.3. Diseño de Mezcla Asfáltica Modificada.

La inclusión de fibras de polipropileno es el tema de investigación central, en el mercado actual estas se venden en un tamaño comercial de 48 mm de largo, para efectos de investigación se analizará el comportamiento de la mezcla asfáltica con la adición de fibra entera, 1/2 de fibra y 1/3 de fibra a fin de determinar qué tamaño genera una mejora en las características y propiedades frente a una mezcla asfáltica convencional.

Las fibras de polipropileno serán incluidas en reemplazo de diferentes porcentajes del total de áridos de la mezcla asfáltica.

Como se observa en la figura 48, a pesar de tener la misma cantidad en peso de fibras, cuando se trata de fibras enteras estas generan mayores espacios entre sí a diferencia de las fibras cortadas en dos y en tres que reducen los vacíos.



Figura 48: Fibras de polipropileno  
Fuente: Elaboración propia

### 5.2.3.1. Combinación de Agregados.

(Ver 5.2.2.1.)

### 5.2.3.2. Dosificación para las briquetas.

Con los porcentajes de agregados definidos previamente en el ítem 5.2.2.1. y con el contenido óptimo de asfalto establecido en 4.5 %, se prepararon diferentes dosificaciones en % que se muestran en la tabla 42 y se detallan en peso según distribución por tamices en el anexo 03.

Además, se le adicionó fibras a una mezcla con 5.0 y 5.5% de C.A. para analizar sus resultados y determinar qué porcentaje de fibra y con qué contenido de asfalto funciona mejor.

MATERIAL	0.5 % FP	1,0 % FP	1.5 % FP	2,0 % FP	2.5 % FP
A. Grueso	49.89 %	49.64 %	49.39 %	49.13 %	48.88 %
A. Fino	40.86 %	40.65 %	40.45 %	40.24 %	40.04 %
Filler	4.28 %	4.25 %	4.23 %	4.21 %	4.19 %
Asfalto	4.5 %	4.5 %	4.5 %	4.5 %	4.5 %

Tabla 42: Dosificación real en % para mezcla asfáltica adicionada con F.P. con 4.5% de C.A.  
Fuente: Elaboración propia

MATERIAL	1,0 % FP	1.5 % FP	2,0 % FP	2.5 % FP	1.0 % FP	1.5 % FP	2,0 % FP	2.5 % FP
A. Grueso	49.38 %	49.13 %	48.88 %	48.63 %	49.12 %	48.87 %	48.62%	48.37 %
A. Fino	40.44 %	40.24 %	40.03 %	39.83 %	40.23 %	40.03 %	39.82 %	39.62 %
Filler	4.23 %	4.21 %	4.19 %	4.17 %	4.21 %	4.19 %	4.17 %	4.15 %
Asfalto	5.0 %	5.0 %	5.0 %	5.0 %	5.5 %	5.5 %	5.5 %	5.5 %

Tabla 43: Dosificación real en % para mezcla asfáltica adicionada con F.P. con 5.0 y 5.5 % de C.A.  
Fuente: Elaboración propia

**5.2.3.3. Resultados del Ensayo Marshall con 4.5 % de C.A.**

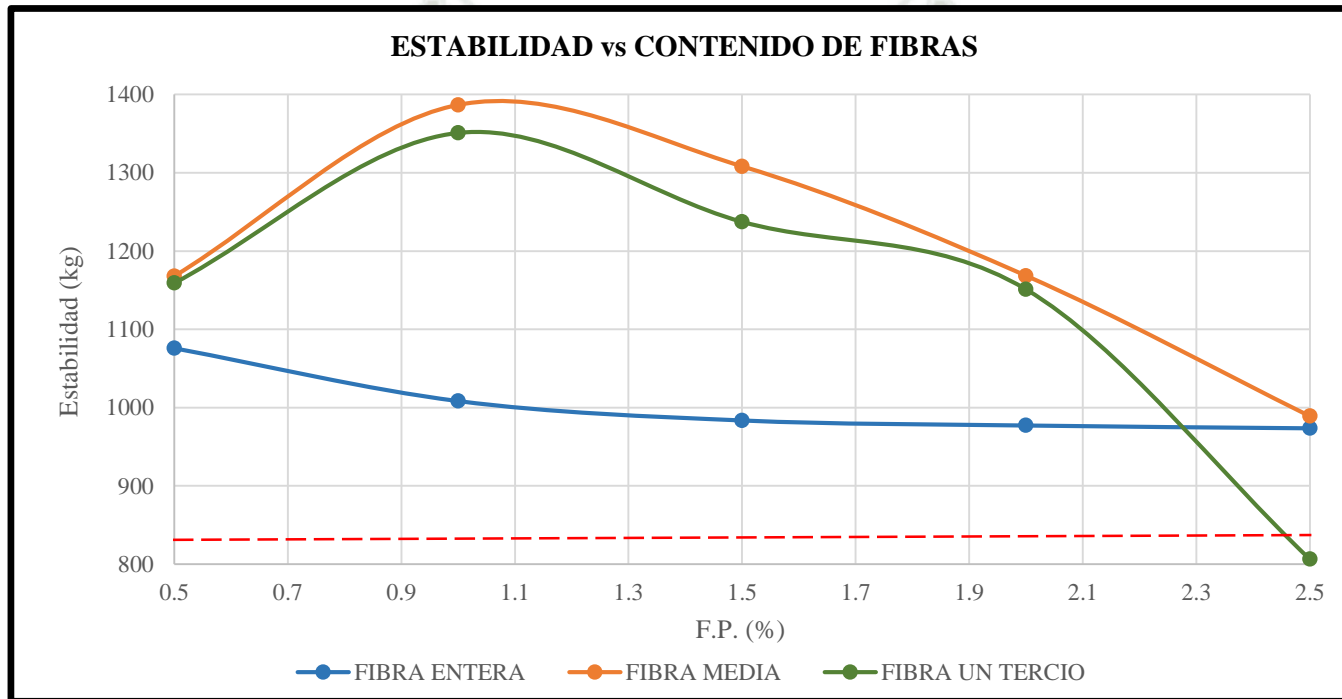
Parámetros	Und.	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5
F.P. en la mezcla	%	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
C.A. en la mezcla	%	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Agregado grueso en la mezcla	%	49.89	49.64	49.39	49.13	48.88
Agregado fino en la mezcla	%	40.86	40.65	40.45	40.24	40.04
Filler en la mezcla	%	4.28	4.25	4.23	4.21	4.19
Peso específico aparente del CA	g/cm <sup>3</sup>	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
Peso específico aparente del AG	g/cm <sup>3</sup>	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75
Peso específico aparente del AF	g/cm <sup>3</sup>	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62
Peso específico aparente del Filler	g/cm <sup>3</sup>	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35
<b>RESULTADOS DE FIBRA ENTERA</b>						
Peso específico BULK de la briqueta	g/cm <sup>3</sup>	2.307	2.271	2.231	2.190	2.156
Peso específico máximo teórico	g/cm <sup>3</sup>	2.449	2.427	2.406	2.385	2.365
% de vacíos - Va	%	5.772	6.426	7.264	8.166	8.811
% de vacíos de agregado mineral VMA	%	16.472	18.196	20.043	21.904	23.511
% de vacíos llenos con asfalto VFA	%	65.006	64.682	63.929	62.745	62.549
Estabilidad	Kg	1075.788	1008.480	983.786	977.362	973.777
Flujo 0.01"	mm	12.992	15.425	16.205	17.472	19.953
Relación estabilidad/flujo	Kg/cm	3261.102	2625.614	2404.800	2190.492	1926.898
<b>RESULTADOS DE ½ DE FIBRA</b>						
Peso específico BULK de la briqueta	g/cm <sup>3</sup>	2.316	2.280	2.247	2.213	2.177
Peso específico máximo teórico	g/cm <sup>3</sup>	2.449	2.427	2.406	2.385	2.365
% de vacíos - Va	%	5.404	6.054	6.602	7.219	7.949
% de vacíos de agregado mineral VMA	%	16.145	17.871	19.472	21.099	22.788
% de vacíos llenos con asfalto VFA	%	66.544	66.134	66.121	65.798	65.126
Estabilidad	Kg	1168.100	1386.662	1308.167	1168.543	989.160
Flujo 0.01"	mm	14.465	15.953	16.157	16.488	17.551
Relación estabilidad/flujo	Kg/cm	3204.947	3467.452	3186.618	2796.518	2227.825
<b>RESULTADOS DE 1/3 DE FIBRA</b>						
Peso específico BULK de la briqueta	g/cm <sup>3</sup>	2.370	2.334	2.289	2.226	2.154
Peso específico máximo teórico	g/cm <sup>3</sup>	2.449	2.427	2.406	2.385	2.365
% de vacíos - Va	%	3.197	3.830	4.877	6.691	8.888
% de vacíos de agregado mineral VMA	%	14.189	15.926	17.985	20.650	23.576
% de vacíos llenos con asfalto VFA	%	77.848	76.075	72.887	67.649	62.412
Estabilidad	Kg	1159.288	1351.000	1237.440	1151.228	806.574
Flujo 0.01"	mm	12.898	13.339	13.969	14.354	16.780
Relación estabilidad/flujo	Kg/cm	3553.119	3979.924	3640.161	3160.953	1896.357

Tabla 44: Resultados del Ensayo Marshall – Mezcla asfáltica adicionada con F.P. y 4.5 % C.A.

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.3.3.1. Gráfica Estabilidad vs Contenido de fibras.

Como se indica en la tabla 3, de la sección 2.3.4. el valor de estabilidad mínimo permitido por el Manual de carreteras – EG 2013 para una MAC – 01 es de 8.15 KN (831.07 kg), considerando esto, todos los valores salvo el de 2.5% para fibra de 1/3 de la gráfica 11 son aceptados. Los valores obtenidos con fibra entera como ensayos con ½ y 1/3 de fibra son superiores al mínimo permitido.

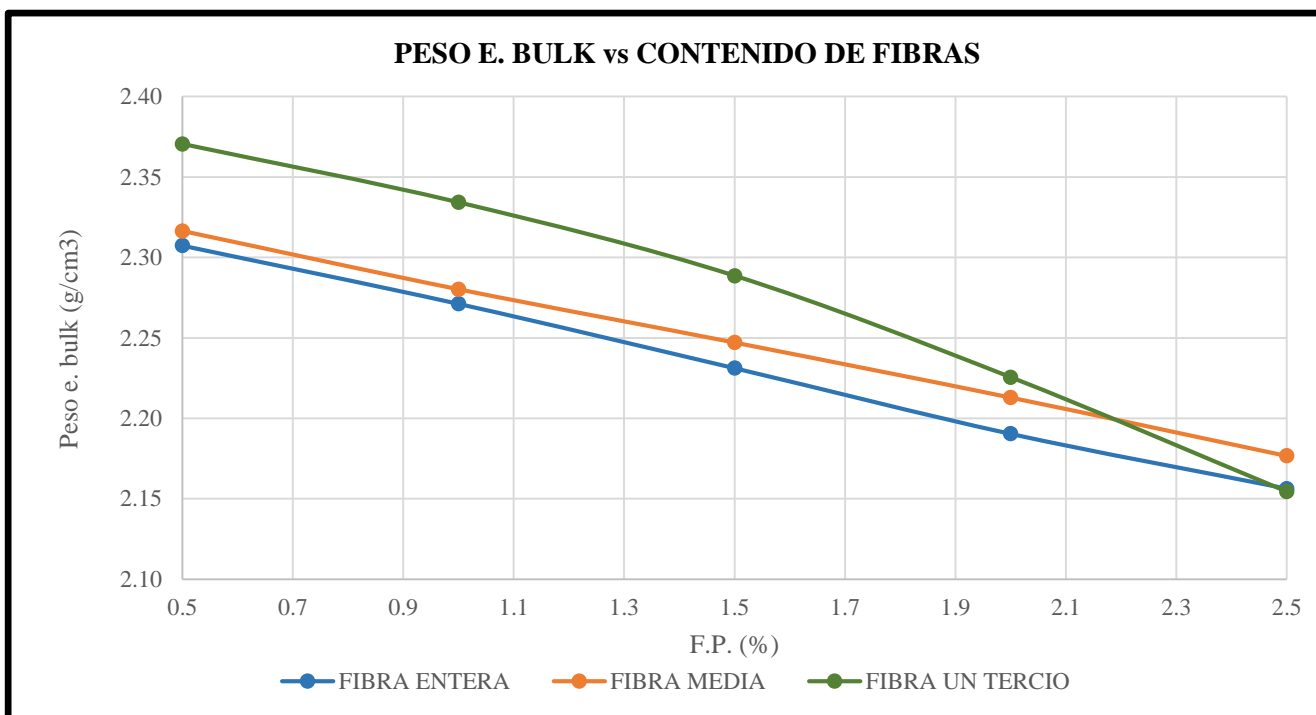


% F.P.	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Estabilidad (kg) F- 1/1	1075.788	1008.480	983.786	977.362	973.777
Estabilidad (kg) F- 1/2	1168.100	1386.662	1308.167	1168.543	989.160
Estabilidad (kg) F- 1/3	1159.288	1351.000	1237.440	1151.228	806.574

Gráfica 11: Estabilidad vs % F.P.  
Fuente: Elaboración propia

### 5.2.3.3.2. Gráfica Peso e. BULK vs Contenido de fibra.

Al no existir un limitante para el peso específico, se consideran aceptables todos los valores para los distintos tamaños de fibras.

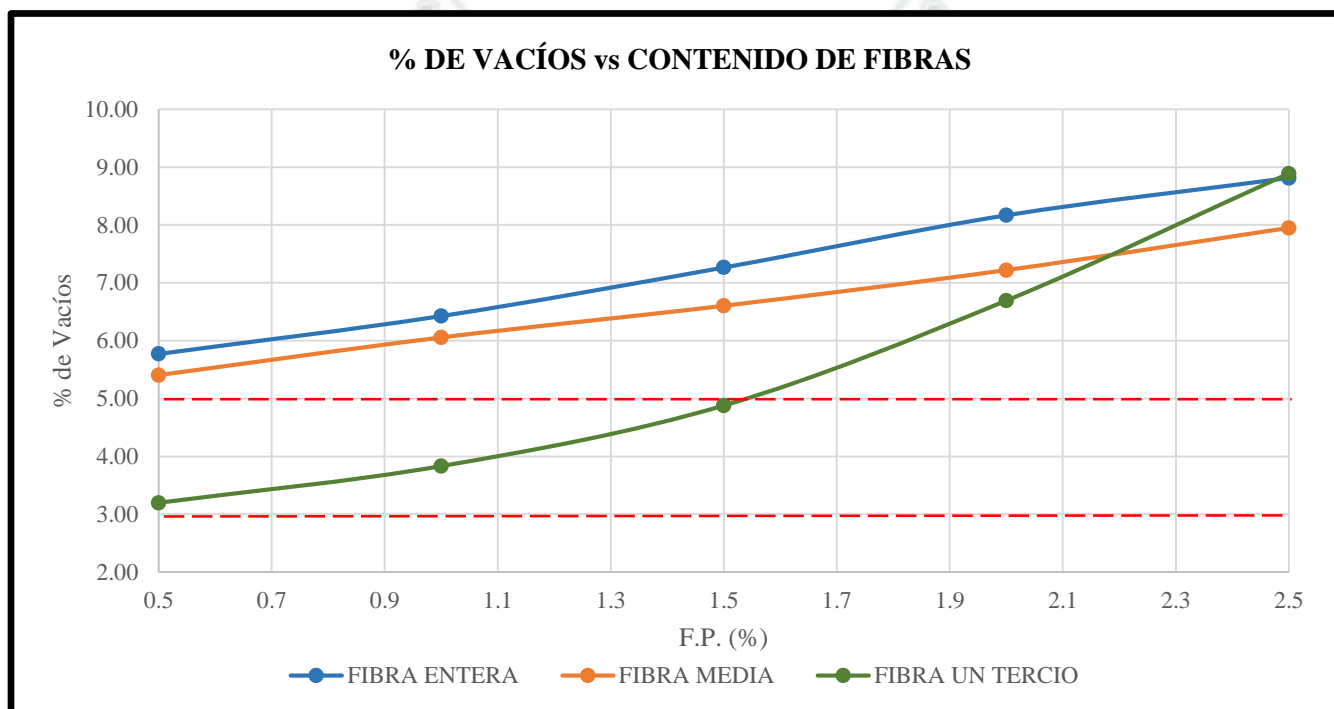


% F.P.	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
P.e. (g/cm3) F- 1/1	2.307	2.271	2.231	2.190	2.156
P.e. (g/cm3) F- 1/2	2.316	2.280	2.247	2.213	2.177
P.e. (g/cm3) F- 1/3	2.370	2.334	2.289	2.226	2.154

Gráfica 12: Peso e. bulk vs % F.P.  
Fuente: Elaboración propia

### 5.2.3.3.3. Gráfica % de vacíos vs Contenido de fibra.

El Manual de Carreteras EG – 2013 establece que el % de vacíos para una MAC - 01 debe estar entre el 3 y 5 %, por lo que el % ideal de Fibras de polipropileno queda reducido a valores entre 0.5 % a 1.5 %, pero únicamente para las fibras partidas en tres partes, pues los valores obtenidos de la fibra entera y fibra a la mitad proporcionan % de vacíos mayores a 5%.

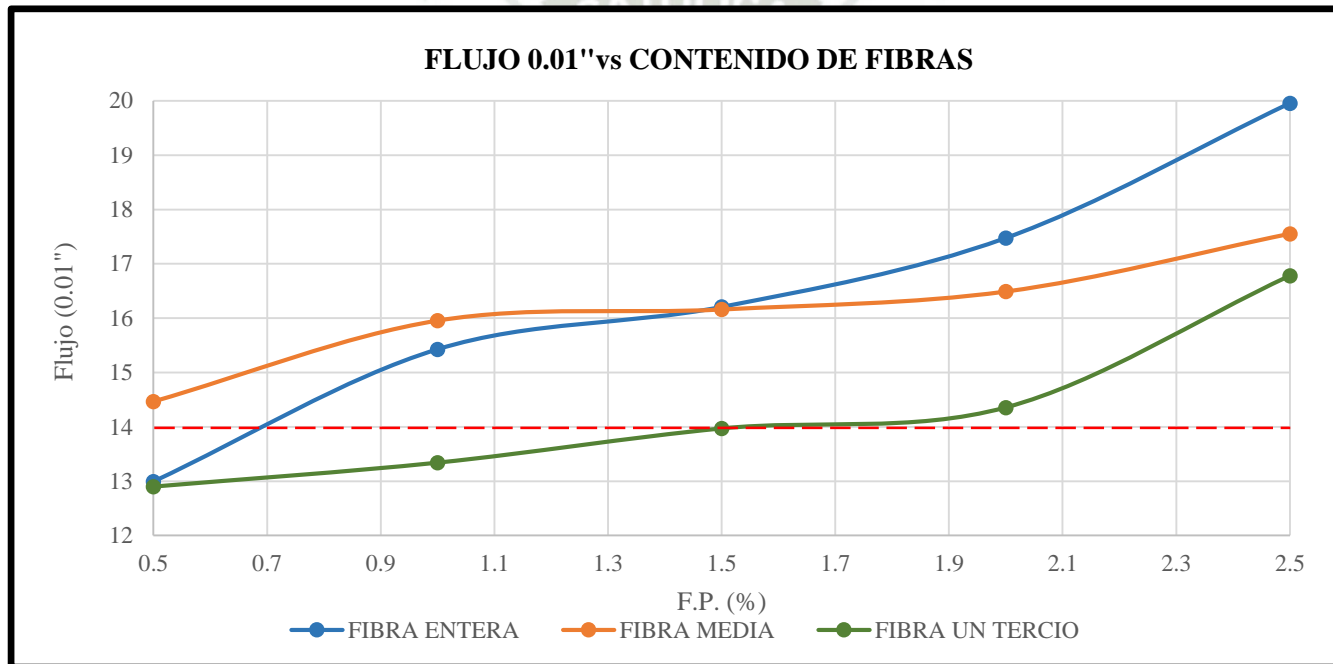


% F.P.	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Vacíos (%) F- 1/1	5.772	6.426	7.264	8.166	8.811
Vacíos (%) F- 1/2	5.404	6.054	6.602	7.219	7.949
Vacíos (%) F- 1/3	3.197	3.830	4.877	6.691	8.888

Gráfica 13: % de vacíos vs % F.P.  
Fuente: Elaboración propia

#### 5.2.3.3.4. Gráfica Flujo vs Contenido de fibra.

El Manual de Carreteras EG – 2013 establece que el flujo para una MAC - 01 debe estar entre un rango de 8 a 14, por lo que los % de Fibras de polipropileno que cumplen esta indicación estaría de 0.5 a 0.7 % de fibra entera, ningún porcentaje para ½ de fibra y de 0.5 a 1.5% para 1/3 de fibra, Pero al considerar el % de vacíos mantenemos al rango de 0.5% – 1.5 % de fibra de 1/3 como el valor más aceptable.

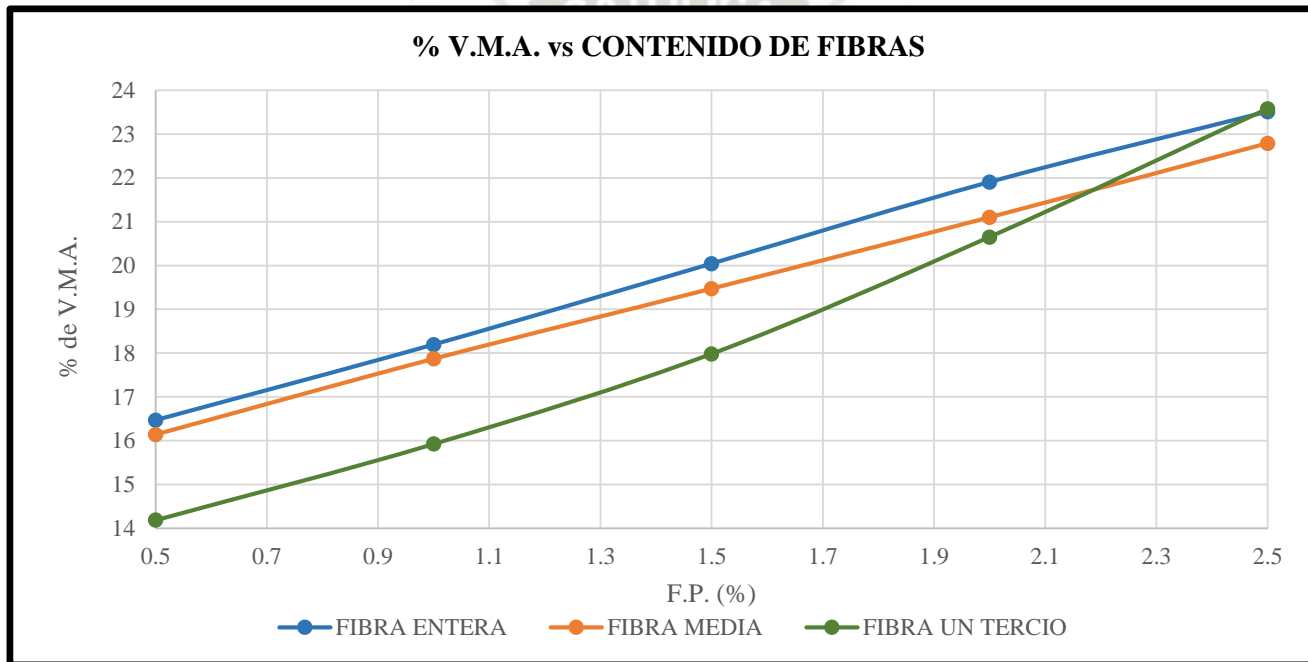


% F.P.	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Flujo (0.01") F- 1/1	12.992	15.425	16.205	17.472	19.953
Flujo (0.01") F- 1/2	14.465	15.953	16.157	16.488	17.551
Flujo (0.01") F- 1/3	12.898	13.339	13.969	14.354	16.780

Gráfica 14: Flujo vs % F.P.  
Fuente: Elaboración propia

### 5.2.3.3.5. Gráfica % V.M.A. vs Contenido de fibra.

El Manual de carreteras EG – 2013 establece que el valor mínimo de V.M.A. para una MAC – 01 con agregado de tamaño nominal de ¾” es de 14%, con esta información corroboramos que todos los valores mostrados en la gráfica 15 para los distintos tamaños de fibra cumplen la indicación, pero ya teniendo el descarte de las otras características de la mezcla asfáltica se mantiene el valor de F.P. ideal entre el 0.5 – 1.5% de 1/3 de fibra.

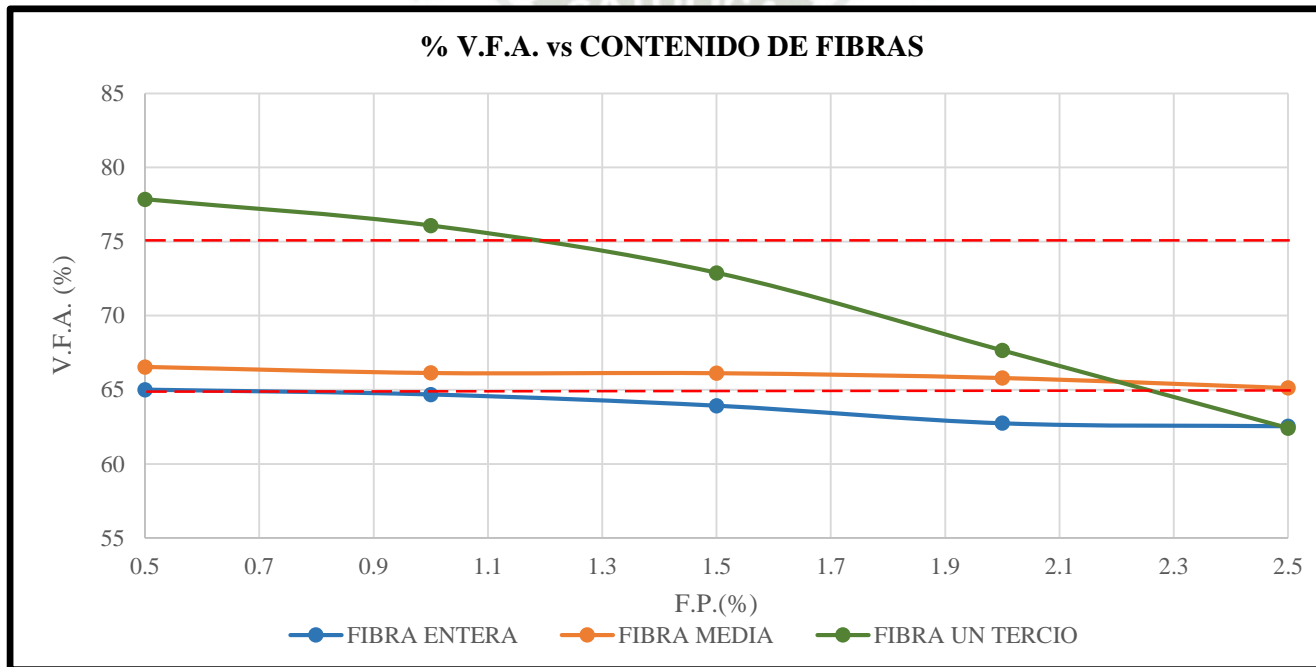


% F.P.	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
V.M.A. (%) F- 1/1	16.472	18.196	20.043	21.904	23.511
V.M.A. (%) F- 1/2	16.145	17.871	19.472	21.099	22.788
V.M.A. (%) F- 1/3	14.189	15.926	17.985	20.650	23.576

Gráfica 15: % V.M.A. vs % F.P.  
Fuente: Elaboración propia

### 5.2.3.3.6. Gráfica % V.F.A. vs Contenido de fibra.

En el Manual de carreteras EG – 2013, no se tiene establecido un parámetro para V.F.A. pero según el Instituto del asfalto este valor debe estar comprendido entre 65% y 75 %, por lo que los % de Fibras de polipropileno que cumplen esta indicación estaría de 0.5 a 1.0% de fibra entera, 0.5 – 2.5 % de ½ de fibra y de 1.2 a 2.2% para 1/3 de fibra, Pero al considerar las anteriores características el rango ideal aceptable estaría entre 1.2 % – 1.5 % de fibra de 1/3.

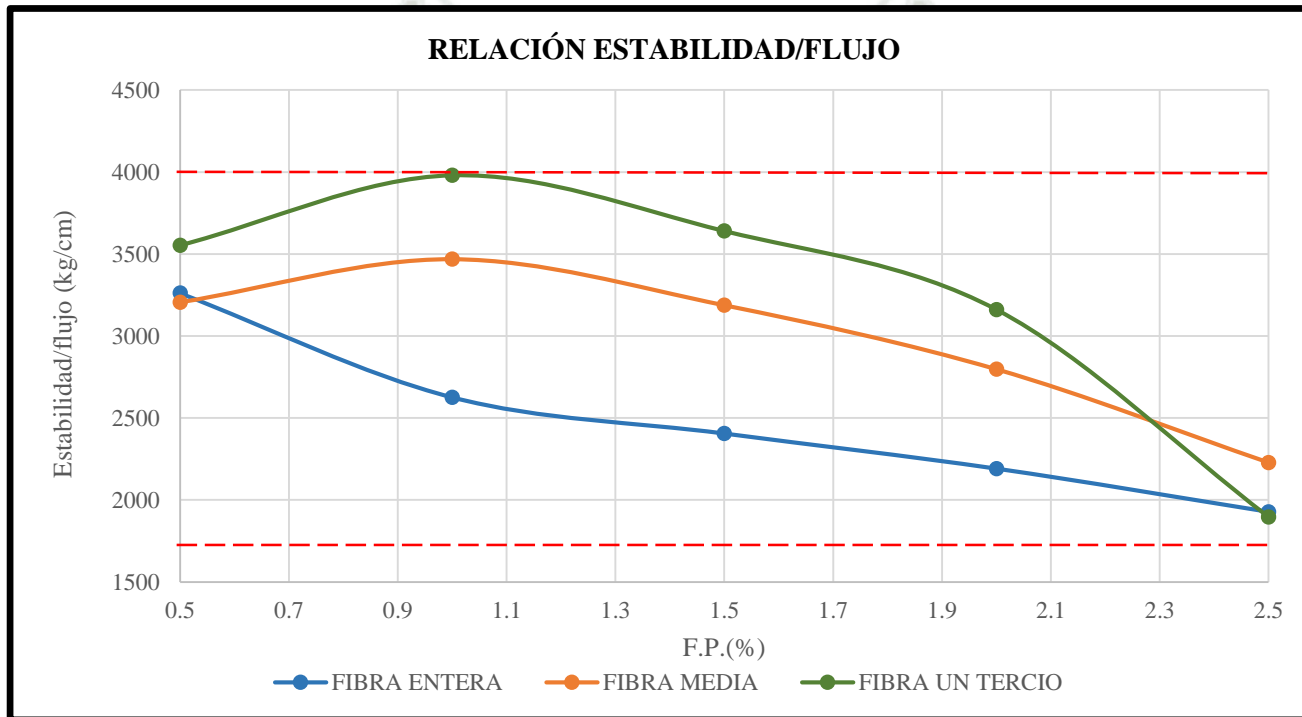


% F.P.	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
V.F.A. (%) F- 1/1	65.006	64.682	63.929	62.745	62.549
V.F.A. (%) F- 1/2	66.544	66.134	66.121	65.798	65.126
V.F.A. (%) F- 1/3	77.848	76.075	72.887	67.649	62.412

Gráfica 16: % V.F.A. vs % F.P.  
Fuente: Elaboración propia

### 5.2.3.3.7. Gráfica Relación estabilidad – flujo.

Según el Manual de carreteras EG – 2013, este valor para cualquier tipo de MAC estará comprendido entre 1700 a 4000 (kg/cm), por lo que los % de Fibras de polipropileno que cumplen esta indicación son todos, pero al considerar las anteriores características el % ideal estará comprendido entre el 1.2% - 1.5% de fibra de 1/3, pero se descartan los valores extremos y se puede usar 1.3 o 1.4%.



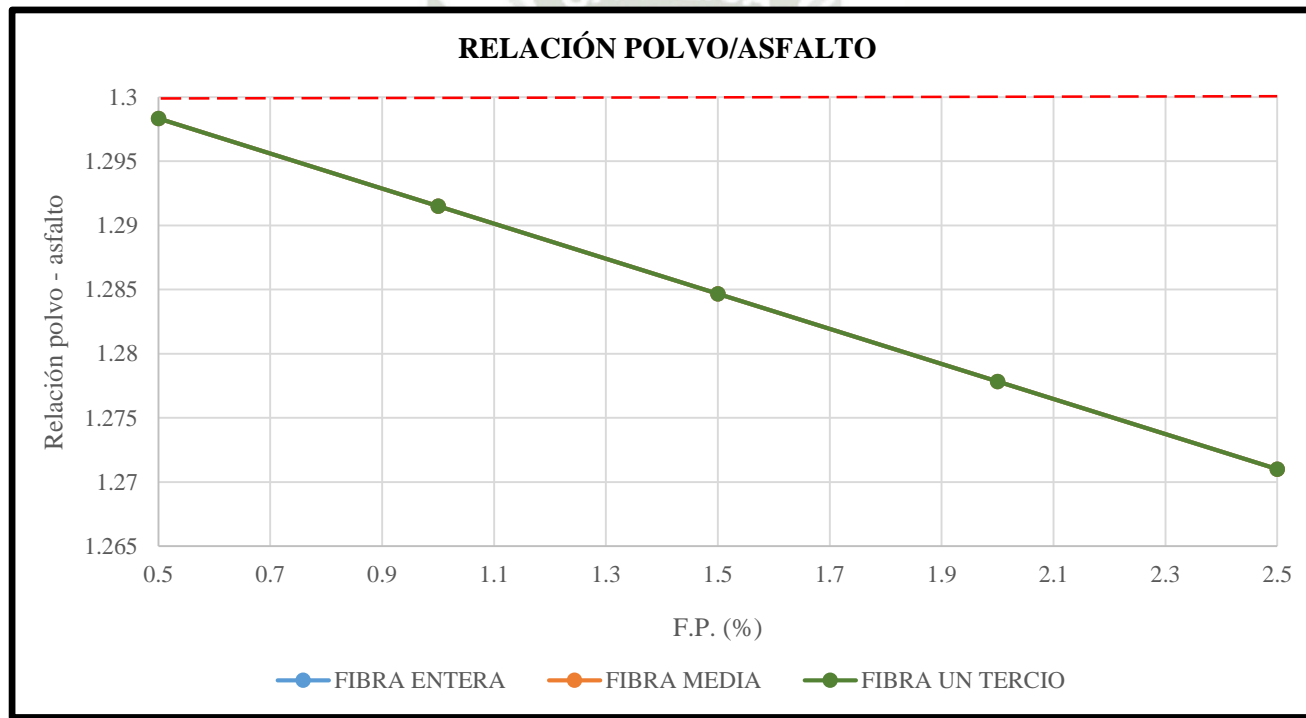
% F.P.	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Estabilidad – flujo (kg/cm) F- 1/1	3261.102	2625.614	2404.800	2190.492	1926.898
Estabilidad – flujo (kg/cm) F- 1/2	3204.947	3467.452	3186.618	2796.518	2227.825
Estabilidad – flujo (kg/cm) F- 1/3	3553.119	3979.924	3640.161	3160.953	1896.357

Gráfica 17: Relación estabilidad - flujo para mezcla asfáltica con F.P.  
Fuente: Elaboración propia

**5.2.3.3.8. Gráfica Relación polvo - asfalto.**

según el Manual de carreteras este valor para una MAC – 01 debe estar comprendido entre 0.6 y 1.3, y como se observa en la gráfica 17 todos los valores cumplen esta indicación.

Finalmente, nuestro contenido óptimo de F.P. toma el valor de 1.3 % como valor intermedio que satisface todos los requerimientos de mezcla asfáltica.



% F.P.	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
<b>Relación polvo - asfalto</b>	1.298	1.292	1.285	1.278	1.271

Gráfica 18: Relación polvo – asfalto para mezcla asfáltica con F.P.  
Fuente: Elaboración propia

**5.2.3.4. Resultados del ensayo Marshall con 5.0 % y 5.5 % de C.A.**

Adicionalmente como se indicó en 5.2.3.2. se realizaron ensayos para contenidos de asfalto de 5 y 5.5%, con el fin de verificar la variabilidad de resultados y determinar el porcentaje con mejor comportamiento, para estos ensayos se consideró solo la fibra de 1/3 por ser según los resultados obtenidos previamente en las gráficas de 5.2.3.3. el porcentaje de mayor desempeño.

Se muestran los resultados obtenidos en la tabla 45.

Parámetros	Und.	Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3		Ensayo 4	
F.P. en la mezcla – 1/3 de fibra	%	1.0		1.5		2.0		2.5	
C.A. en la mezcla	%	5.0	5.5	5.0	5.5	5.0	5.5	5.0	5.5
A.G. en la mezcla	%	49.38	49.12	49.13	48.87	48.88	48.62	48.63	48.37
A.F en la mezcla	%	40.44	40.23	40.24	40.03	40.03	39.82	39.83	39.62
Filler en la mezcla	%	4.23 y	4.21	4.21	4.19	4.19	4.17	4.17	4.15
Peso e. aparente del CA	g/cm3	1.02		1.02		1.02		1.02	
Peso e. aparente del AG	g/cm3	2.75		2.75		2.75		2.75	
Peso e. aparente del AF	g/cm3	2.62		2.62		2.62		2.62	
Peso e. aparente del Filler	g/cm3	2.35		2.35		2.35		2.35	
RESULTADOS DE 1/3 DE FIBRA									
Peso e. BULK de briqueta	g/cm3	2.351	2.342	2.255	2.297	2.217	2.230	2.184	2.170
Peso e. máximo teórico	g/cm3	2.409	2.392	2.388	2.371	2.368	2.351	2.348	2.331
% de vacíos - Va	%	4.412	2.101	5.568	3.147	6.376	5.129	6.970	6.887
Estabilidad corregida	Kg	1204.73	1033.17	1012.87	923.71	964.09	953.48	867.99	842.45
Flujo	mm	16.496	17.966	18.294	17.651	19.042	19.003	18.570	21.640
% de VMA	%	15.753	16.539	19.595	18.559	21.371	21.312	22.933	23.818
% de VFA	%	84.694	87.298	71.588	83.049	70.207	76.219	69.738	71.132
Relación estabilidad/flujo	Kg/cm	2864.71	2266.36	2181.04	2071.81	2053.51	1976.40	1841.63	1547.75
Relación polvo/asfalto	-	1.156	1.046	1.150	1.040	1.144	1.034	1.138	1.029

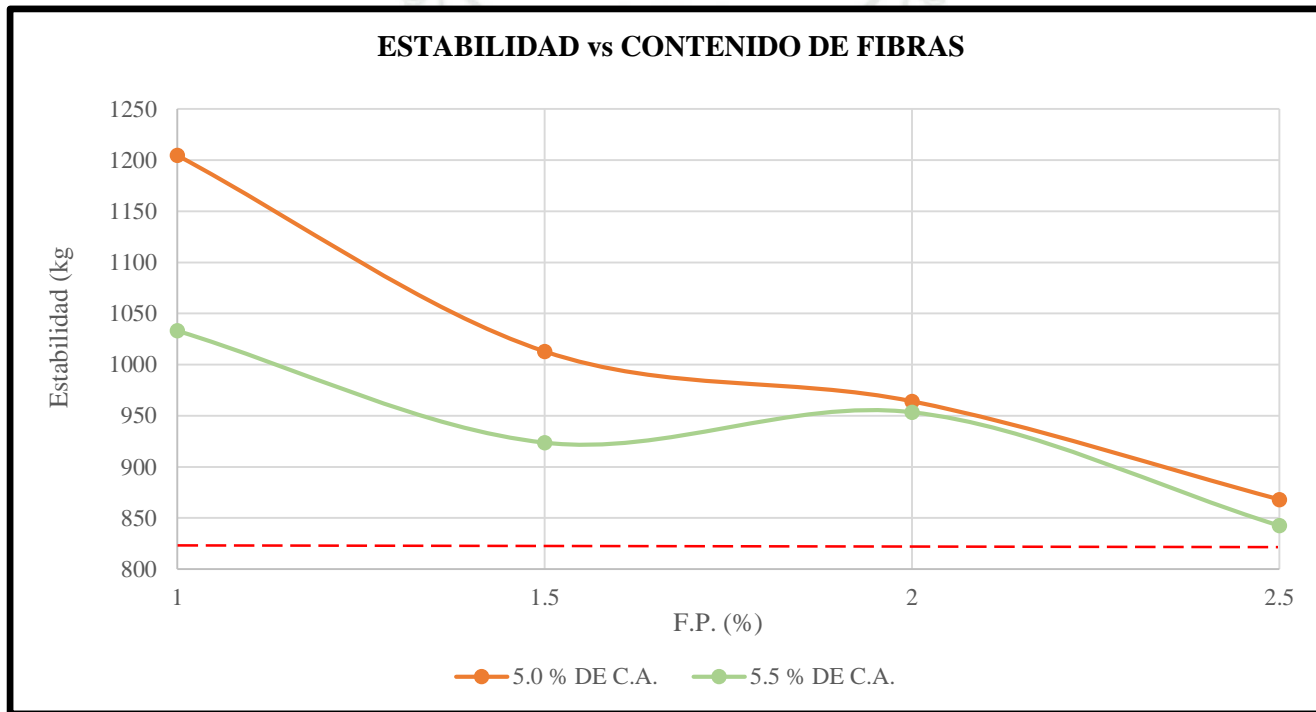
Tabla 45: Resultados del Ensayo Marshall – Mezcla asfáltica adicionada con F.P. y 5.0 / 5.5 % de C.A.  
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestran los gráficos elaborados con datos extraídos de la tabla 45.

**5.2.3.4.1. Gráfica Estabilidad vs Contenido de fibra.**

Como se indica en la tabla 3, de la sección 2.3.4. el valor de estabilidad mínimo permitido por el Manual de carreteras – EG 2013 para una MAC – 01 es de 8.15 KN (831.07 kg), considerando esto, todos los valores por encima de la línea roja del gráfico 19 son aceptados.

Estos valores están comprendidos desde 1% hasta 2.5 % de F.P. para 5.0 y 5.5 de % C.A.

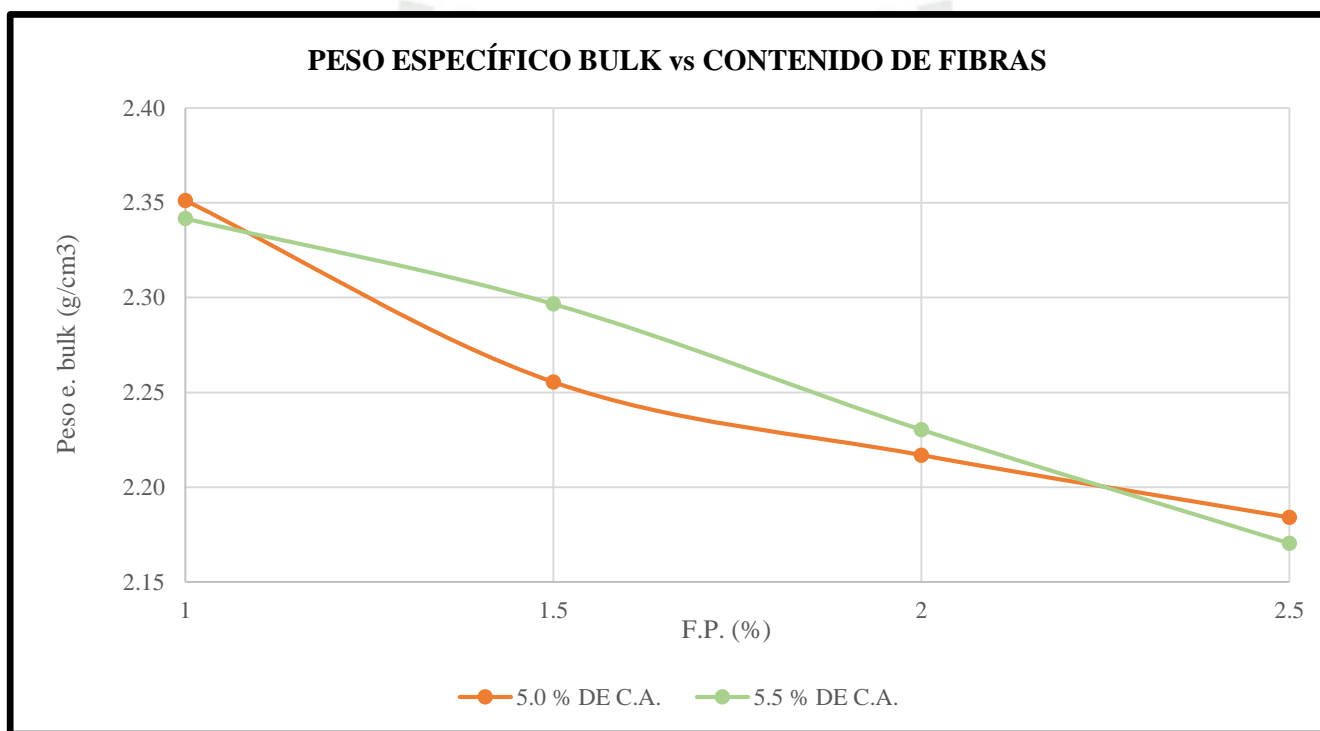


% F.P.	1.0	1.5	2.0	2.5
Estabilidad (kg) 5.0 % C.A.	1204.73	1012.87	964.09	867.99
Estabilidad (kg) 5.5 % C.A.	1033.17	923.71	953.48	842.45

Gráfica 19: Estabilidad vs % F.P.  
Fuente: Elaboración propia

#### 5.2.3.4.2. Gráfica *Peso específico Bulk vs contenido de fibra.*

En el Manual de carreteras EG – 2013, no se tiene establecido un parámetro para el peso específico bulk, por lo que se mantienen a todos los valores de la gráfica 20 como aptos.

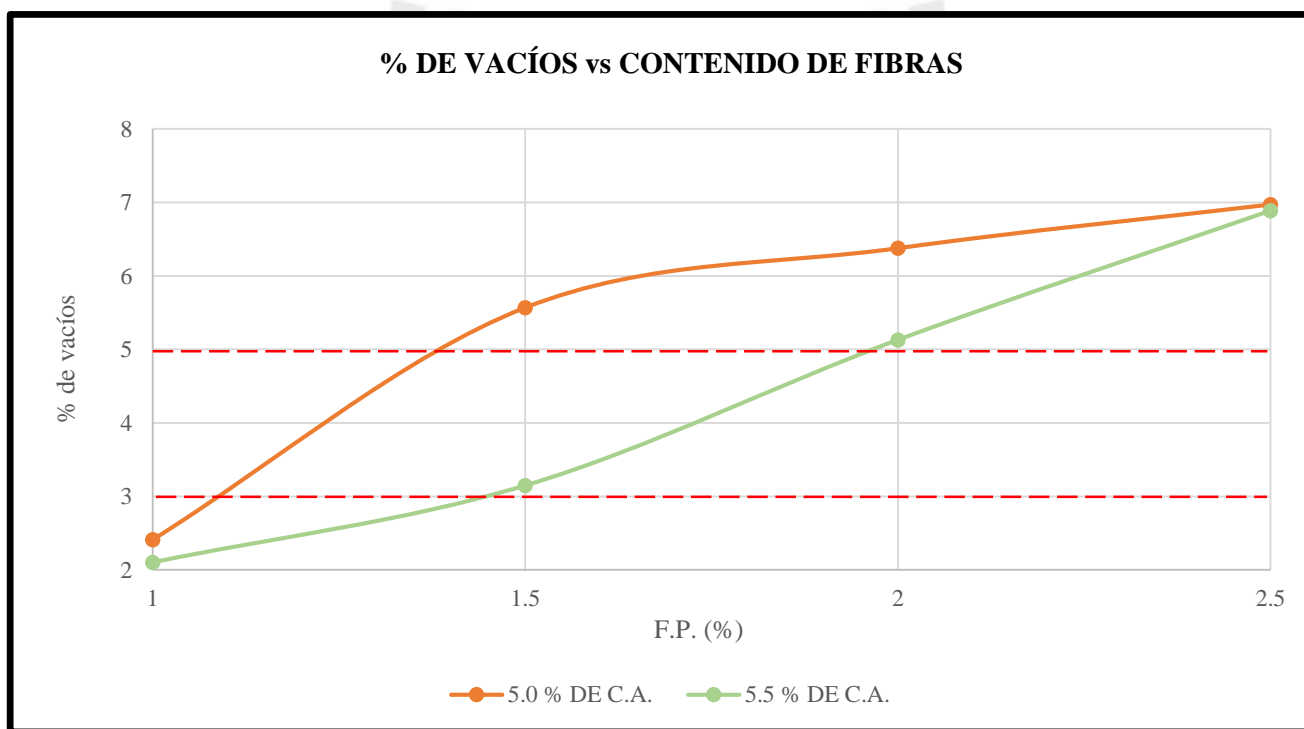


% F.P.	1.0	1.5	2.0	2.5
Peso e. bulk (g/cm³) 5.0 % C.A.	2.351	2.256	2.217	2.184
Peso e. bulk (g/cm³) 5.5 % C.A.	2.342	2.297	2.230	2.170

Gráfica 20: *Peso e. Bulk vs % F.P.*  
Fuente: *Elaboración propia*

### 5.2.3.4.3. Gráfica % vacíos vs contenido de fibra.

El Manual de Carreteras EG – 2013 establece que el % de vacíos para una MAC - 01 debe estar entre el 3 y 5 %, por lo que los valores aptos son de 1.1 % a 1.4 % de F.P. para 5% de C.A. y de 1% a 1.4 % de F.P. para 5.5 % de C.A.

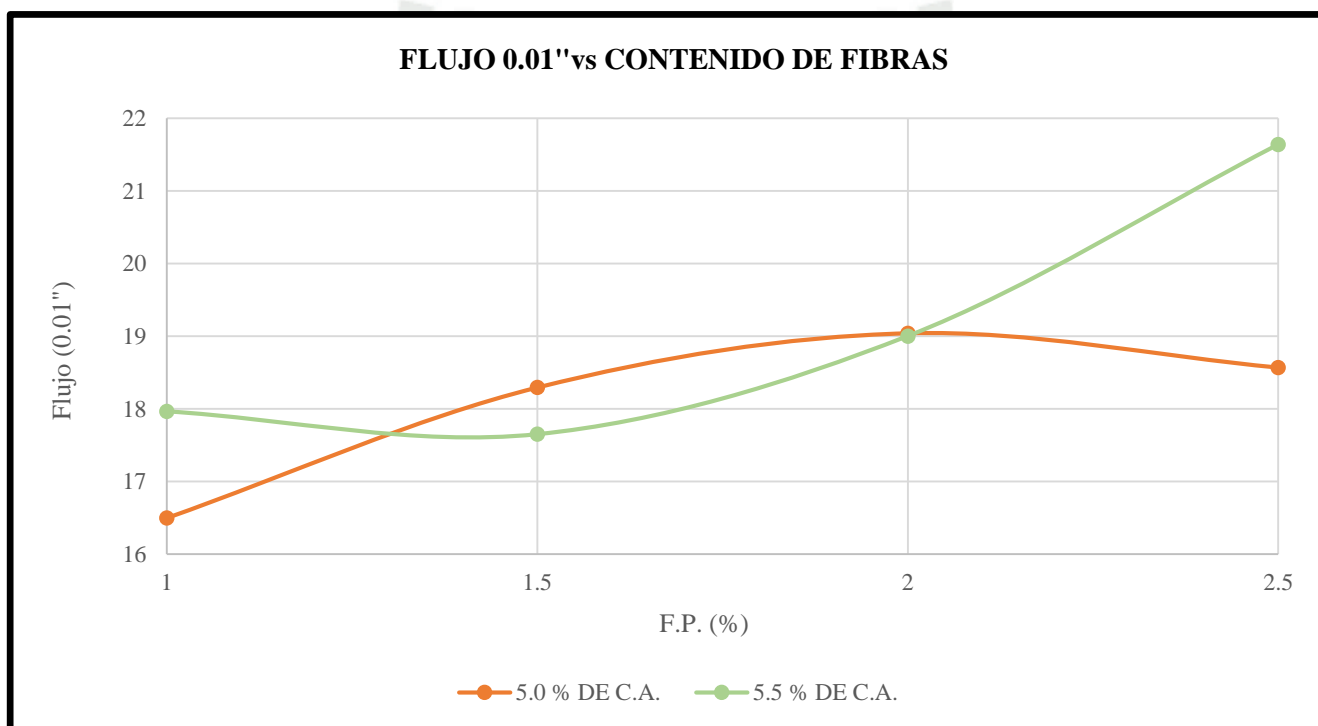


% F.P.	1.0	1.5	2.0	2.5
Vacíos (%) 5.0 % C.A.	2.412	5.568	6.376	6.970
Vacíos (%) 5.5 % C.A.	2.101	3.147	5.129	6.887

Gráfica 21: % de vacíos vs % F.P.  
Fuente: Elaboración propia

#### 5.2.3.4.4. Gráfica Flujo vs contenido de fibra.

El Manual de carreteras EG – 2013 establece que el flujo para una MAC – 01 debe estar entre 8 y 14, como se observa en la gráfica 22 ningún valor cumple con este requerimiento.

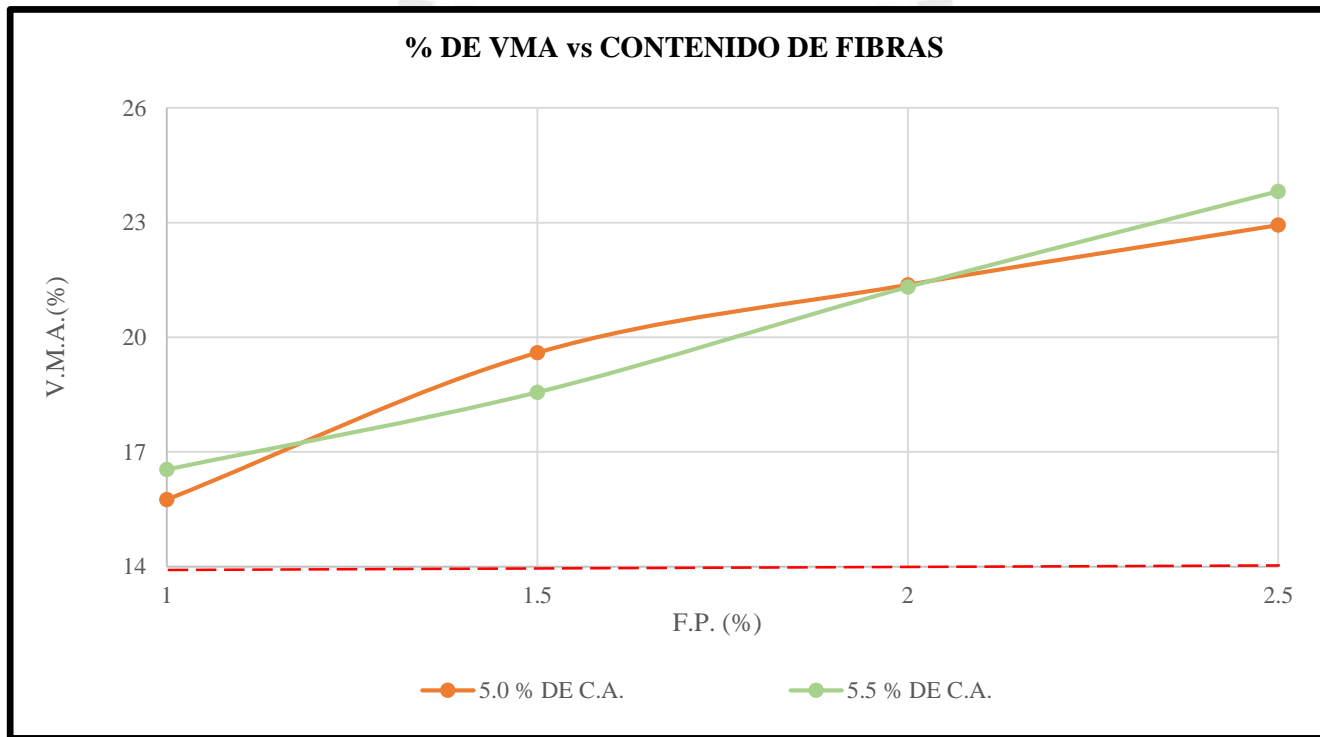


% F.P.	1.0	1.5	2.0	2.5
<b>Flujo (0.01") 5.0 % C.A.</b>	16.496	18.294	19.042	18.570
<b>Flujo (0.01") 5.5 % C.A.</b>	17.996	17.651	19.003	21.640

Gráfica 22: Flujo vs % F.P.  
Fuente: Elaboración propia

**5.2.3.4.5. Gráfica V.M.A. vs contenido de fibra.**

El Manual de carreteras EG – 2013 establece que el valor mínimo de V.M.A. para una MAC – 01 con agregado de tamaño nominal de 3/4” es de 14%, por lo que los valores si bien cumplirían esta premisa no cumplen con el flujo ni con el % de vacíos.

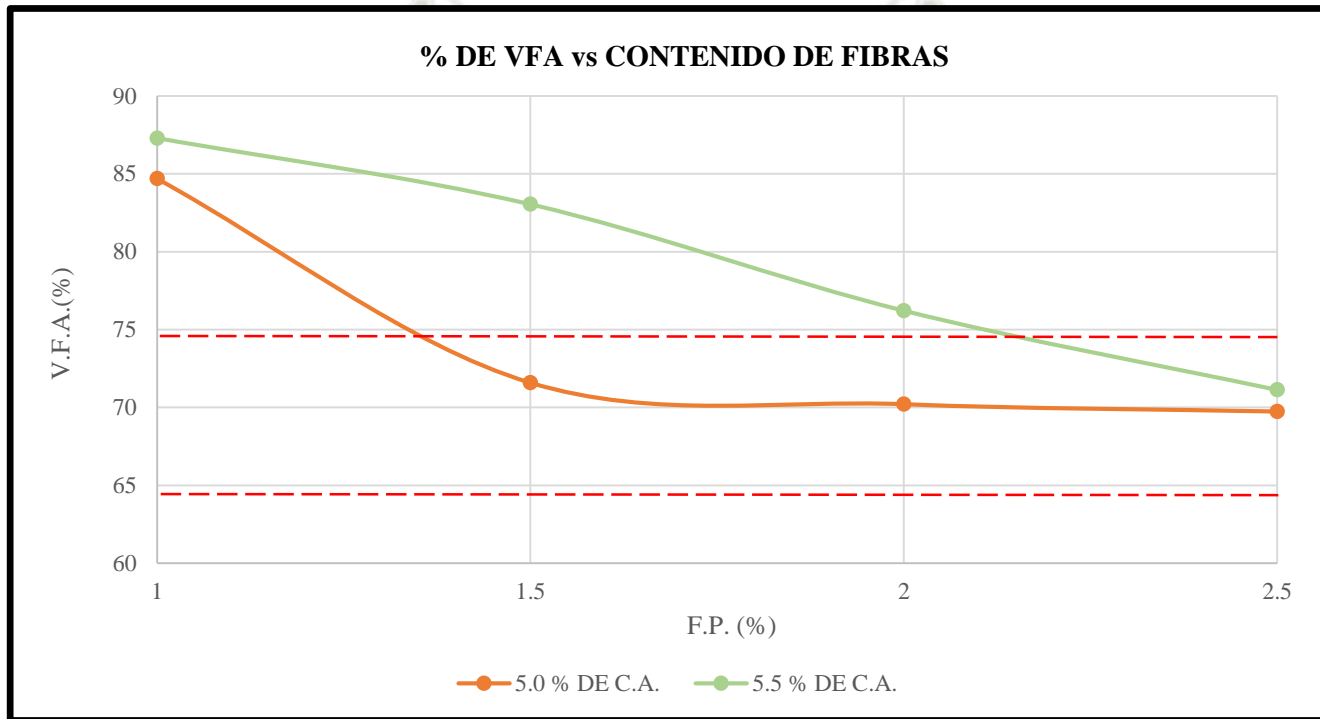


% F.P.	1.0	1.5	2.0	2.5
V.M.A. (%) 5.0 % C.A.	15.753	19.595	21.371	22.933
V.M.A. (%) 5.5 % C.A.	16.539	18.559	21.312	23.818

Gráfica 23: V.M.A. vs % F.P.  
Fuente: Elaboración propia

**5.2.3.4.6. Gráfica V.F.A. vs contenido de fibra.**

En el Manual de carreteras EG – 2013, no se tiene establecido un parámetro para V.F.A. pero según el Instituto del asfalto este valor debe estar comprendido entre 65% y 75 %, como se observa en la gráfica 24 los valores que cumplen esto son de 1.3% a 2.5% de 5 de CA, pero por los descartes anteriores no se consideran valores aptos.

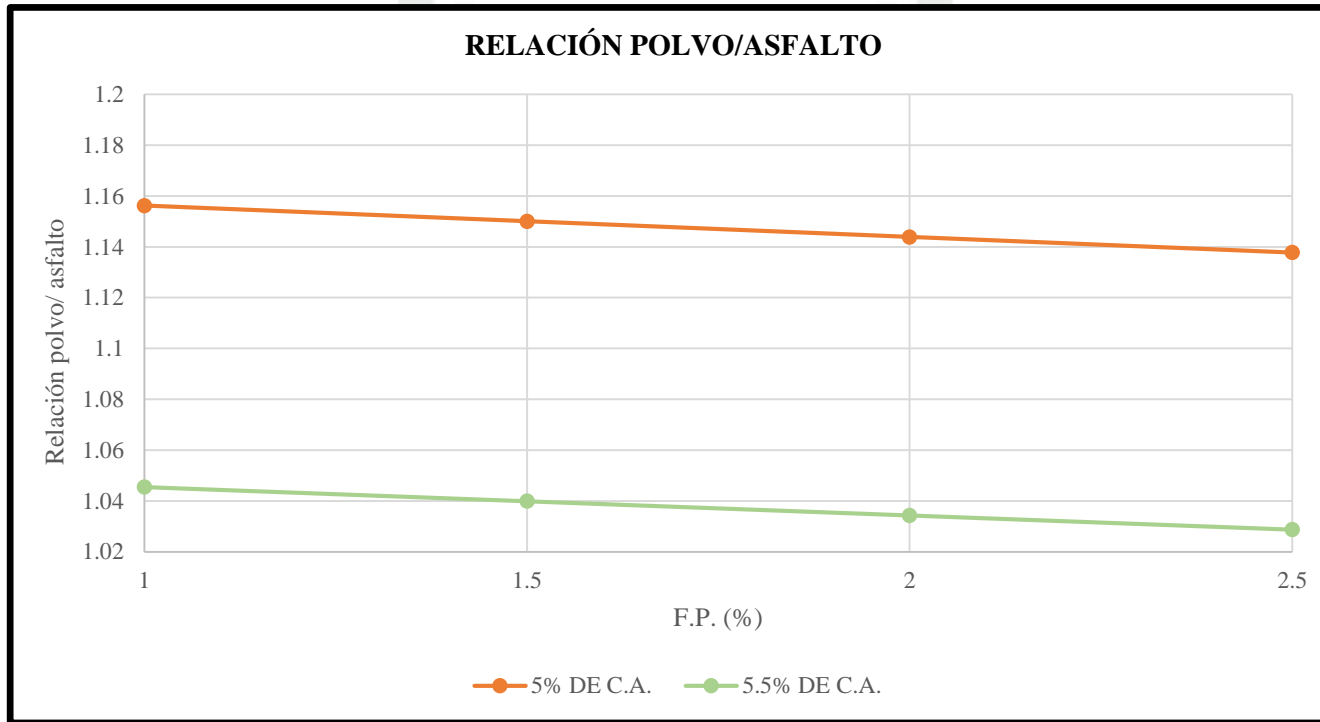


% F.P.	1.0	1.5	2.0	2.5
V.F.A. (%) 5.0 % C.A.	84.694	71.588	70.207	69.738
V.F.A. (%) 5.5 % C.A.	87.298	83.049	76.219	71.132

Gráfica 24: V.F.A. vs % F.P.  
Fuente: Elaboración propia

**5.2.3.4.7. Gráfica Relación polvo – asfalto.**

Según el Manual de carreteras este valor para una MAC – 01 debe estar comprendido entre 0.6 y 1.3, por lo que los valores aptos no cumplirían con el flujo, % de vacíos, % V.M.A, ni % V.F.A.

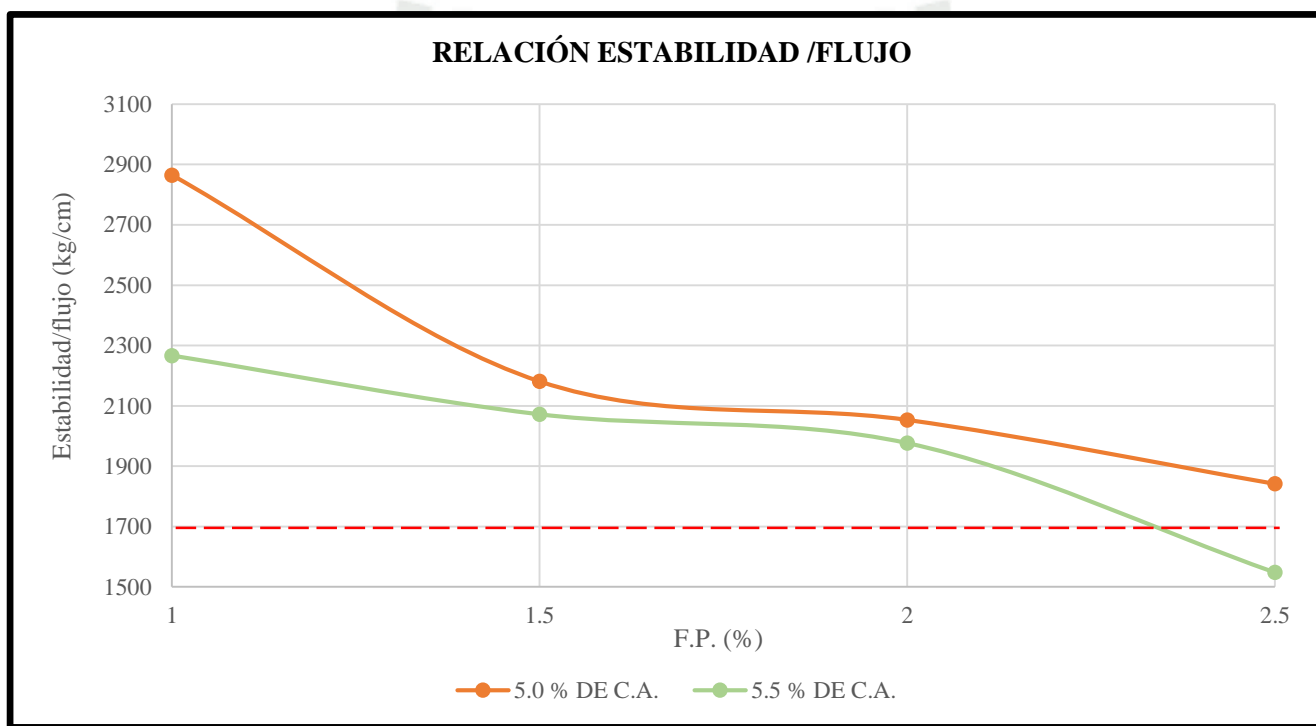


% F.P.	1.0	1.5	2.0	2.5
<b>Relación polvo - asfalto 5.0 % C.A.</b>	1.156	1.150	1.144	1.138
<b>Relación polvo - asfalto 5.5 % C.A.</b>	1.046	1.040	1.034	1.029

Gráfica 25: Relación polvo – asfalto – Mezcla asfáltica modificada  
Fuente: Elaboración propia

### 5.2.3.4.8. Gráfica Relación estabilidad - flujo.

Según el Manual de carreteras EG – 2013, este valor para cualquier tipo de MAC estará comprendido entre 1700 a 4000 (kg/cm), pero los valores aptos no cumplirían con el flujo, % de vacíos, % V.M.A, ni % V.F.A.



% F.P.	1.0	1.5	2.0	2.5
Estabilidad – flujo (kg/cm) 5.0 % C.A.	2864.714	2181.044	2053.511	1841.632
Estabilidad – flujo (kg/cm) 5.5 % C.A.	2266.362	2071.812	1976.400	1547.749

Gráfica 26: Relación estabilidad – flujo – Mezcla asfáltica modificada  
Fuente: Elaboración propia

### 5.2.3.5. Determinación del óptimo contenido de % F.P

Con el análisis de los gráficos de la sección anterior 5.2.3.3. y 5.2.3.4. se determinó que el contenido óptimo de fibras de polipropileno es de 1.3 % para una mezcla asfáltica con un contenido de cemento asfáltico de 4.5 %, por ser el valor que satisface todas las características requeridas por el Manual de carreteras EG – 2013.

En la tabla 46 se muestran los valores obtenidos con 1.3% de F.P. extraídos de las gráficas y también los resultados obtenidos de realizar una comprobación para lo que se elaboraron y ensayaron 03 briquetas.

PARÁMETROS	UND.	DATOS GRÁFICAS	DATOS FINALES	REQUERIMIENTO EG – 2013 MAC - 1	CUMPLE / NO CUMPLE
% de cemento asfáltico	%	4.5	4.5	-	-
% de fibras de polipropileno	%	1.3	1.3	-	-
Peso específico bulk	g/cm <sup>3</sup>	2.310	2.308	-	-
Vacíos de aire Va	%	4.401	4.397	3 - 5	CUMPLE
V.M.A.	%	17.121	17.114	14 mín.	CUMPLE
V.F.A.	%	74.381	74.320	65 - 75	CUMPLE
Estabilidad	KN	12.700	13.142	8.15 mín.	CUMPLE
Flujo	mm	13.730	13.766	8 - 14	CUMPLE
Relación estabilidad - flujo	Kg/cm	3825.100	3833.244	1700 - 4000	CUMPLE
Relación polvo - asfalto	-	1.288	1.287	0.6 – 1.3	CUMPLE

Tabla 46: Características para el óptimo % de F.P.  
Fuente: Elaboración propia

## 6. ANÁLISIS DE DESEMPEÑO POR HUMEDAD Y RESISTENCIA AL DESGASTE DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

### 6.1. ENSAYO DE TSR

El procedimiento de ensayo se detalla en 2.4.1. y los resultados de Tracción indirecta que se realizó a los contenidos óptimos de asfalto y de fibras de polipropileno se muestran a continuación.

#### 6.1.1. TSR en mezcla asfáltica convencional.

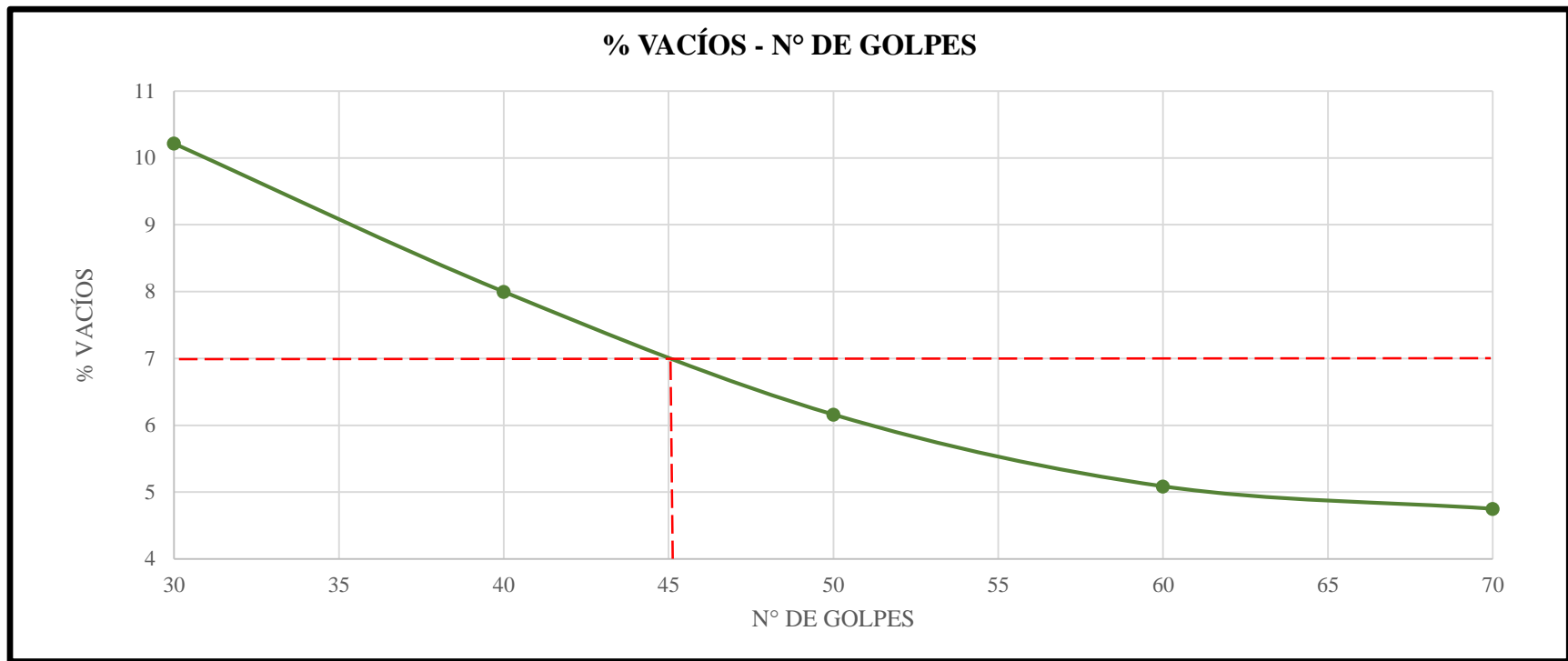
Antes de realizar el ensayo propiamente dicho, se determinó el número de golpes que producen 7 % de vacíos en la mezcla asfáltica convencional.

##### 6.1.1.1. Determinación del número de golpes que genera 7% de vacíos.

Se compactaron 05 briquetas con diferentes golpes como se observa en la tabla 47 para así poder obtener la gráfica 27 que permite determinar el número exacto de golpes para la mezcla asfáltica convencional que genera 7 % de vacíos.

Parámetros	Und.	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5
Número de golpes	-	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0
C.A. en la mezcla	%	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Agregado grueso en la mezcla	%	50.13	50.13	50.13	50.13	50.13
Agregado fino en la mezcla	%	41.07	41.07	41.07	41.07	41.07
Filler en la mezcla	%	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30
Peso específico aparente del CA	g/cm <sup>3</sup>	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
Peso específico aparente del AG	g/cm <sup>3</sup>	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75
Peso específico aparente del AF	g/cm <sup>3</sup>	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62
Peso específico aparente del Filler	g/cm <sup>3</sup>	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35
Peso específico BULK de la briketa	g/cm <sup>3</sup>	2.218	2.273	2.319	2.345	2.353
Peso específico máximo teórico	g/cm <sup>3</sup>	2.471	2.471	2.471	2.471	2.471
% de vacíos - Va	%	10.215	7.998	6.160	5.086	4.750
Peso específico BULK del agregado total	g/cm <sup>3</sup>	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625
% de VMA	%	19.293	17.299	15.647	14.682	14.379
% de VFA	%	47.050	53.768	60.633	65.360	66.970

*Tabla 47: Número de golpes - TSR mezcla convencional  
Fuente: Elaboración propia*



N° golpes	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0
% de vacíos	10.215	7.998	6.160	5.086	4.750

Gráfica 27: N° de golpes vs % de vacíos – Mezcla convencional  
Fuente: Elaboración propia

Después de analizar la gráfica 27 se determinó que el número de golpes necesario para generar 7 % de vacíos en la mezcla asfáltica convencional es 45.

6.1.1.2. Resultados TSR – Mezcla asfáltica convencional.

ENSAYO TSR - MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL								
DATOS	MUESTRAS SECAS				MUESTRAS SUMERGIDAS			
	C- 1	C- 2	C- 3	PROM	C- 4	C- 5	C- 6	PROM
PESO SECO	1207.800	1209.200	1204.200		1207.400	1207.400	1204.400	
PESO SECO + PARAFINA	1123.000	1124.900	1219.200		1221.900	1222.000	1221.400	
PESO SUMERGIDO	680.00	680.00	675.00		680.00	680.00	675.00	
VOLUMEN BRIQUETA + PARAFINA	543.000	544.900	544.200		541.900	542.000	546.400	
PESO PARAFINA	15.200	15.700	15.000		14.500	14.600	17.000	
VOLUMEN PARAFINA	17.882	18.471	17.647		17.059	17.176	20.000	
VOLUMEN BRIQUETA	525.118	526.429	526.553		524.841	524.824	526.400	
PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA	2.300	2,297	2.287	2.295	2.301	2.301	2.288	2.296
PESO ESPECÍFICO MÁXIMO TEÓRICO	2.471	2,471	2.470	2.471	2.471	2.471	2.471	2.471
% VACÍOS	6.9%	7.0%	7.4%	7.13%	6,9%	6,9%	7.4%	7.06%
CARGA MÁXIMA KG	1225.80	1204.20	1156.10		1225.80	1026.00	1007.20	
CARGA MÁXIMA N	12,025,098	11,813,202	11,341.341	11,726,547	10,063,098	10,065,06	9,880,632	10,002,930
H1	67.98	66.54	66.36		67.7	67.57	69.08	
H2	67.69	66.79	66.6		68.12	68.00	70.14	
H3	66.94	67.43	67.62		68.06	68.14	70.32	
H4	67.59	67.14	68.52		68.07	68.45	70.41	
H PROMEDIO	67.550	66.975	67.275		67.988	68.040	69.988	
DIÁMETRO	101.720	101.290	101,090		100.250	100.570	101.570	
FUERZA TENSIBLE KPA	1,114.133	1,108.584	1,061.653	1,094.790	939.936	936.405	884.869	920.403

<b>RAZÓN DE ESFUERZO A TENSIÓN</b>	<b>84.071%</b>
------------------------------------	----------------

Tabla 48: Resultados TSR - Mezcla asfáltica convencional  
Fuente: Elaboración propia

### 6.1.2. TSR en mezcla asfáltica adicionada con fibras.

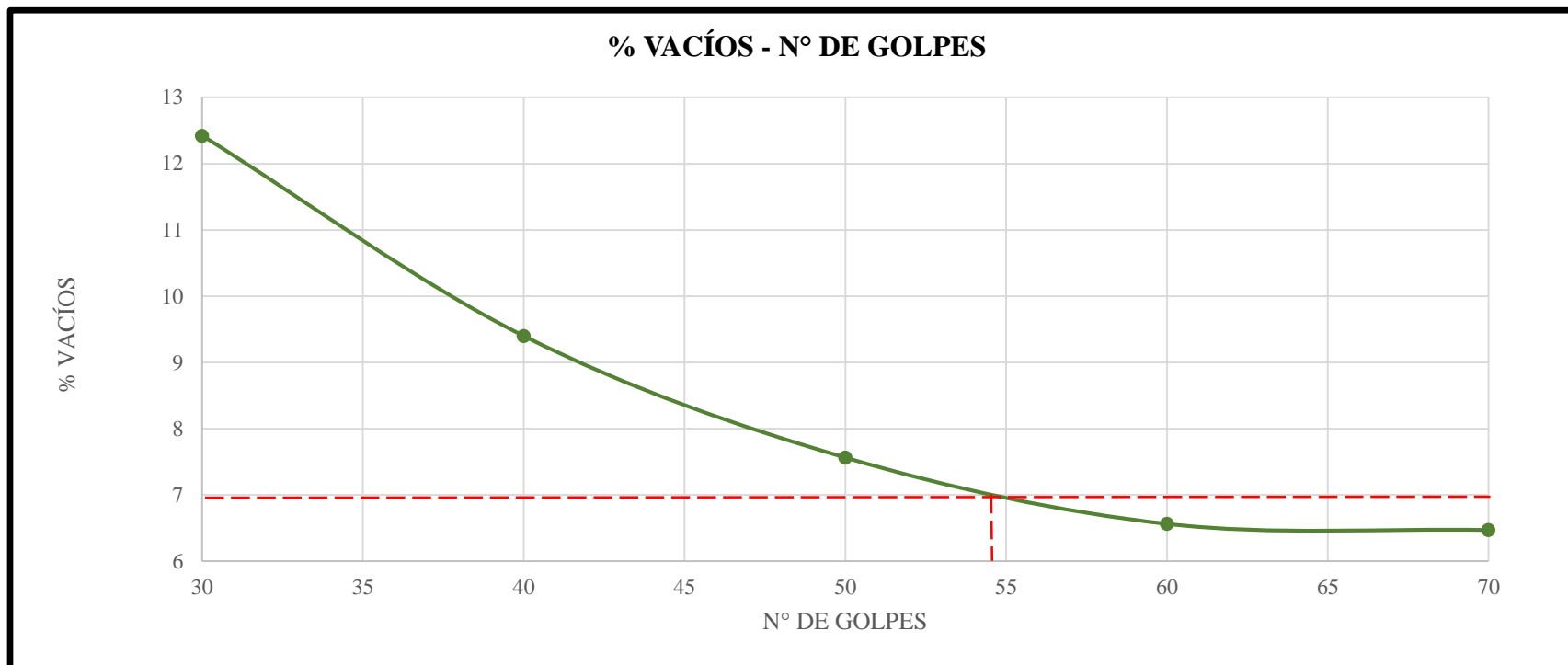
Antes de realizar el ensayo propiamente dicho, se determinó el número de golpes que producen 7 % de vacíos en la mezcla asfáltica adicionada con fibras de polipropileno.

#### 6.1.2.1. Determinación del número de golpes que genera 7% de vacíos.

Se compactaron 05 briquetas con diferentes golpes como se observa en la tabla 49 para así poder obtener la gráfica 28 que permite determinar el número exacto de golpes para la mezcla asfáltica modificada que genera 7 % de vacíos.

PARÁMETROS	Und.	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5
Número de golpes	-	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0
F.P. en la mezcla	%	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
C.A. en la mezcla	%	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Agregado grueso en la mezcla	%	49.49	49.49	49.49	49.49	49.49
Agregado fino en la mezcla	%	40.53	40.53	40.53	40.53	40.53
Filler en la mezcla	%	4.24	4.24	4.24	4.24	4.24
Peso específico aparente del CA	g/cm <sup>3</sup>	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
Peso específico aparente del AG	g/cm <sup>3</sup>	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75
Peso específico aparente del AF	g/cm <sup>3</sup>	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62
Peso específico aparente del Filler	g/cm <sup>3</sup>	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35
Peso específico BULK de la briketa	g/cm <sup>3</sup>	2.218	2.273	2.319	2.345	2.353
Peso específico máximo teórico	g/cm <sup>3</sup>	2.471	2.471	2.471	2.471	2.471
% de vacíos - Va	%	10.215	7.998	6.160	5.086	4.750
Peso específico BULK del agregado total	g/cm <sup>3</sup>	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625
% de VMA	%	19.293	17.299	15.647	14.682	14.379
% de VFA	%	47.050	53.768	60.633	65.360	66.970

Tabla 49: Número de golpes - TSR mezcla adicionada con F.P.  
Fuente: Elaboración propia



<b>N° golpes</b>	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0
<b>% de vacíos</b>	10.215	7.998	6.160	5.086	4.750

Gráfica 28: N° de golpes vs % de vacíos – Mezcla modificada  
Fuente: Elaboración propia

Después de analizar la gráfica 28 se determinó que el número de golpes necesario para generar 7 % de vacíos en la mezcla asfáltica adicionada con fibras de polipropileno es 54.

6.1.2.2. *Resultados TSR – Mezcla asfáltica adicionada con fibras.*

ENSAYO TSR - MEZCLA ADICIONADA CON FIBRAS DE POLIPROPILENO								
DATOS	MUESTRAS SECAS				MUESTRAS SUMERGIDAS			
	F- 1	F- 2	F- 3	PROM	F- 4	F- 5	F- 6	PROM
PESO SECO	1205.400	1205.800	1206.100		1208.900	1207.300	1200.700	
PESO SECO + PARAFINA	1128.200	1124.100	1123.900		1225.300	1221.300	1216.000	
PESO SUMERGIDO	665.00	665.00	665.00		665.00	670.00	665.00	
VOLUMEN BRIQUETA + PARAFINA	563.200	559.100	558.900		560.300	551.300	551.000	
PESO PARAFINA	22.800	18.300	17.800		16.400	14.000	15.300	
VOLUMEN PARAFINA	26.824	21.529	20.941		19.294	16.471	18.000	
VOLUMEN BRIQUETA	526.376	537.571	537.959		541.006	534.829	533.000	
PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA	2.247	2,243	2.242	2.244	2.235	2.257	2.253	2.248
PESO ESPECÍFICO MÁXIMO TEÓRICO	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414
% VACÍOS	6.9%	7.1%	7.1%	7.05%	7.4%	6.5%	6.7%	6.88%
CARGA MÁXIMA KG	1310.60	1278,30	1322.50		1126.30	1141.50	1107.30	
CARGA MÁXIMA N	12,856,986	12,540,123	12,973.725	12,790,278	11,049,003	11,198,115	10,862,613	11,036,577
H1	73.90	73.32	73.06		71.81	68.63	72.63	
H2	73.71	72.92	72.27		70.23	69.51	71.80	
H3	72.96	72.41	72.52		68.74	69.71	71.18	
H4	71.65	73.84	72.03		69.46	69.26	70.96	
H PROMEDIO	73.055	73.123	72.470		70.060	69.278	71.643	
DIÁMETRO	100.790	101.050	99,970		100.440	101.130	100.600	
FUERZA TENSIBLE KPA	1,111.609	1,080.425	1,140.032	1,110.688	999.600	1,017.543	959.502	992.215

<b>RAZÓN DE ESFUERZO A TENSIÓN</b>	<b>89.333 %</b>
------------------------------------	-----------------

Tabla 50: *Resultados TSR - Mezcla asfáltica convencional*  
Fuente: *Elaboración propia*

## 6.2. ENSAYO DE INMERSIÓN – COMPRESIÓN

Se realizó el ensayo a los contenidos óptimos de cemento asfáltico y de fibra de polipropileno, el procedimiento y características del ensayo se detallan en 2.4.2.

### 6.2.1. Dosificación de briquetas

Para realizar el ensayo de Inmersión – compresión como se indicó en 2.4.2. fue necesario elaborar briquetas de 4” de alto, cuyo contenido fue de 1850 g de mezcla asfáltica y cuya dosificación se muestra a continuación.

DOSIFICACIÓN PARA ENSAYO DE I – C / MEZCLA CONVENCIONAL		
C.A. en la mezcla	%	4.5
Agregado grueso en la mezcla	%	50.14
Agregado fino en la mezcla	%	41.07
Filler en la mezcla	%	4.30

*Tabla 51: Dosificación para ensayo I - C / mezcla convencional  
Fuente: Elaboración propia*

DOSIFICACIÓN PARA ENSAYO DE I – C / MEZCLA MODIFICADA		
F.P. en la mezcla	%	1.3
C.A. en la mezcla	%	4.5
Agregado grueso en la mezcla	%	49.49
Agregado fino en la mezcla	%	40.53
Filler en la mezcla	%	4.24

*Tabla 52: Dosificación para ensayo I - C / mezcla modificada  
Fuente: Elaboración propia*

**6.2.2. Resultados inmersión – compresión en mezcla asfáltica convencional.**

ENSAYO DE I/C - MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL								
DATOS	MUESTRAS SECAS				MUESTRAS SUMERGIDAS			
	C - 1	C - 2	C - 3	PROM	C - 4	C - 5	C - 6	PROM
PESO SECO	1831.800	1832.000	1823.700		1833.100	1829.400	1828.800	
PESO SECO + PARAFINA	1848.600	1848.100	1838.400		1838.600	1838.700	1850.100	
PESO SUMERGIDO	1035.000	1030.000	1025.000		1035.000	1035.000	1035.000	
VOLUMEN BRIQUETA + PARAFINA	813.600	818.100	813.400		803.600	803.700	815.100	
PESO PARAFINA	16.800	16.100	14.700		5.500	9.300	21.300	
VOLUMEN PARAFINA	19.765	18.941	17.294		6.471	10.941	25.059	
VOLUMEN BRIQUETA	793.835	799.159	796.106		797.129	792.759	790.041	
PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA	2.308	2.292	2.291	2.297	2.300	2.308	2.315	2.307
PESO ESPECIFICO MAXIMO TEORICO	2.490	2.490	2.490	2.490	2.490	2.490	2.490	2.490
% VACIOS	6.60	7.22	7.28	7.03%	6.92	6.60	6.31	6.61%
CARGA MAXIMA	2306	2489	2441	2412.000	2130	2205	2035	2123.333
AREA	81.073	81.073	81.073		81.073	81.073	81.073	
RESITENCIA kgf/cm2	28.443	30.701	30.109	29.751	26.273	27.198	25.101	26.190
RESISTENCIA Mpa	2.789	3.011	2.953	2.918	2.576	2.667	2.462	2.568

<b>ÍNDICE DE RESISTENCIA OBTENIDA</b>	<b>88.032 %</b>
---------------------------------------	-----------------

*Tabla 53: Resultados TSR - Mezcla asfáltica convencional  
Fuente: Elaboración propia*

**6.2.3. Resultados inmersión – compresión en mezcla asfáltica adicionada con fibras.**

ENSAYO DE I/C - MEZCLA ADICIONADA CON FIBRAS DE POLIPROPILENO								
DATOS	MUESTRAS SECAS				MUESTRAS SUMERGIDAS			
	F - 1	F - 2	F - 3	PROM	F - 4	F - 5	F - 6	PROM
PESO SECO	1828.800	1821.000	1827.400		1829.000	1817.700	1836.500	
PESO SECO + PARAFINA	1850.100	1836.800	1844.000		1846.700	1828.400	1853.400	
PESO SUMERGIDO	1000.000	995.000	1005.000		1005.000	995.000	1000.000	
VOLUMEN BRIQUETA + PARAFINA	850.100	841.800	839.000		841.700	833.400	853.400	
PESO PARAFINA	21.300	15.800	16.600		17.700	10.700	16.900	
VOLUMEN PARAFINA	25.059	18.588	19.529		20.824	12.588	19.882	
VOLUMEN BRIQUETA	825.041	823.212	819.471		820.876	820.812	833.518	
PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA	2.217	2.212	2.230	2.220	2.228	2.215	2.203	2.215
PESO ESPECIFICO MAXIMO TEORICO	2.464	2.464	2.464	2.464	2.464	2.464	2.464	2.464
% VACIOS	8.19	8.38	7.64	8.07%	7.72	8.28	8.74	8.25%
CARGA MAXIMA	2080	3011	2493	2528.000	2349	2336	2050	2145.000
AREA	81.073	81.073	81.073		81.073	81.073	81.073	
RESITENCIA kgf/cm2	25.656	37.139	30.750	31.182	28.974	28.813	25.286	27.691
RESISTENCIA Mpa	2.516	3.642	3.016	3.058	2.841	2.826	2.480	2.716

<b>ÍNDICE DE RESISTENCIA OBTENIDA</b>	<b>88.805 %</b>
---------------------------------------	-----------------

Tabla 54: Resultados TSR - Mezcla asfáltica modificada  
Fuente: Elaboración propia

### 6.3. ENSAYO DE RESISTENCIA AL DESGASTE

Se empleó el ensayo de abrasión con la máquina Los Ángeles, el procedimiento empleado, así como características generales se detallan en la sección 2.5.

#### 6.3.1. Resultados – desgaste mezcla asfáltica convencional.

DESGASTE – MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL					
MUESTRA	% DE FIBRAS	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DESGASTE	PROMEDIO
1	0	1205.79	1126.28	6.59%	
2	0	1205.82	1137.17	5.69%	
3	0	1204.33	1124.73	6.61%	
4	0	1203.54	1132.54	5.90%	6.20%

Tabla 55: Resultados Desgaste - Mezcla asfáltica convencional  
Fuente: Elaboración propia

#### 6.3.2. Resultados – desgaste mezcla asfáltica adicionada con fibras.

DESGASTE – MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON FIBRAS					
MUESTRA	% DE FIBRAS	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DESGASTE	PROMEDIO
1	1.0	1205.21	1152.76	4.35%	
2	1.0	1202.27	1143.73	4.87%	
3	1.0	1207.13	1154.23	4.38%	
4	1.0	1206.24	1169.54	3.04%	4.16%
1	1.3	1206.93	1153.91	4.39%	
2	1.3	1205.35	1153.29	4.32%	
3	1.3	1203.76	1150.68	4.41%	
4	1.3	1208.20	1155.13	4.39%	4.38%
1	1.5	1205.33	1147.34	4.81%	
2	1.5	1202.71	1148.21	4.53%	
3	1.5	1205.96	1154.65	4.25%	
4	1.5	1204.36	1138.65	5.46%	4.76%
1	2	1202.79	1145.34	4.78%	
2	2	1206.41	1147.09	4.92%	
3	2	1204.65	1135.87	5.71%	
4	2	1207.89	1136.65	5.90%	5.33%
1	2.5	1206.01	1132.09	6.13%	
2	2.5	1203.58	1128.45	6.24%	
3	2.5	1204.64	1136.86	5.63%	
4	2.5	1203.87	1145.98	4.81%	5.70%

Tabla 56: Resultados Desgaste - Mezcla asfáltica modificada  
Fuente: Elaboración propia

## 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 7.1. COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS ENTRE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y MEZCLA ADICIONADA CON FIBRAS DE POLIPROPILENO

Previamente definidos en el capítulo 6 el contenido óptimo de cemento asfáltico y el contenido óptimo de fibras de polipropileno, se compararon y analizaron los resultados obtenidos para cada tipo de mezcla. Ambas mezclas asfálticas fueron diseñadas con una gradación MAC – 01, compactadas con 75 golpes por cara y con una temperatura de mezclado y compactación de 150 °C.

En la tabla 57 se muestran las dosificaciones empleadas para ambas mezclas.

MATERIAL	MEZCLA CONVENCIONAL	MEZCLA ADICIONADA CON FIBRAS
A. Grueso	50.14 %	49.49 %
A. Fino	41.07 %	40.53 %
Filler	4.30 %	4.24 %
Asfalto	4.5 %	4.5 %
Fibras de polipropileno	0 %	1.3 %

Tabla 57: Dosificación de mezclas asfálticas  
Fuente: Elaboración propia

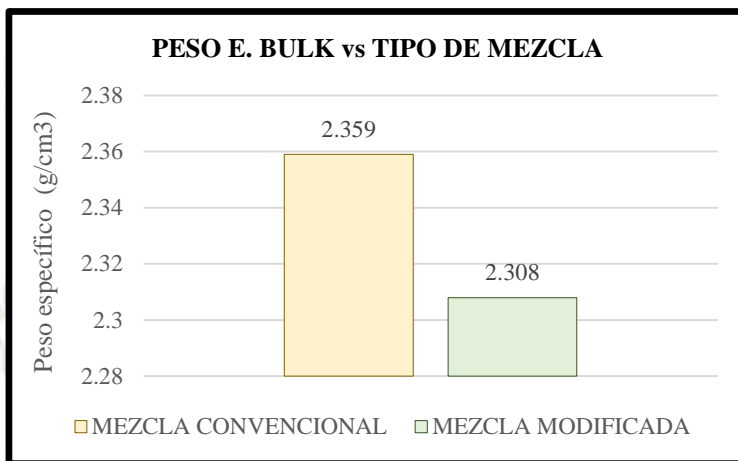
#### 7.1.1. Comparación y análisis de propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica.

PARÁMETROS	UND.	REQUERIMIENTO EG – 2013 MAC - 1	C.A. 4.5% F.P. 0%	CUMPLE SI/NO	C.A. 4.5% F.P. 1.3%	CUMPLE SI/NO
Peso específico bulk	g/cm <sup>3</sup>	-	2.359	-	2.308	-
Vacíos de aire Va	%	3 - 5	4.519	SI	4.397	SI
V.M.A.	%	14 mín.	14.172	SI	17.114	SI
V.F.A.	%	65 - 75	68.115	SI	74.320	SI
Estabilidad	KN	8.15 mín.	12.511	SI	13.142	SI
Flujo	mm	8 - 14	13.609	SI	13.766	SI
Relación estabilidad - flujo	Kg/cm	1700 - 4000	3693.25	SI	3833.244	SI
Relación polvo - asfalto	-	0.6 – 1.3	1.305	NO	1.287	SI

Tabla 58: Propiedades volumétricas de las mezclas asfálticas  
Fuente: Elaboración propia

**7.1.1.1. Análisis de pesos e. bulk vs tipo de mezcla.**

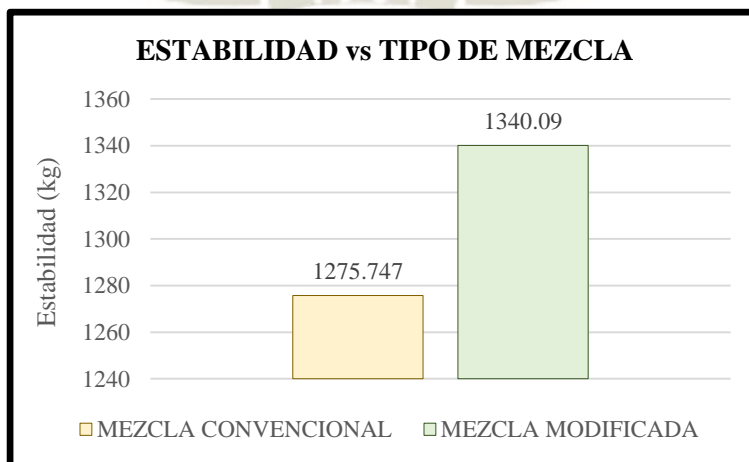
Como se observa en la gráfica 29 la mezcla asfáltica convencional tiene un valor de peso específico mayor en 0.051 g/cm<sup>3</sup> con respecto a la mezcla adicionada con fibras, esto influye en el valor de % de V.M.A. y el % de vacíos, disminuyéndolos, ya que la mezcla tiene menos espacio intergranular.



Gráfica 29: Peso unitario vs tipo de mezcla  
Fuente: Elaboración propia

**7.1.1.2. Análisis de estabilidades vs tipo de mezcla.**

El valor de estabilidad en la mezcla representa la capacidad de esta para mantener su forma bajo acciones de cargas repetidas, como el tránsito vehicular, que podría generar ahuellamientos prematuros, además de ser el reflejo de la fricción y cohesión interna que existe entre sus componentes.



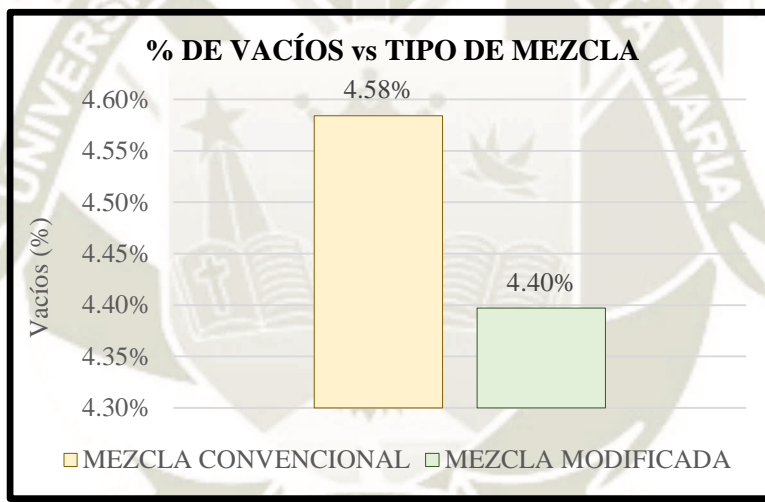
Gráfica 30: Estabilidad vs tipo de mezcla  
Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la gráfica 30 la estabilidad de la mezcla asfáltica modificada es mayor por 64.34 kg con respecto a la mezcla convencional, es decir la mezcla al ser adicionada con fibras ha sufrido un incremento del 5.0% de su estabilidad, ambas mezclas cumplen con superar el límite mínimo permitido de 831.07 kg y con esto garantizar su resistencia estructural.

### 7.1.1.3. Análisis de % de vacíos vs tipo de mezcla.

El contenido de vacíos en la mezcla se interpreta como la tendencia que tendría a producir agrietamientos prematuros, desgaste y desprendimientos. La mezcla asfáltica adicionada con fibras tiene un % de vacíos menor en 2.77 % respecto a la mezcla convencional,

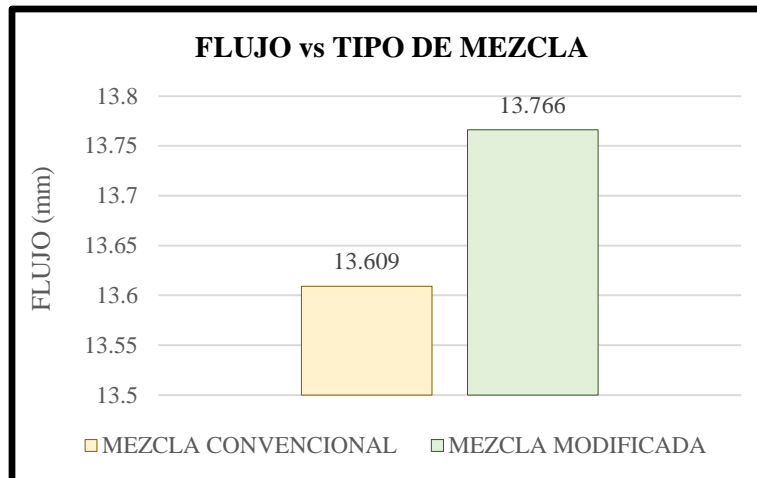
Se espera que al tener menor % de vacíos la mezcla modificada sea menos permeable y por lo tanto tenga mejor desempeño por humedad que la mezcla convencional como se verá más adelante.



Gráfica 31: % de vacíos vs tipo de mezcla  
Fuente: Elaboración propia

### 7.1.1.4. Análisis de flujos vs tipo de mezcla.

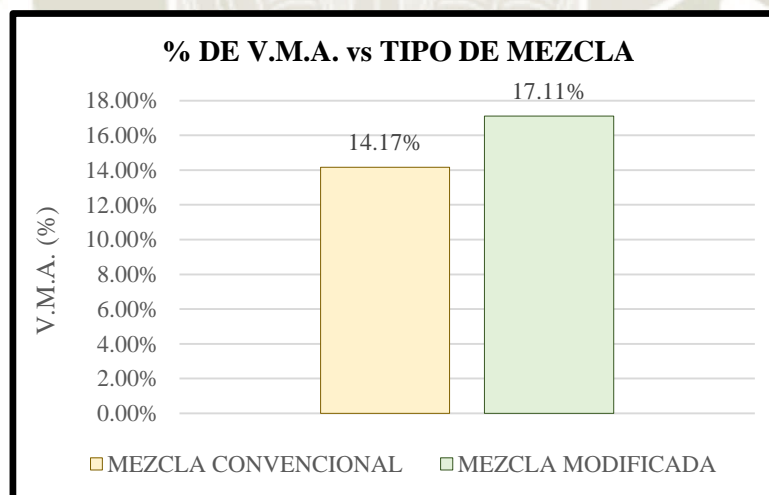
Se observa en la gráfica 32 que la mezcla adicionada con fibras presenta un incremento en el flujo de 1.15 % respecto a la mezcla convencional, el flujo representa la tendencia para alcanzar una condición plástica o inestable y en consecuencia de la resistencia que ofrecerá la carpeta asfáltica a deformarse bajo la acción de cargas que produce el tránsito.



Gráfica 32: Flujo vs tipo de mezcla  
Fuente: Elaboración propia

#### 7.1.1.5. Análisis de % de V.M.A. vs tipo de mezcla.

La mezcla asfáltica adicionada con fibras de polipropileno tiene 17.11% de V.M.A. y la mezcla convencional 14.17%, esto representa un incremento del 20.74% de V.M.A, lo que significaría que la mezcla asfáltica adicionada con fibras tendría mayor espacio disponible para acomodar el asfalto.

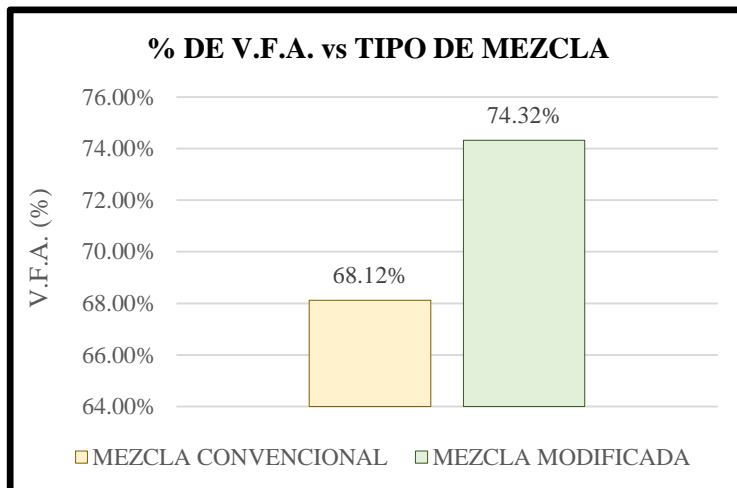


Gráfica 33: % de V.M.A. vs tipo de mezcla  
Fuente: Elaboración propia

#### 7.1.1.6. Análisis de % de V.F.A. vs tipo de mezcla.

En valor de V.F.A. para la mezcla convencional es de 68.12% y para la mezcla adicionada con fibras es de 74.32%, valor que representa un incremento de 9.10%.

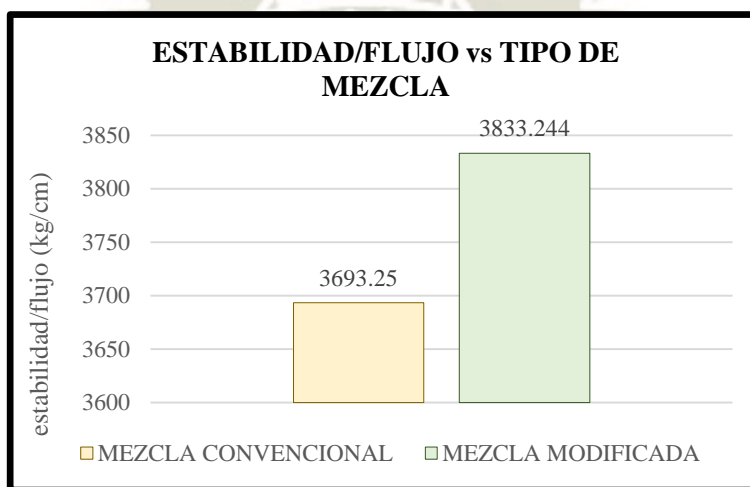
El porcentaje de VFA es muy importante pues limita los niveles máximos para el VMA y en consecuencia el contenido óptimo de asfalto, además es un indicador de la cantidad de asfalto usado en la mezcla, valores demasiado bajos indican la insuficiencia de asfalto.



Gráfica 34: % de V.F.A. vs tipo de mezcla  
Fuente: Elaboración propia

**7.1.1.7. Análisis de relación estabilidad – flujo vs tipo de mezcla.**

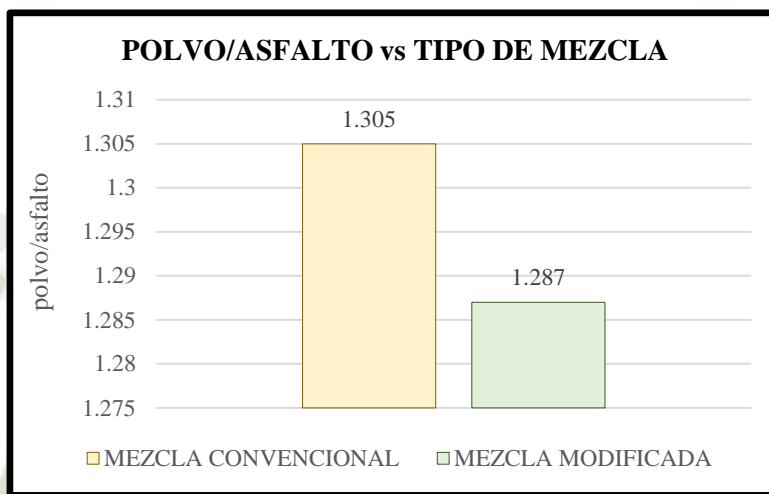
Como se observa en la gráfica 35, ambas mezclas están dentro del límite del rango establecido para la rigidez por el Manual de carreteras EG – 2013, valor comprendido entre 1700 y 4000 kg/cm, si se excediera el valor se trataría de una mezcla asfáltica extremadamente rígida y propensa a sufrir agrietamientos al poco tiempo de su puesta en servicio.



Gráfica 35: Relación estabilidad/flujo vs tipo de mezcla  
Fuente: Elaboración propia

**7.1.1.8. Análisis de relación polvo – asfalto vs tipo de mezcla.**

Es la relación entre el porcentaje en peso del agregado más fino que el tamiz 0,075 mm y el contenido de asfalto efectivo, en porcentaje en peso del total de la mezcla, según el Manual de carreteras este valor para una MAC – 01 debe estar comprendido entre 0.6 y 1.3, por lo que la mezcla asfáltica adicionada con fibras está dentro de estos límites.



Gráfica 36: Relación polvo/asfalto vs tipo de mezcla  
Fuente: Elaboración propia

**7.1.2. Comparación y Análisis de desempeño por humedad de la mezcla asfáltica.**

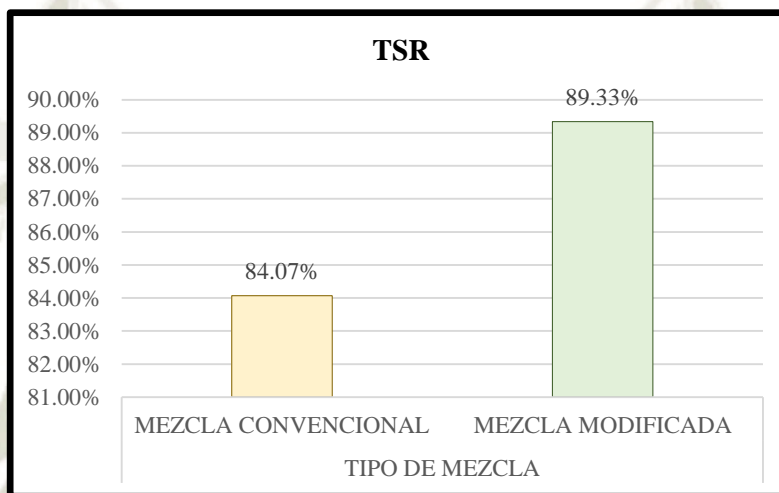
En la tabla 59 se muestran los resultados obtenidos de los ensayos de desempeño por humedad.

ENSAYO DE TSR					
TIPO DE MEZCLA		C.A. 4.5% F.P. 0%		C.A. 4.5% F.P. 1.3%	
PARÁMETROS	UND.	SECAS	SUMERGIDAS	SECAS	SUMERGIDAS
Fuerza Tensible	Kpa	1094.790	920.403	1110.688	992.215
Razón de esfuerzo a tensión	%	84.071		89.333	
ENSAYO DE INMERSIÓN – COMPRESIÓN					
TIPO DE MEZCLA		C.A. 4.5% F.P. 0%		C.A. 4.5% F.P. 1.3%	
PARÁMETROS	UND.	SECAS	SUMERGIDAS	SECAS	SUMERGIDAS
Carga máxima	Kgf	2412.00	2123.23	2528.00	2245.00
Resistencia	Kgf/cm2	29.75	26.19	31.18	27.69
Índice de resistencia	%	88.032		88.805	

Tabla 59: Desempeño por humedad de las mezclas asfálticas  
Fuente: Elaboración propia

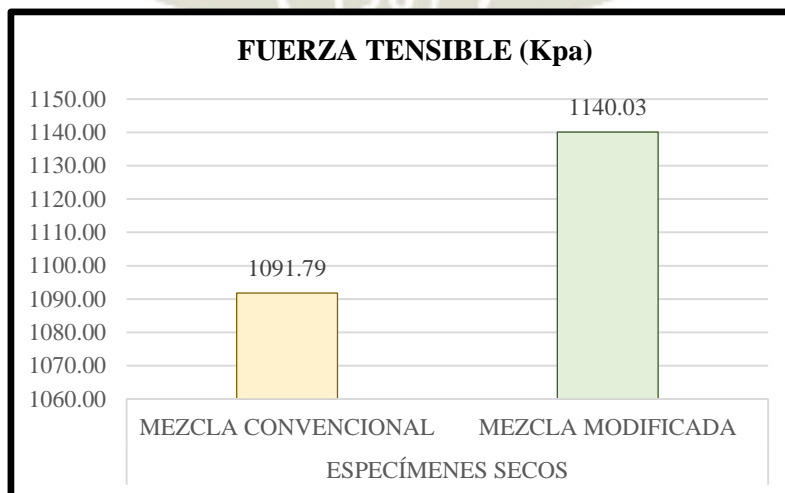
**7.1.2.1. Análisis de desempeño por humedad – resistencia conservada en el ensayo de tracción indirecta – TSR.**

Según el Manual de carreteras EG – 2013 el valor mínimo aceptado para resistencia al ensayo de tracción indirecta es de 80%, como se ve en la gráfica 36, el TSR para la mezcla convencional es de 84.07% y para la mezcla modificada es de 89.33%, lo que implica una mejora del desempeño al estado de tensiones al que se somete la capa asfáltica debido al tránsito después de construido el pavimento en la mezcla asfáltica adicionada con fibras.

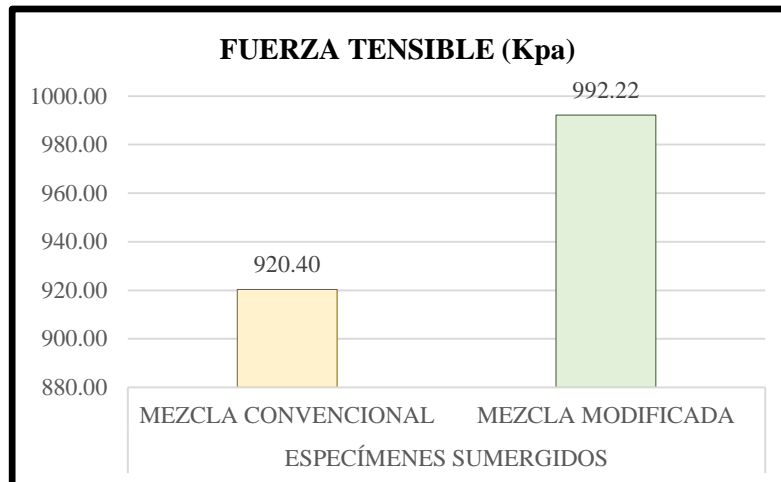


Gráfica 37: Resultados TSR vs tipo de mezcla  
Fuente: Elaboración propia

Además, el esfuerzo Tensible tanto para especímenes secos y acondicionados muestra valores más altos en la mezcla asfáltica adicionada con fibras como se observa en la gráfica 38 y 39.



Gráfica 38: Esfuerzo Tensible en especímenes secos  
Fuente: Elaboración propia



Gráfica 39: Esfuerzo Tensible en especímenes sumergidos  
Fuente: Elaboración propia

El ensayo de tracción indirecta evalúa la susceptibilidad a la humedad de mezclas asfálticas compactadas, mide el cambio de la resistencia a la tensión diametral que resulta de efectos de saturación y acondicionamiento en agua de un subgrupo de especímenes frente a otro en condiciones secas, con los resultados se evidencia que, la mezcla asfáltica adicionada con fibras tiene un mejor comportamiento frente a condiciones que simularían y representarían la humedad que recibiría una vez puesta en servicio.

Como se observa en la figura 49, los especímenes sin fibras ubicados en la parte superior, al ser retirados del molde se desintegraron con más facilidad que los especímenes con fibras, por consiguiente, se reporta el daño por estimación visual para la mezcla convencional como 5 y para la mezcla modificada como 5, puesto que solo hubo desprendimiento más no fractura del agregado.

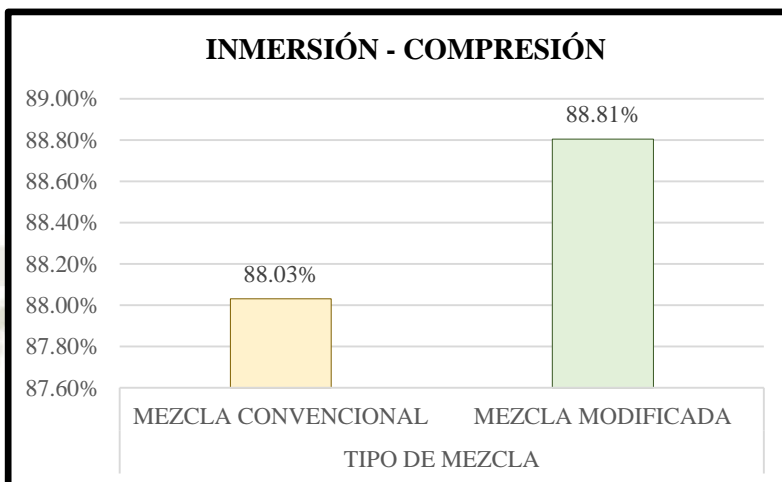


Figura 49 Especímenes ensayados TSR  
Fuente: Elaboración propia

**7.1.2.2. Análisis de desempeño por humedad – Inmersión / compresión.**

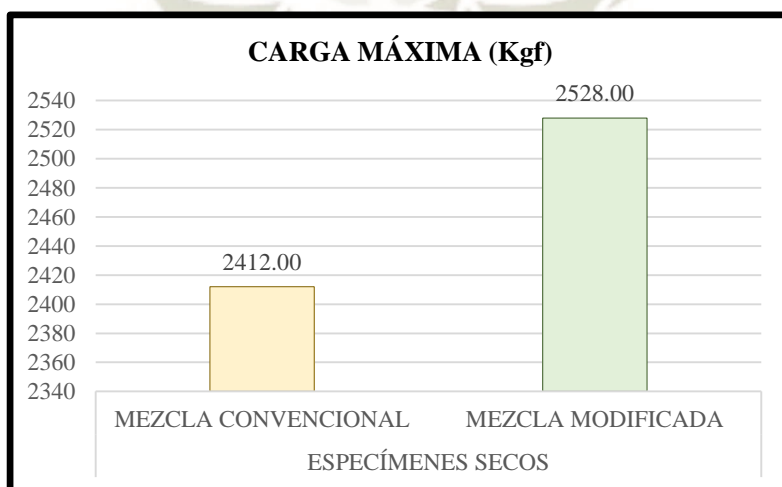
Como se observa en la gráfica 40, el índice de resistencia obtenido en la mezcla asfáltica adicionada con fibras es 0.89% más que el obtenido en la mezcla convencional.

Ambas mezclas superan el mínimo permitido por la EG – 2013 de 80%



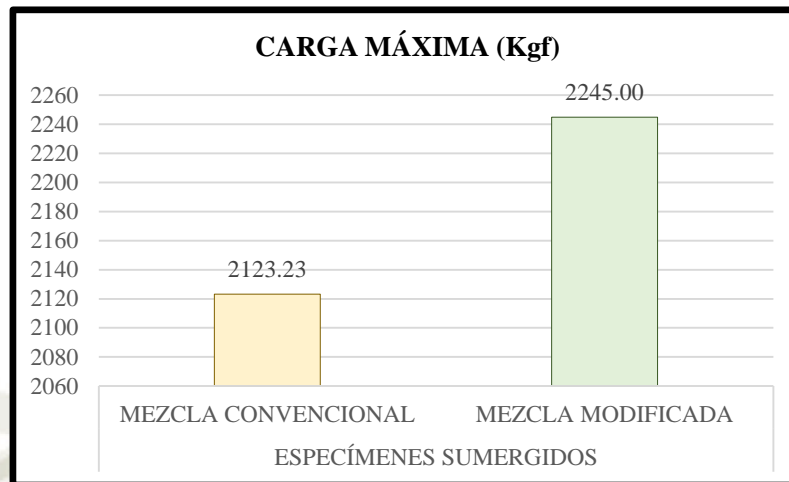
Gráfica 40: Resultados inmersión - compresión vs tipo de mezcla  
Fuente: Elaboración propia

Las cargas máximas obtenidas tanto para especímenes secos como para especímenes sumergidos de mezcla asfáltica adicionada con fibras tienen valores más altos frente a los especímenes de mezcla convencional, el valor de carga máxima para especímenes secos es 4.81% mayor en mezcla modificada con 116 kgf de diferencia.



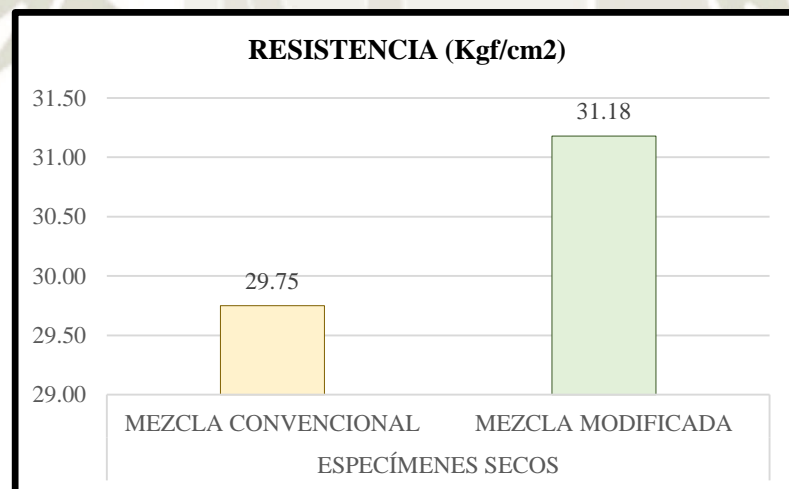
Gráfica 41: Carga máxima de especímenes secos  
Fuente: Elaboración propia

el valor de carga máxima para especímenes sumergidos es 5.74% mayor en mezcla modificada con 121.77 kgf de diferencia.



Gráfica 42: Carga máxima de especímenes sumergidos  
Fuente: Elaboración propia

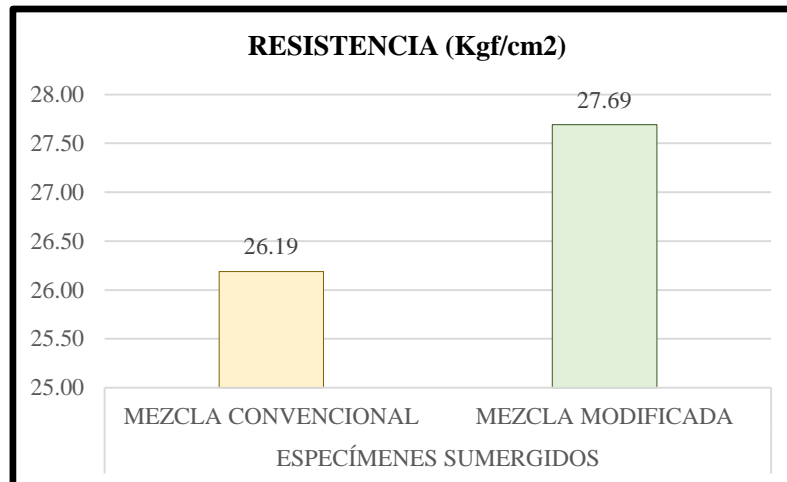
La resistencia obtenida para especímenes secos es 4.81% mayor en mezcla modificada con 1.43 kgf/cm<sup>2</sup> de diferencia.



Gráfica 43: Resistencia en especímenes secos  
Fuente: Elaboración propia

La resistencia obtenida para especímenes sumergidos es 5.73% mayor en mezcla modificada con 1.5 kgf/cm<sup>2</sup> de diferencia.

Con estos valores se evidencia un mejor desempeño frente a condiciones de humedad por parte de la mezcla asfáltica adicionada con fibras de polipropileno.



Gráfica 44: Resistencia en especímenes sumergidos  
Fuente: Elaboración propia

Con estos valores se evidencia un mejor desempeño frente a condiciones de humedad por parte de la mezcla asfáltica adicionada con fibras de polipropileno.

Cabe resaltar que los especímenes de mezcla asfáltica convencional presentaron fallas longitudinales y los especímenes de mezcla modificada presentaron la falla en su mayoría en los extremos tal como se muestra en la figura 50.

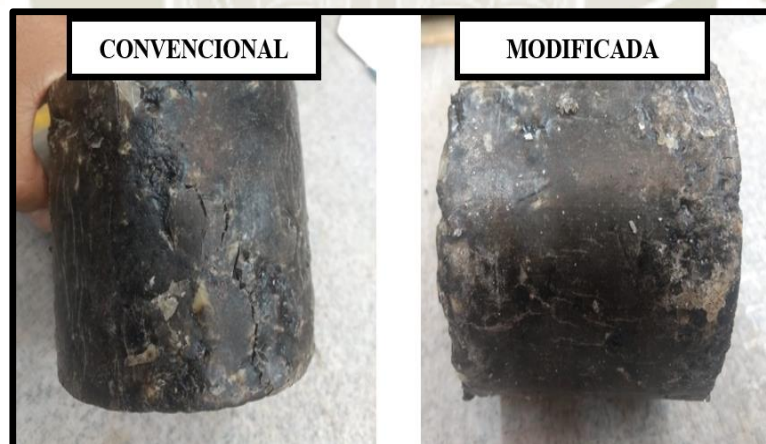
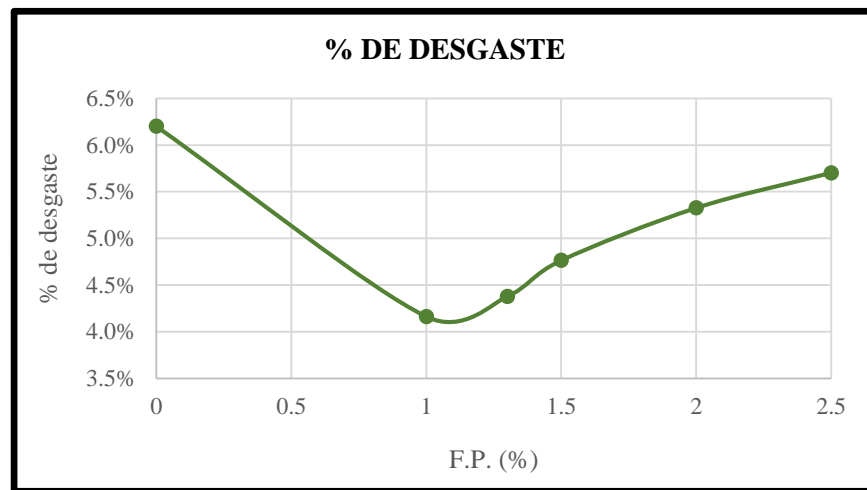


Figura 50: Especímenes ensayados - Compresión / inmersión  
Fuente: Elaboración propia

Con los resultados obtenidos tanto para ensayo TSR como inmersión/compresión se verifica que la mezcla adicionada con fibras de polipropileno tiene mejor desempeño frente a condiciones de humedad, dichas condiciones representan la máxima temperatura a la que se puede someter un pavimento que es 60 °C.

### 7.1.3. Comparación y Análisis de resistencia al desgaste de la mezcla asfáltica.

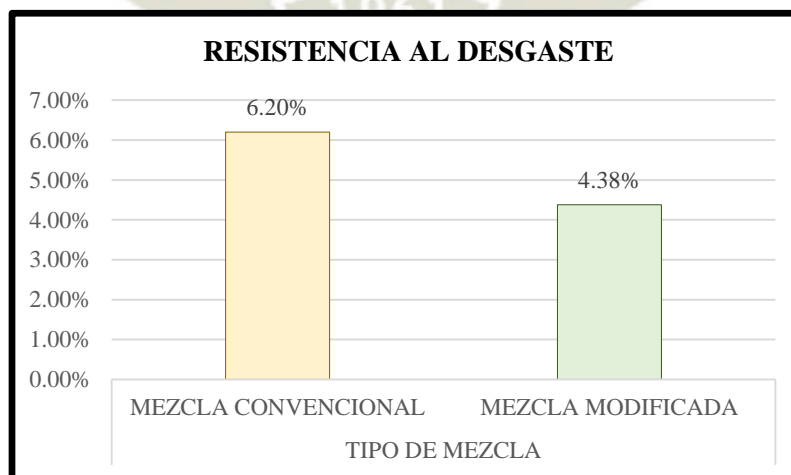
Analizando la gráfica 45 se observa que el porcentaje de desgaste es mayor en la mezcla convencional frente a cualquier % de fibra en la mezcla modificada, esto evidencia que las fibras aportan resistencia a la mezcla para contrarrestar los efectos de disgregación de la mezcla ante efectos abrasivos ocasionados por el tráfico.



% F.P.	0.0	1.0	1.3	1.5	2.0	2.5
% de desgaste	6.20	4.16	4.38	4.76	5.33	5.70

Gráfica 45: Resultados de resistencia al desgaste  
Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 46 se observa que el desgaste disminuye un 29.35% cuando se le agregan fibras a la mezcla asfáltica convencional.



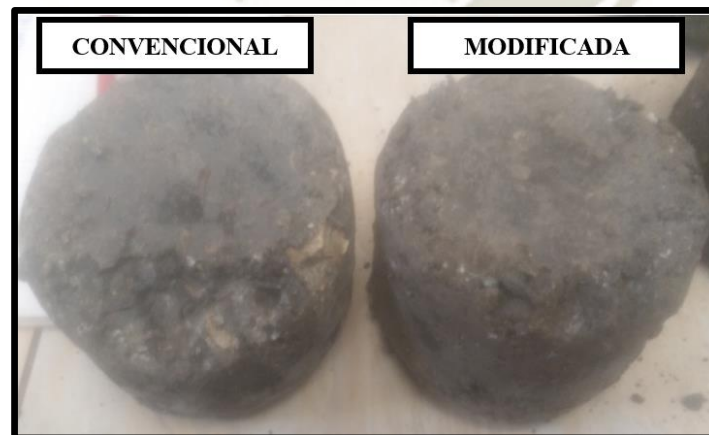
Gráfica 46: Resultados de resistencia al desgaste vs tipo de mezcla  
Fuente: Elaboración propia

En las figuras 51 y 52 se muestran como quedaron los especímenes después de realizado el ensayo de abrasión, en la primera figura se muestran solo los especímenes de muestra modificada y se observa que no presentan disgregación o pérdida de fragmentos importantes de su masa.

En la segunda figura, una comparación entre ambas mezclas notándose claramente que el mayor daño se produce en la mezcla convencional.



*Figura 51: Desgaste en especímenes de mezcla modificada*  
Fuente: Elaboración propia



*Figura 52: Desgaste en especímenes de mezcla convencional y modificada*  
Fuente: Elaboración propia

Si bien el menor porcentaje de desgaste se tiene con la adición de 1% de fibras, el 1.3 % cumple con los requisitos mínimos exigidos para mezcla asfáltica según el EG – 2013.

## 8. DISEÑO DE ESPESOR DE SUPERFICIE DE RODADURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE

---

### 8.1. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE

Para esta investigación como vimos en el capítulo 3, se tomó como zona de estudio de tráfico la calle Salaverry que conduce al puente San Martín, la vía más transitada del óvalo de Vallecito, Provincia de Arequipa, la misma que será usada para el diseño de pavimento.

#### 8.1.1. Generalidades.

Los dos puntos más importantes a considerar son:

##### 8.1.1.1. *Criterios de diseño.*

Para el diseño se ha optado por emplear el procedimiento más generalizado de uso actual en nuestro país, basado en el Método AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993, descrito en el Manual de Carreteras, sección suelos y pavimentos.

Se aplicará un análisis de comportamiento que cubre el periodo de diseño de 20 años de la estructura del pavimento.

##### 8.1.1.2. *Parámetros básicos para el diseño.*

Los factores que intervienen en el diseño de un pavimento se mencionan a continuación:

- **Estudios de tráfico:** Se determina el flujo vehicular, esto quiere decir, determinar el tipo de vehículos que transitan por la zona de estudio, haciendo uso del formato del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú - MTC.
- **Estudios de mecánica de suelos:** El estudio de suelos se obtuvo del expediente técnico de la obra “Rehabilitación post-desastre del servicio de transitabilidad vehicular en el sector de la Av. Alfonso Ugarte (0.00 – 208) Av. Felipe Salaverry (La Marina al Ovalo de Vallecito) Av. Virgen del Pilar (By Pass de Venezuela con Paucarpata), Calle Bouroncle Umacollo av. Parra (Puente Bolívar y Alameda Mario Vargas Llosa), distrito de Arequipa, provincia de Arequipa – Arequipa”, de este documento se extrajeron datos importantes como el CBR, principal característica de la subrasante sobre la que se asentará el pavimento.

El estudio de mecánica de suelos fue realizado en el laboratorio LABSY CONST S.R.L. de la ciudad de Arequipa, en el mes de Julio del año 2014. Los ensayos realizados fueron los siguientes:

- Análisis Granulométrico por tamizado
- Contenido de Humedad y máxima densidad
- Ensayo de California Bearing Ratio – CBR

El estudio de mecánica de suelos realizó el análisis granulométrico a dos muestras pertenecientes a dos capas del suelo, la primera pertenece a la base granular existente de 0.05m a 0.25m de profundidad y la segunda perteneciente al terreno de fundación de 0.25 m a 1.50 m de profundidad, no se encontró nivel freático.

A partir de estos ensayos se pudo conocer la columna estratigráfica del suelo mostrado en la figura 47, ubicado en calles que conectan con el Ovalo de Vallecito, zona que se tomó como proyecto de aplicación de la presente investigación.

PROF.	SIMBOLO	GRAFICO	DESCRIPCIÓN
0.05			CARPETA ASFALTICA EXISTENTE
0.25	SP-SM		DE 0,05 M. A 0,25 M. (BASE GRANULAR EXISTENTE) CONFORMADO POR UNA ARENA LIMOSA POBREMENTE GRADUADO (SP-SM) NO PLÁSTICO, DE COLOR GRIS MARRON CLARO, A GRIS PLOMIZO, EN ESTADO COMPACTO CON GRANOS GRUESOS DE FORMA SUB REDONDEADA A SUB ANGULAR.
1.50	SP-SM		DE 0,25 M. A 1,50 M. DE PROFUNDIDAD CONFORMADO POR UNA ARENA LIMOSA POBREMENTE GRADUADA (SP-SM) NO PLÁSTICO, DE COLOR GRIS PLOMIZO CLARO, EN ESTADO SEMI COMPACTO CON GRANOS GRUESOS DE FORMA SUB REDONDEADA A SUB ANGULAR.  PRESENTA BOLONERIAS MAYOR A 2" DE DIAMETRO EN UN 8%  A LA PROFUNDIDAD DE EXCAVACIÓN NO SE ENCONTRO EL NIVEL FREÁTICO.

*Gráfica 47: Columna Estratigráfica*  
*Fuente: Estudio de Mecánica de Suelos – Anexo 11*

La conformación del suelo a una profundidad de 1.50 m. es de 29.5% de grava, 64.1% de arena y 6.4% de finos, por lo que se clasifica al suelo como SP – SM, es decir, arena pobremente gradada con presencia de limo, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

Y se clasifica como A – 1 – b (0), es decir, Material Excelente a bueno según la American Association of State Highway Officials (AASHTO). Se concluye también que el suelo es no plástico.

A partir del ensayo de compactación se determinó que la humedad natural es de 3.3%, la humedad óptima es de 11.70% y la densidad máxima de 1.885 g/cm<sup>3</sup>.

Respecto al ensayo de CBR se determina que este se realizó con material pasante del tamiz de 3/4", puesto que menos del 25% del material total del ensayo de granulometría quedó retenido en este tamiz.

Al tratarse de un suelo granular, la compactación del material para el ensayo CBR según el MTC E - 132 se realiza con 55, 26 y 12 golpes, en este estudio se realizó con 56, 25 y 10 golpes y a la penetración de 0.1".

Los resultados obtenidos y como se muestra en la figura 53 fueron:

CBR al 100% = 33%

CBR al 95% = 18%

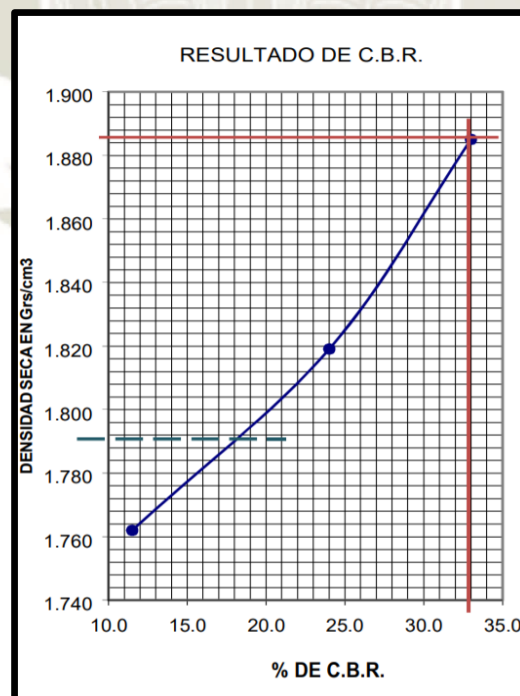


Figura 53: Resultado de CBR  
Fuente: Estudio de Mecánica de Suelos – Anexo 11

### 8.1.2. Metodología AASHTO 93.

PARÁMETRO	VALOR
CBR de subrasante	18.00 %

Tabla 60: Valor de CBR para diseño

Fuente: Elaboración propia

El valor de CBR de 18.00 %, basado en la tabla 61, se trata de una categoría de sub rasante buena.

Categorías de Subrasante	CBR
$S_0$ : Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
$S_1$ : Subrasante Pobre	De CBR $\geq 3\%$ A CBR < 6%
$S_2$ : Subrasante Regular	De CBR $\geq 6\%$ A CBR < 10%
$S_3$ : Subrasante Buena	De CBR $\geq 10\%$ A CBR < 20%
$S_4$ : Subrasante Muy Buena	De CBR $\geq 20\%$ A CBR < 30%
$S_5$ : Subrasante Extraordinaria	CBR $\geq 30\%$

Tabla 61: Categorías de subrasante

Fuente: Manual de Carreteras EG - 2013– Suelos y pavimentos

La ecuación a emplear para el diseño de pavimento flexible es la que se muestra a continuación.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_0 + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10} \left( \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Ecuación 14: Diseño de pavimento flexible

Fuente: Manual de Carreteras EG - 2013– Suelos y pavimentos

Donde:

- $W_{18}$  = Número Acumulado de Ejes Equivalentes, corresponde al número de Ejes Equivalentes de 8.2 t.
- $M_r$  = Módulo de Resiliencia, que es una medida de rigidez del suelo de la subrasante.
- $Z_r$  = Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal, representa el valor de la confiabilidad.

- $S_o$  = Desviación Estándar Combinada, toma en cuenta la variabilidad esperada de la predicción de tránsito.
- $\Delta PSI$  = Variación de Índice de Serviciabilidad Presente, es la comodidad de circulación ofrecida al usuario.
- SN = Número Estructural Propuesto, representa el espesor total del pavimento.

La ecuación a emplear para determinar el Número estructural se muestra a continuación.

$$SN = a_1 * d_1 + a_2 * d_2 * m_2 + a_3 * d_3 * m_3$$

*Ecuación 15: Número estructural (SN) para hallar espesores de pavimento flexible  
Fuente: Manual de Carreteras EG – 2013 – Suelos y pavimentos*

Donde:

- $a_1, a_2, a_3$  = coeficientes estructurales de las capas; superficial, base y subbase, respectivamente (obtenidos de tablas del Manual de suelos y Pavimentos del MTC).
- $d_1, d_2, d_3$  = espesores (en cm) de las capas: superficial, base y subbase, respectivamente.
- $m_2, m_3$  = coeficientes de drenaje para las capas de base y subbase, respectivamente.

Sobre  $m_2$  y  $m_3$ , los coeficientes de drenaje, estos se determinarán de acuerdo al tiempo que tarda el agua en ser evacuada del pavimento, el Manual de Suelos y Pavimentos del MTC EG – 2013 tiene tablas para la obtención de este coeficiente y se recomienda considerar este valor como 1, pues se considera que la calidad de drenaje para pavimento urbano y rural es buena tanto para base como para subbase.

El número estructural no tiene una sola solución, se debe realizar combinaciones de espesores y analizar cuál es la más óptima.

### **8.1.3. Resultados de diseño.**

En base a las ecuaciones 14 y 15, se elaboró la tabla 62 que contiene todas las variables necesarias para el cálculo del número estructural en un pavimento flexible.

Con el número estructural de la tabla 62 se procede a plantear opciones de espesores de pavimento mostradas en la tabla 63.

VARIABLE	SÍMBOLO	UND.	VALOR
N° de repeticiones de EE 8.2 ton.	$W_{18}$	-	10,124,161.57
CBR de subrasante 0.1" al 95%	-	%	18.00
Módulo de resiliencia	$M_r$	psi	16246.71
Confiabilidad	R	%	90
Desviación estándar normal	$Z_r$	-	- 1.282
Desviación estándar combinada	$S_o$	-	0.45
Serviciabilidad inicial	$P_i$	-	4.00
Serviciabilidad final o terminal	$P_t$	-	2.50
Variación de Serviciosabilidad	$\Delta PSI$	-	1.50
<b>SN</b>			<b>3.8925</b>

Tabla 62: Cálculo del número estructural - SN  
Fuente: Elaboración propia

Con este número estructural se plantearon opciones de espesor para el pavimento usando la ecuación 14.

Superficial a1	Base a2	Subbase a3	Base m2	Subbase m3	Superficial d1 (cm)	Base d2 (cm)	Subbase d3 (cm)	SN
0.17	0.054	0.047	1	1	12	25	10	3.86
					12	25	15	4.095
					12	30	5	3.895
					13	25	10	4.03

Tabla 63: Espesores de pavimento flexible  
Fuente: Elaboración propia

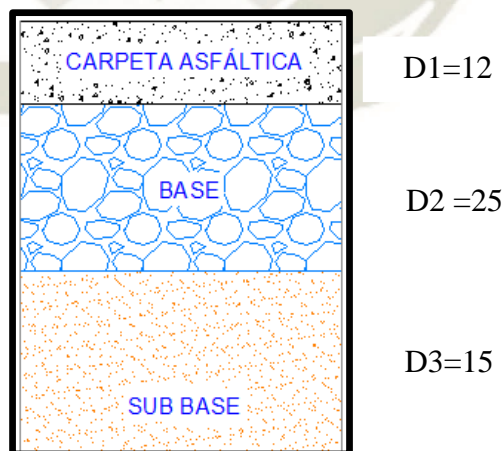


Figura 54: Espesores del pavimento flexible  
Fuente: Elaboración propia

## 9. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para el jornal de los costos unitarios de la Mano de Obra se utilizará la tabla de Salarios y Beneficios Sociales con período de vigencia del 01.06.2019 al 31.05.2020, que fue suscrita por la Cámara Peruana de la Construcción y la Federación de Trabajadores de Construcción Civil del Perú.

TABLA DE SALARIOS Y BENEFICIOS SOCIALES						
Expediente N° 173-2019-MTPE/2/14-NC						
(Del 01.06.2019 al 31.05.2020)						
<b>OPERARIO</b>				<b>Indemnizac.</b>		<b>vacaciones</b>
Jornal	70.30	* 6 días	421.80	diario	10.55	7.03
Jornal Dominical	11.72	* 6 días	70.30	semanal	63.27	42.18
BUC 32 %	22.50	* 6 días	134.98			
Bonif. Por Movilidad	8.00	* 6 días	48.00			
Total Salarios				<b>Fiest. Patri.</b>		<b>Fiest. Navid.</b>
Descuento ONP 13%				diario	13.39	18.75
Descuento CONAF. 2%				mensual	401.71	562.40
Pago Neto Semanal				Total	2812.00	2812.00
				Ley N° 30334, Exonera a las gratif. del descuento del SNP o SPP.		
				El 9% correspondiente a EsSalud se paga al trabajador		
<b>OFICIAL</b>				<b>Indemnizac.</b>		<b>vacaciones</b>
Jornal	55.40	* 6 días	332.40	diario	8.31	5.54
Jornal Dominical	9.23	* 6 días	55.40	semanal	49.86	33.24
BUC 30 %	16.62	* 6 días	99.72			
Bonif. Por Movilidad	8.00	* 6 días	48.00			
Total Salarios				<b>Fiest. Patri.</b>		<b>Fiest. Navid.</b>
Descuento ONP 13%				diario	10.55	14.77
Descuento CONAF. 2%				mensual	316.57	443.20
Pago Neto Semanal				Total	2216.00	2216.00
				Ley N° 30334, Exonera a las gratif. del descuento del SNP o SPP.		
				El 9% correspondiente a EsSalud se paga al trabajador		
<b>PEON</b>				<b>Indemnizac.</b>		<b>vacaciones</b>
Jornal	49.70	* 6 días	298.20	diario	7.46	4.97
Jornal Dominical	8.28	* 6 días	49.70	semanal	44.73	29.82
BUC 30 %	14.91	* 6 días	89.46			
Bonif. Por Movilidad	8.00	* 6 días	48.00			
Total Salarios				<b>Fiest. Patri.</b>		<b>Fiest. Navid.</b>
Descuento ONP 13%				diario	9.47	13.25
Descuento CONAF. 2%				mensual	284.00	397.60
Pago Neto Semanal				Total	1988.00	1988.00
				Ley N° 30334, Exonera a las gratif. del Descuento del SNP o SPP.		
				El 9% correspondiente a EsSalud se paga al trabajador		
<b>Asignación Escolar por un hijo</b>				<b>HORAS EXTRAS</b>		
	diario	mensual	Simple	60%	100%	Indemn. H.S.*15%
OPERARIO	5.86	175.75	8.79	14.06	17.58	1.32
OFICIAL	4.62	138.50	6.93	11.08	13.85	1.04
PEON	4.14	124.25	6.21	9.94	12.43	0.93

Tabla 64: Salarios y beneficios sociales

Fuente: Federación de trabajadores de construcción civil del Perú.

Recuperado de: <https://www.ftccperu.com/index.php/biblioteca/category/6-tabla-salarial>

El cálculo del análisis económico se realizó por m<sup>2</sup> de pavimento y por m<sup>3</sup> de mezcla asfáltica.

Para realizar este análisis económico es necesario definir el aporte que tienen los materiales de cada tipo de mezcla asfáltica, además de considerar la condición en que se trabajarán dichos materiales, estado compactado o esponjado, para lo que se elaboraron las tablas que se muestran a continuación, donde se detallan estos aportes por m<sup>3</sup> y m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Las cantidades y rendimientos que se presentan en el análisis de costos de cada mezcla son determinadas para un metro cúbico de producción en planta.

Es importante mencionar que la carpeta asfáltica tendrá un espesor de 12 cm y en el procedimiento constructivo se realizará el esparcido y compactado de mezcla en 2 capas de 6 cm de espesor cada una.

## 9.1. PAVIMENTO URBANO CON MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL

### 9.1.1. Aporte por m<sup>3</sup> para preparación de Mezcla Asfáltica Convencional.

MATERIAL	CANTIDAD EN %	CANTIDAD EN Kg/m <sup>3</sup>	VOLUMEN POR m <sup>3</sup> DE MAC	CANTIDADES PARA UN m <sup>3</sup> DE MAC
Cemento Asfáltico	4.50 %	106.16	0.10	27.50 gal.
Agregado Grueso	50.13 %	1182.74	0.79	0.79 m <sup>3</sup>
Agregado Fino	41.07 %	968.72	0.63	0.63 m <sup>3</sup>
Filler Mineral	4.30 %	101.38	0.04	101.38 kg
TOTAL	100 %	2359.00	1.56	-

Tabla 65: Aporte de materiales por m<sup>3</sup>  
Fuente: Elaboración propia

### 9.1.2. Aporte por m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> de carpeta asfáltica convencional E= 0.12 m

MATERIAL	%	PESO DE 1m <sup>2</sup> DE CARPETA Kg/m <sup>2</sup>	VOLUMEN PARA UN m <sup>3</sup> DE MAC SUELTO	VOLUMEN PARA UN m <sup>3</sup> DE MAC COMPACTADO	INSUMOS SUELTOS / 1 m <sup>2</sup> de CARPETA	INSUMOS COMPACTADOS / 1 m <sup>2</sup> de CARPETA
Cemento Asfáltico	4.50 %	12.74	0.10	0.10	3.30 gal.	4.12 gal.
Agregado Grueso	50.13 %	141.91	0.79	0.72	0.09 m <sup>3</sup>	0.11 m <sup>3</sup>
Agregado Fino	41.07 %	116.26	0.63	0.56	0.08 m <sup>3</sup>	0.08 m <sup>3</sup>
Filler Mineral	4.30 %	12.17	0.04	0.04	12.17 kg	15.21 kg
TOTAL	100 %	283.08	1.56	1.43	-	-

Tabla 66: Aporte por m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> de mezcla asfáltica convencional  
Fuente: Elaboración propia

### 9.1.3. Medrado.

<b>METRADO DE PISTA DE PAVIMENTO URBANO – MEZCLA CONVENCIONAL</b>			
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Und.</b>	<b>Metrado</b>
01	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>		
01.01	EXCAVACIÓN A NIVEL DE SUB RASANTE	m3	0.50
01.02	CARGUÍO DE MATERIAL EXCEDENTE PROCEDENTE DE LA EXCAVACIÓN	m3	0.60
01.03	ELIMINACIÓN DE MATERIAL PROCEDENTE DE LA EXCAVACIÓN (D=5KM)	m3	0.60
01.04	PERFILADO Y COMPACTADO DE LA SUB RASANTE	m2	1.00
02	<b>PAVIMENTO</b>		
02.01	SUB BASE GRANULAR	m3	0.15
02.02	BASE GRANULAR	m3	0.25
03	<b>CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE E = 0.12 m</b>		
03.01	IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA	m2	2.00
03.02	PREPARACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE	m3	0.12
03.03	COLOCACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA E=0.12 m	m2	2.00

*Tabla 67: Medrado de Pavimento urbano con mezcla convencional  
Fuente: Elaboración propia*

#### 9.1.4. Presupuesto por m2 de Pavimento y m3 de Mezcla Asfáltica.

En las tablas 68 y 69 se muestran el presupuesto del m2 de pavimento y de m3 de mezcla asfáltica en caliente respectivamente.

<b>PRESUPUESTO PAVIMENTO CON MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL</b>						
Presupuesto	1004002	PRESUPUESTO PISTA PAVIMENTO CON MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL				
Cliente	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA				Costo al	20/08/2020
Lugar	AREQUIPA - AREQUIPA - AREQUIPA					
Ítem	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.	
01	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>					<b>11.46</b>
01.01	EXCAVACIÓN A NIVEL DE SUB RASANTE	m3	0.50	5.02		2.51
01.02	CARGUÍO DE MATERIAL EXCEDENTE PROCEDENTE DE LA EXCAVACIÓN	m3	0.60	2.27		1.36
01.03	ELIMINACIÓN DE MATERIAL PROCEDENTE DE LA EXCAVACIÓN (D=5KM)	m3	0.60	6.12		3.67
01.04	PERFILADO Y COMPACTADO DE SUB-RASANTE	m2	1.00	3.92		3.92
02	<b>PAVIMENTO</b>					<b>33.72</b>
02.01	SUB BASE GRANULAR E=0.15	m3	0.15	80.56		12.08
02.02	BASE GRANULAR E=0.25	m3	0.25	86.56		21.64
03	<b>CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE E= 0.12m</b>					<b>121.42</b>
03.01	IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA	m2	2.00	4.27		8.54
03.02	PREPARACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE	m3	0.12	581.48		69.78
03.03	COLOCACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA E=0.12 m	m2	2.00	21.55		43.10
<b>Costo Directo</b>						<b>166.60</b>
<b>SON : CIENTO SESENTA Y SEIS CON 60/100 SOLES</b>						

Tabla 68: Presupuesto de Pavimento con mezcla asfáltica convencional  
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra el APU de la preparación de mezcla asfáltica.

Partida	03.02	PREPARACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL				
Rendimiento	m3/DIA	360.0000	EQ. 360.0000	Costo unitario directo por : m3		581.48
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
0101010003	OPERARIO	hh	3.0000	0.0667	24.77	1.65
0101010005	PEON	hh	6.0000	0.1333	17.67	2.36
<b>4.01</b>						
<b>Materiales</b>						
0201040001	PETROLEO D-2	gal		4.0000	11.80	47.20
02010500	ASFALTO PEN 85-100	gal		27.50	13.00	357.50
02070100	PIEDRA CHANCADA 3/4"	m3		0.79	70.00	55.30
02070200	ARENA GRUESA	m3		0.63	65.00	40.95
0207020002	FILLER	kg		101.38	0.65	65.90
<b>566.85</b>						
<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		1.0000	4.01	0.04
030116000	CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 125-135 HP 3 yd3	hm	1.0000	0.0222	177.95	3.95
03013900	PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE M.E. 50,65 - 115 ton/h	hm	1.0000	0.0222	298.51	6.63
<b>10.62</b>						

Tabla 69: Precio Unitario de mezcla asfáltica en caliente convencional  
Fuente: Elaboración propia

## 9.2. PAVIMENTO URBANO CON MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON FIBRAS DE POLIPROPILENO

### 9.2.1. Aporte por m<sup>3</sup> para preparación de Mezcla Asfáltica modificada.

MATERIAL	CANTIDAD EN %	CANTIDAD EN Kg/m <sup>3</sup>	VOLUMEN POR m <sup>3</sup> DE MAC	CANTIDADES PARA UN m <sup>3</sup> DE MAC
Cemento Asfáltico	4.50 %	103.86	0.10	26.90 gal.
Agregado Grueso	49.49 %	1142.13	0.76	0.76 m <sup>3</sup>
Agregado Fino	40.53 %	935.46	0.61	0.61 m <sup>3</sup>
Filler Mineral	4.24 %	97.90	0.04	97.90 kg
Fibras de Polipropileno	1.3 %	30.00	0.03	30.00 kg
TOTAL	100 %	2308.00	1.54	-

Tabla 70: Aporte de materiales por m<sup>3</sup>  
Fuente: Elaboración propia

### 9.2.2. Aporte por m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> para mezcla asfáltica modificada.

MATERIAL	%	PESO DE 1m <sup>2</sup> DE CARPETA Kg/m <sup>2</sup>	VOLUMEN PARA UN m <sup>3</sup> DE MAC SUELTO	VOLUMEN PARA UN m <sup>3</sup> DE MAC COMPACTADO	INSUMOS SUELTOS / 1 m <sup>2</sup> de CARPETA	INSUMOS COMPACTADOS / 1 m <sup>2</sup> de CARPETA
Cemento Asfáltico	4.50 %	12.46	0.10	0.10	3.23 gal.	4.04 gal.
Agregado Grueso	49.49 %	137.07	0.76	0.71	0.09 m <sup>3</sup>	0.10 m <sup>3</sup>
Agregado Fino	40.53 %	112.25	0.61	0.55	0.07 m <sup>3</sup>	0.08 m <sup>3</sup>
Filler Mineral	4.24 %	11.74	0.04	0.04	11.75 kg	14.68 kg
Fibras de polipropileno	1.3 %	3.60	0.03	0.03	3.60 kg	4.50 kg
TOTAL	100 %	283.08	1.54	1.44	-	-

Tabla 71: Aporte por m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> de mezcla asfáltica adicionada con fibras  
Fuente: Elaboración propia

### 9.2.3. Metrado.

<b>METRADO DE PISTA DE PAVIMENTO URBANO – MEZCLA ADICIONADA CON FIBRAS</b>			
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Und.</b>	<b>Metrado</b>
01	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>		
01.01	EXCAVACIÓN A NIVEL DE SUB RASANTE	m3	0.50
01.02	CARGUÍO DE MATERIAL EXCEDENTE PROCEDENTE DE LA EXCAVACIÓN	m3	0.60
01.03	ELIMINACIÓN DE MATERIAL PROCEDENTE DE LA EXCAVACIÓN (D=5KM)	m3	0.60
01.04	PERFILADO Y COMPACTADO DE LA SUB RASANTE	m2	1.00
02	<b>PAVIMENTO</b>		
02.01	SUB BASE GRANULAR	m3	0.15
02.02	BASE GRANULAR	m3	0.25
03	<b>CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE E= 0.12 m</b>		
03.01	IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA	m2	2.00
03.02	PREPARACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL	m3	0.12
03.03	COLOCACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA PARA E=0.12 m	m2	2.00

*Tabla 72: Metrado de Pavimento urbano con mezcla adicionada con fibras  
Fuente: Elaboración propia*

#### 9.2.4. Presupuesto por m2 de Pavimento y m3 de Mezcla Asfáltica.

En las tablas 73 y 74 se muestran el presupuesto del m2 de pavimento y de m3 de mezcla asfáltica en caliente respectivamente.

<b>PRESUPUESTO PAVIMENTO CON MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CON FIBRAS</b>						
Presupuesto	1004002	PRESUPUESTO PISTA PAVIMENTO CON MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON FIBRAS DE POLIPROPILENO				
Cliente	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA			Costo al	20/08/2020	
Lugar	AREQUIPA - AREQUIPA - AREQUIPA					
Ítem	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.	
01	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				<b>11.46</b>	
01.01	EXCAVACIÓN A NIVEL DE SUB RASANTE	m3	0.50	5.02	2.51	
01.02	CARGUÍO DE MATERIAL EXCEDENTE PROCEDENTE DE LA EXCAVACIÓN	m3	0.60	2.27	1.36	
01.03	ELIMINACIÓN DE MATERIAL PROCEDENTE DE LA EXCAVACIÓN (D=5KM)	m3	0.60	6.12	3.67	
01.04	PERFILADO Y COMPACTADO DE SUB-RASANTE	m2	1.00	3.92	3.92	
02	<b>PAVIMENTO</b>				<b>33.72</b>	
02.01	SUB BASE GRANULAR E=0.15	m3	0.15	80.56	12.08	
02.02	BASE GRANULAR E=0.25	m3	0.25	86.56	21.64	
03	<b>CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE E= 0.12 m</b>				<b>191.80</b>	
03.01	IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA	m2	2.00	4.27	8.54	
03.02	PREPARACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE	m3	0.12	1,168.02	140.16	
03.03	COLOCACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA E= 0.12 m	m2	2.00	21.55	43.10	
<b>Costo Directo</b>					<b>236.98</b>	
<b>SON : DOSCIENTOS TREINTA Y SEIS CON 98/100 SOLES</b>						

Tabla 73: Presupuesto de Pavimento con mezcla asfáltica adicionada con fibras de polipropileno  
Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestra el desglose del precio unitario de la preparación de mezcla asfáltica en caliente.

Partida	03.02	<b>PREPARACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON FIBRAS</b>				
Rendimiento	m3/DIA	360.0000	EQ.	360.0000	Costo unitario directo por : m3	1,168.02
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
0101010003	OPERARIO	hh	3.0000	0.0667	24.77	1.65
0101010005	PEON	hh	6.0000	0.1333	17.67	2.36
						<b>4.01</b>
<b>Materiales</b>						
0201040001	PETROLEO D-2	gal		4.0000	11.80	47.20
02010500	ASFALTO PEN 85-100	gal		26.90	13.00	349.70
02070100	PIEDRA CHANCADA 3/4"	m3		0.76	70.00	53.20
02070200	ARENA GRUESA	m3		0.61	65.00	39.65
0207020002	FILLER	kg		97.90	0.65	63.64
0207020002	FIBRAS DE POLIPROPILENO	kg		30.00	20.00	600.00
						<b>1,153.39</b>
<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		1.0000	4.01	0.06
030116000	CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 125-135 HP 3 yd3	hm	1.0000	0.0222	177.95	3.95
03013900	PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE M.E. 50,65 - 115 ton/h	hm	1.0000	0.0222	298.51	6.63
						<b>10.62</b>

Tabla 74: Precio Unitario de mezcla asfáltica en caliente adicionada con fibras  
Fuente: Elaboración propia

Según el presupuesto de costo directo hallado para ambos diseños de mezcla asfáltica en caliente se tiene por metro cuadrado:

- Presupuesto con mezcla asfáltica en caliente convencional: S/. 166.60 / m<sup>2</sup>
- Presupuesto con mezcla asfáltica en caliente adicionada: S/. 236.98 / m<sup>2</sup>

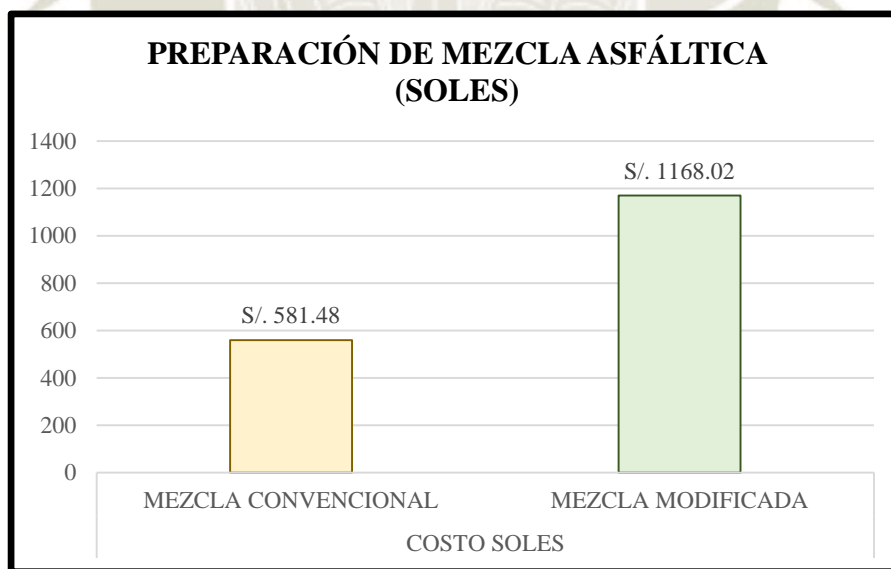
La diferencia entre estos dos presupuestos es de S/. 70.38 / m<sup>2</sup>, lo que representa un incremento del 42% del costo aproximado que se usa actualmente para la pavimentación de vías.

Según el análisis de costos unitarios hallado para ambos diseños de mezcla asfáltica en caliente se tiene por metro cúbico:

- Costo de mezcla asfáltica en caliente convencional: S/. 581.48 / m<sup>3</sup>
- Costo de mezcla asfáltica en caliente adicionada: S/. 1,168.02 / m<sup>3</sup>

La diferencia entre estos dos costos es de S/. 586.54 / m<sup>3</sup>, lo que representa un incremento del doble del costo aproximado que se usa actualmente para la preparación de mezcla asfáltica en caliente.

Estos resultados se muestran en el gráfico 48.

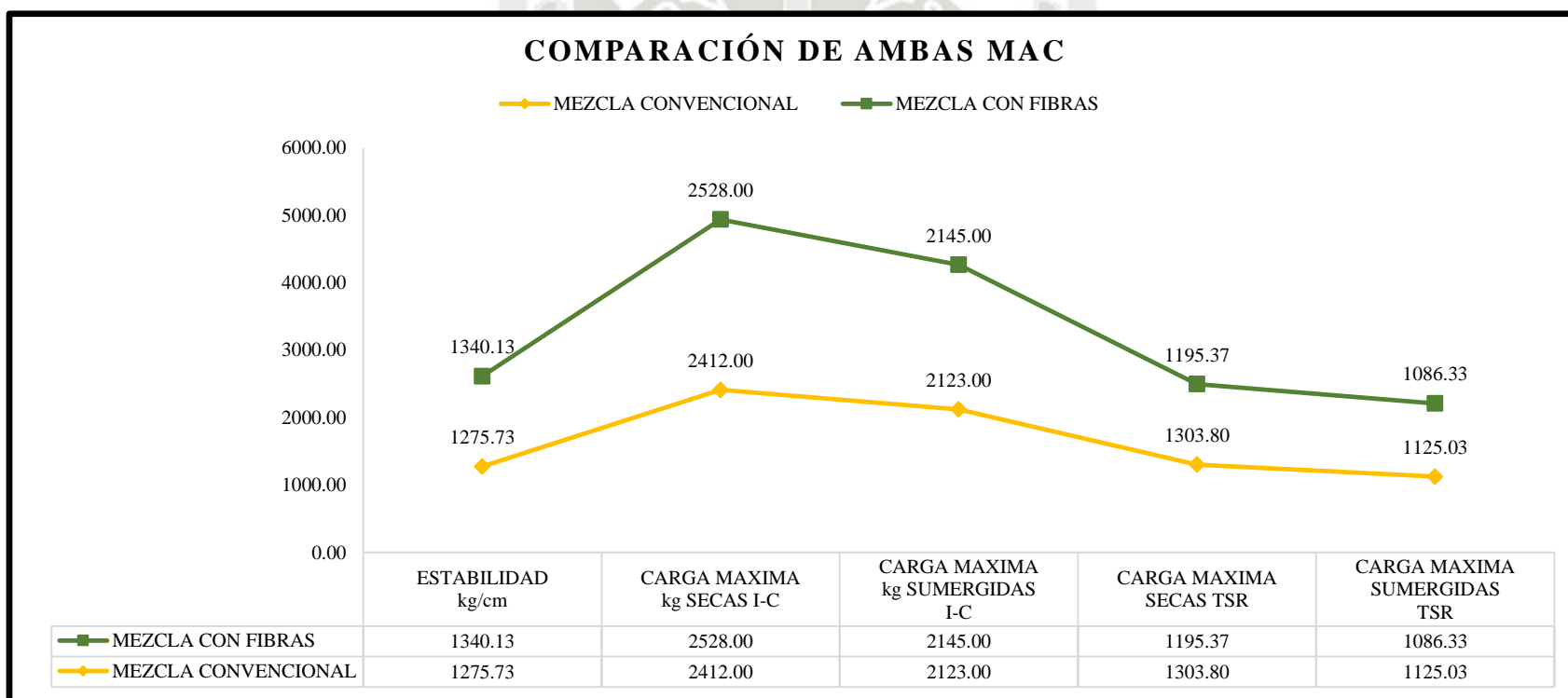


Gráfica 48: Análisis económico de mezclas asfálticas  
Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 49 se muestra una comparación entre ambas mezclas asfálticas en caliente: la convencional y la adicionada con fibras de polipropileno, teniendo como parámetros importantes

de comparación los valores de estabilidad, que representa el valor más importante del ensayo Marshall y los resultados de comportamiento de ambas mezclas frente a condiciones de humedad, es decir, valores de carga máxima antes de fallar del ensayo de inmersión compresión y tracción indirecta TSR.

Dicha comparación representada gráficamente permite observar de manera fácil las mejoras que se obtienen en la mezcla asfáltica en caliente al adicionarle fibras de polipropileno, pues como se ve la línea queda muy por encima de la línea que representa a la mezcla convencional.



*Gráfica 49: Comparación de ambas MAC  
Fuente: Elaboración propia*

## CONCLUSIONES

---

1. Se realizaron dos diseños de mezcla asfáltica en caliente bajo la metodología de diseño Marshall, una mezcla asfáltica en caliente convencional y una mezcla asfáltica en caliente adicionada con fibras de polipropileno con distintas dosificaciones de prueba para ambos diseños, se compararon los resultados y del análisis comparativo se determina que la adición de fibras de polipropileno en reemplazo de una fracción granulométrica en la composición de las mezclas asfálticas presenta notables mejoras en cuanto a propiedades mecánicas respecto a la mezcla asfáltica en caliente convencional, tales como mejor estabilidad, mayor y por consiguiente mejor desempeño por humedad y resistencia a la pérdida por desgaste, todo esto claramente evidenciado en los resultados obtenidos y presentados en los capítulos 5 y 6.
2. Los agregados con los que se diseñaron y elaboraron las mezclas asfálticas provienen de la cantera “La Poderosa” de la ciudad de Arequipa, y antes de ser empleados en las mezclas asfálticas fueron debidamente caracterizados, como resultado de dicha caracterización se concluye que se presentaron resultados óptimos y dentro de los límites establecidos por el Manual de Carreteras del Perú – EG 2013, para requisitos de materiales que conformen una mezcla asfáltica en caliente, cumpliendo satisfactoriamente con todos los ensayos.
3. Se determinó que el contenido óptimo de cemento asfáltico para la mezcla asfáltica en caliente convencional es de 4.5%, y su dosificación final está distribuida con el 50.14% de agregado grueso, el 41.07% de agregado fino, y el 4.30% de filler mineral.
4. Se determinó que para la mezcla adicionada con fibras de polipropileno el contenido óptimo de cemento asfáltico es también de 4.5% con la adición del 1.3% de fibras de polipropileno en reemplazo de una fracción de áridos, y la dosificación de agregados se distribuye en el 49.49% de agregado grueso, el 40.53% de agregado fino y el 4.24% de filler mineral.
5. La adición de fibras de polipropileno a la mezcla asfáltica en caliente se realizó considerando distintos tamaños de fibra, estableciendo finalmente que el tamaño adecuado que satisface las propiedades mecánicas y volumétricas para mezcla asfáltica es de un tercio de fibra, pues resultó ser el único tamaño que cumple con todos los requerimientos normativos establecidos

en el Manual de carreteras del Perú, EG – 2013, además de ser el tamaño de fibra que mejor se acomoda a la composición de la mezcla asfáltica, con un % de vacíos de 4.519% en comparación con los vacíos generados con fibras enteras que fue de 7% y fibras partidas a la mitad de 6.5% que no cumplen con el rango permitido y producían fallas tempranas en los especímenes debido a la cantidad de vacíos que tenía, lo que ocasionaba el desprendimiento de partes considerables de los especímenes incluso antes de ser ensayados.

6. Al realizar el análisis comparativo de los resultados de ambas mezclas; convencional y adicionada con fibras de polipropileno se concluye que la adición de fibras a la mezcla asfáltica mejora las características mecánicas de esta, tales como resultados mayores de los parámetros del ensayo Marshall que se obtuvieron a partir del ensayo estabilidad/flujo y del análisis de propiedades volumétricas, claramente expresados a continuación:
  - 6.1. La mezcla adicionada con fibras de polipropileno tiene un valor de estabilidad de 13.142 KN frente a la mezcla convencional con 12.511 KN, lo que representa un incremento del 5% en la estabilidad equivalente a 64.34 kgf, interpretado como una mejor resistencia a las cargas desarrolladas a 60°C, y una mezcla con mejor cohesión interna por lo tanto más rígida que la convencional y con mejor comportamiento frente al ahuellamiento.
  - 6.2. El flujo en la mezcla convencional es de 13.609 centésimas de pulgada y en la mezcla adicionada se incrementa a 13.766 centésimas de pulgada.
  - 6.3. El porcentaje de vacíos en ambas mezclas se encuentran en el rango establecido y permitido por la EG – 2013, valor comprendido entre el 3 – 5%, en la mezcla convencional es de 4.519% y en la mezcla adicionada de 4.397% lo que implica una disminución del 2.77% de estos, al ser este valor menor en la mezcla adicionada con fibras significa que es menos permeable y esto afecta directamente a su desempeño por humedad.
  - 6.4. El valor de V.M.A. en la mezcla convencional es de 14.172% y en la mezcla adicionada de 17.114%, consideramos esta diferencia como una ventaja en la mezcla adicionada con fibras pues permitiría que el asfalto se acomode en el futuro debido a las cargas producidas por acción del tránsito.

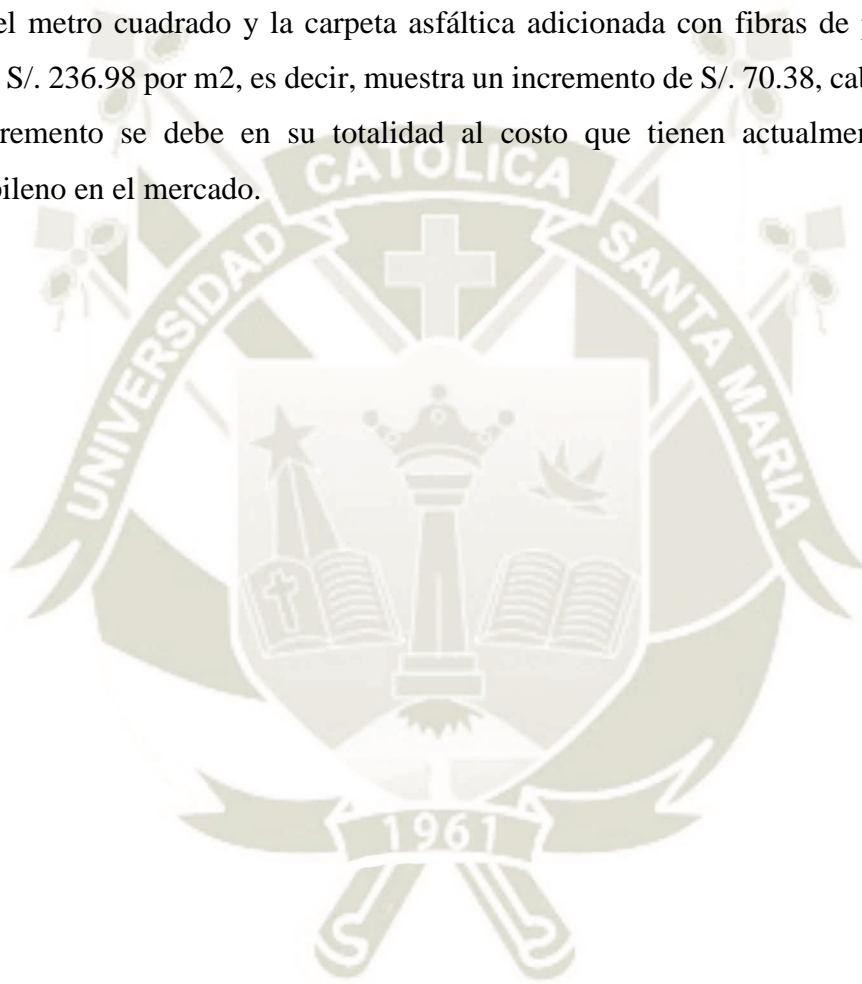
7. En el ensayo de TSR la mezcla asfáltica adicionada con fibras de polipropileno presentó una razón de esfuerzo a tensión del 89.333% frente al 84.071% de la mezcla convencional, ambos cumplen con el requisito establecido por el EG – 2013 que solicita un valor de TSR mayor al 80%, estos resultados se interpretan de forma más clara en los valores de fuerza Tensible obtenidos para cada mezcla, en la mezcla convencional el promedio de esta fuerza Tensible para especímenes secos fue de 1094.790 Kpa y para especímenes saturados de 920.403 Kpa, en la mezcla adicionada con fibras estos valores se incrementan en 1.45% y 7.8% respectivamente, indicando que la mezcla adicionada con fibras tiene menor susceptibilidad al daño por humedad, mayor adherencia entre sus componentes y mejor interacción agregado – asfalto.
8. En el ensayo de inmersión – compresión la mezcla asfáltica adicionada con fibras de polipropileno presentó un índice de resistencia de 88.805% frente al 88.032% de la mezcla asfáltica convencional, la resistencia máxima obtenida de los especímenes secos de la mezcla adicionada fue de 31.18 kgf/cm<sup>2</sup> y de los especímenes sumergidos de 27.69 kgf/cm<sup>2</sup>, valores que representan incrementos de 4.81% y 5.73% respectivamente frente a los resultados obtenidos para la mezcla asfáltica convencional y que representan mejor desempeño de la mezcla adicionada frente a condiciones de humedad.
9. Si bien es cierto que los mayores daños ocasionados o los más evidentes destrozos al pavimento los generaba el agua, o la humedad, hoy se tienen otros elementos aún más nocivos, en los pavimentos actuales la acción de las cargas repetidas se hace una muy notable causa de deterioro temprano, puesto que dichas cargas han aumentado tanto en magnitud como en repetición lo que hace propenso al pavimento a fallar por fatiga y por el efecto de deformación acumulativa. La mezcla asfáltica adicionada con fibras de polipropileno tendría mejor respuesta al desgaste ocasionado por acción de cargas vehiculares sobre el pavimento, que podrían producir disgregación de los componentes de la mezcla, esto se refleja en el 4.38% de desgaste que tiene en comparación con el 6.20% de desgaste obtenido de la mezcla asfáltica convencional.
10. Después de analizar los resultados obtenidos en todos los ensayos que se realizó a cada mezcla asfáltica en caliente, se concluye que la adición de fibras de polipropileno a la mezcla asfáltica

mejora sus propiedades mecánicas, su desempeño por humedad y su resistencia al desgaste, se interpreta a partir de esto, que aquel pavimento que se elabore a partir del diseño de mezcla asfáltica en caliente y adicionado con fibras de polipropileno que se propone en la presente investigación mejorará su resistencia y su vida útil.

11. Es importante considerar diferentes criterios antes de realizar el diseño de mezcla asfáltica, uno de ellos y el más importante es el factor de tránsito, el tener un valor representativo del flujo vehicular de la zona en la que se empleará la mezcla asfáltica diseñada será determinante para obtener un pavimento con una resistencia óptima y que cumpla la vida útil para la que se diseñará, considerando esto se realizó el estudio de tránsito en la Calle Salaverry, que conduce al puente San Martín, la vía más transitada del óvalo de Vallecito, Provincia de Arequipa, Departamento de Arequipa, y se obtuvo un valor de 10 124 162.00 de ejes equivalentes.
12. El diseño que se realizó en el capítulo 8, para determinar los espesores de su base, base y carpeta asfáltica adecuados para el pavimento flexible, dio valores de 25 cm, 15 cm y 12 cm respectivamente, para determinar este último valor correspondiente al espesor de carpeta asfáltica, se tuvo en consideración también el costo que se tendría con cada espesor cuyo número estructural se acercaba al planteado en el diseño, para el tema de procesos constructivos se considera:
  - 12.1. A partir de la fórmula  $e_{capa} \geq 2.5 * D$ , que permite conocer el espesor mínimo de la carpeta asfáltica según el tamaño nominal del agregado con el que se elabore la mezcla asfáltica, se decidió que para esta investigación en la que se obtuvo un espesor de 12 cm, lo más conveniente sería realizar la colocación de carpeta asfáltica en dos capas, cada una de 6 cm. Y que de ejecutarse el pavimentado con estas características se deberán usar rodillo liso vibratorios de 17 ton, el número de pasadas se definiría en el tramo de prueba, verificando que se llegue a la compactación adecuada y se alcancen los resultados obtenidos en laboratorio.
13. La mezcla asfáltica convencional según el análisis económico realizado tiene un costo de S/. 581.48 (Quinientos ochenta y uno con 48/100 soles) el metro cúbico y la mezcla asfáltica adicionada con fibras de polipropileno un costo de S/. 1,168.02 (Mil cientos sesenta y ocho con 02/100 soles) por m<sup>3</sup>, si bien el incremento es de S/. 586.54, este se podría justificar con

las mejoras que obtendría la vía que se pavimentaría con mezcla asfáltica en caliente adicionada con fibras, pues como ya se mencionó las mejoras son a nivel de características mecánicas, desempeño por humedad y pérdida por desgaste, que derivan finalmente en una mejora en la puesta en servicio y mayor vida útil del pavimento.

14. La carpeta asfáltica convencional según el análisis económico realizado tiene un costo de S/. 166.60 el metro cuadrado y la carpeta asfáltica adicionada con fibras de polipropileno, un costo de S/. 236.98 por m<sup>2</sup>, es decir, muestra un incremento de S/. 70.38, cabe mencionar que este incremento se debe en su totalidad al costo que tienen actualmente las fibras de polipropileno en el mercado.



## RECOMENDACIONES

---

1. Si se considerará la inclusión de cualquier tipo de material en la mezcla asfáltica en caliente es importante verificar el porcentaje de vacíos que generen estos, pues es una propiedad volumétrica que influirá de manera importante en la consistencia de la mezcla.
2. En el caso de usar estas fibras en una planta de asfalto, se recomienda que dichas fibras sean incluidas al final en del proceso, con la inyección de cemento asfáltico, ya que las fibras tienen un punto de ablandamiento a  $170^{\circ}\text{C}$  y esta fase del proceso se encuentra relacionada según la carta de viscosidad del cemento asfáltico, el cual en nuestro caso es de  $150^{\circ}\text{C}$ , con lo cual cumpliría con mantener las propiedades de las fibras de polipropileno.
3. Se recomienda para otro tema de investigación hacer un estudio del comportamiento comparando la fibra de polipropileno estriada vs fibra lisa, ya que los resultados pueden variar.
4. Se recomienda hacer una investigación en la cual el porcentaje de fibras de polipropileno este en función del cemento asfáltico y no del peso de áridos, y así comparar la diferencia en los resultados.
5. Según los resultados obtenidos en la presente tesis y en otras tesis ya presentadas, observamos que el porcentaje óptimo de cemento asfáltico obtenido varía con el porcentaje comercial que usan las plantas de asfalto, se recomienda hacer un estudio comparando dichos porcentajes, analizando la variabilidad de este porcentaje.
6. Se recomienda hacer un estudio aplicando el análisis Superpave, ya que se podrían optimizar los espesores obteniendo los valores de módulo dinámico, y así disminuiría el costo de la mezcla asfáltica adicionada con fibras de polipropileno, haciendo más viable y competitivo su uso.
7. Los agregados deben ser los mismos para todos los diseños, pues lo que se busca es realizar una comparación en la que la única variable sea el porcentaje de fibras por adicionar, para ello

- es recomendable comprar u obtener agregados en mayor cantidad que la calculada inicialmente.
8. Para la estimación del material total necesario para la elaboración de la investigación que se vaya a realizar, se debe considerar material adicional solo para los ensayos de caracterización y aparte material que formará parte de la mezcla asfáltica.
  9. El almacenamiento de los materiales, específicamente de los agregados fino, grueso y filler mineral deberá hacerse en un ambiente seco, que permita la conservación inalterada de estos, para obtener resultados apropiados en los ensayos de granulometría y caracterización de agregados en general.
  10. Es importante tener claro el procedimiento del ensayo Marshall, así como las pautas generales del procedimiento de preparación, mezclado, compactación y ensayo de especímenes, debido a que el correcto desarrollo de cada etapa constituye la calidad del producto final, por ende, el resultado que se obtiene está en función de que tan bien se haya elaborado su fabricación.
  11. Se recomienda elaborar 03 especímenes de prueba, estos servirán para aprender y corregir errores que se puedan tener en el proceso de calentar los materiales, mezclarlos, compactarlos, extraerlos y ensayarlos.
  12. Se debe tener especial cuidado al momento de mezclar los materiales manualmente, considerando que se hará uso de una estufa o cocina y que el cemento asfáltico al alcanzar la temperatura de mezclado que es aproximadamente  $150^{\circ}\text{C}$  resulta altamente peligroso si no se trabaja con la debida responsabilidad y cuidado.
  13. Se recomienda el uso de EPPS de alta calidad, debido a que a lo largo del proceso de elaboración de especímenes se estará en contacto con materiales, así como moldes a altas temperaturas.
  14. Para cada ensayo que se realice, se deben fabricar briquetas cuantas veces sea necesario a fin de obtener resultados óptimos que evidencien la obtención de resultados confiables.

15. Se aconseja que las balanzas empleadas sean de precisión, pues hay datos como el % de vacíos que se obtienen a partir de la exactitud del peso de los especímenes.
16. La temperatura solicitada por cada ensayo descrito en el Manual de Ensayos 2016, debe ser precisa, pues tiene gran influencia en los resultados que se obtendrán.
17. Para obtener los resultados presentados e incluso mejorarlos, es necesario asegurar la correcta distribución de las fibras de polipropileno en la mezcla asfáltica en caliente, esto se logra realizando un correcto proceso de mezclado, para lo que es importante calentar las fibras junto con los agregados hasta alcanzar la temperatura de mezclado establecida, y una vez se incorpore el cemento asfáltico, si se realiza el mezclado manual, revolver bien los materiales por los 2 minutos indicados en la norma MTC E – 504.
18. Es importante considerar que al realizar investigaciones referentes a la inclusión de materiales a un diseño convencional o tradicional como es el caso de mezclas asfálticas, se debe primero ensayar el comportamiento de cada material en interacción con los demás materiales que componen la mezcla, es así que se recomienda primero establecer el tamaño, grosor o forma que funciona mejor.
19. Debido a que el ensayo de briquetas implica el uso de equipos, se debe tener conocimiento sobre el funcionamiento de estos, para evitar una mala manipulación y por ende malograr los equipos, se recomienda que las personas que realicen investigaciones y hagan uso de laboratorio, primero reciban una charla sobre cómo usarlos adecuadamente.
20. Si se van a realizar ensayos de desempeño por humedad, se hará uso de equipos, para lo cual se recomienda siempre elaborar 02 especímenes adicionales y ensayarlos primero a fin de verificar que estos equipos estén funcionando de manera correcta.
21. Para los ensayos de desempeño por humedad, se necesita que los especímenes alcancen la temperatura de 60°C antes de ser ensayados, y que hayan permanecido a esta temperatura por al menos dos horas, se recomienda no sumergir juntos todos los especímenes pues estos pasarían el tiempo establecido, y no se realizaría adecuadamente el ensayo. Lo recomendable

es sumergirlos en intervalos de 5 minutos, que es el tiempo aproximado que toma extraer el espécimen, secarlo, colocarlo en el equipo de ensayo, ensayarlo y desecharlo.

22. El desecho de los especímenes ensayados, así como todo material excedente de la mezcla debe hacerse en un depósito adecuado para ser desechado apropiadamente.
23. En la presente tesis se usó para el estudio de tránsito el cálculo del ESAL, se recomienda que se haga el estudio con espectros de carga, ya que es una nueva herramienta y se está implementando en Perú, con dicha herramienta se podrían obtener resultados más reales y optimizar los espesores de la carpeta de rodadura, teniendo así una disminución en el precio final.
24. Para realizar el estudio de tráfico es necesario definir una semana representativa para llevar a cabo el conteo vehicular, y escoger también un buen punto para establecer la toma de datos.
25. Para el estudio de tráfico en ambos sentidos, se recomienda realizar el cálculo de ESALs con el sentido de mayor flujo vehicular, y no con el promedio de ambos sentidos, para así obtener un diseño en el que influya el valor máximo de flujo vehicular en una semana, que representaría la condición más crítica de tránsito.
26. Siempre contar con un botiquín que contenga insumos básicos como alcohol y cremas para quemaduras, por si se presentase algún percance.

## BIBLIOGRAFÍA

---

- Aguilar Velasquez, D. A. (2019). Análisis de desempeño por humedad de una mezcla asfáltica convencional con gradación Marshall y SUPERPAVE. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín.
- Aranda Bohm, J. P. (2017). En *Evaluación de la susceptibilidad al daño por humedad de mezclas asfálticas en caliente utilizando ensayo de TSR*. Chile: Universidad Técnica Federico Santa María.
- Asfáltica Revista Técnica No.8. (2007). Summary report on the aging of asphalt-aggregate systems. México: Transportation Research board 10, .
- Bianchetto, H., Miró, R., & Pérez, F. (2006). Resistencia al envejecimiento de las mezclas bituminosas en caliente: . En *Primera parte: estudios en base al método UCL*.
- Brown, S. &. (1991). The Desing of Pavement and Rail Track Foundations.
- Cal, R., Mayor, R., & Cárdenas, J. G. (2017). *Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones 8va Edición*. México.
- Casafranca Bazán, A. (2016). Estudio de mezcla asfáltica modificada con polímero SBS y su influencia en la . Lima,Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- Chavez Vergara, A. R. (2018). Análisis comparativo entre un pavimento flexible y pavimento rígido en el tramo Mullaca a Chavín, Huaraza . Huaraz, Perú: Universidad César Vallejo.
- Cortes, V. (2012). Análisis del proceso de oxidación del asfalto Colombiano 80/100 EN. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Curo, A. y. (2017). Análisis comparativo de las propiedades físico – mecánicas y parámetros volumétricos de un concreto asfáltico con partículas de polipropileno en porcentajes variables en función al peso de la mezcla asfáltica, elaborados con los agregados de la región Cus. Cusco: Universidad Andina del Cusco.

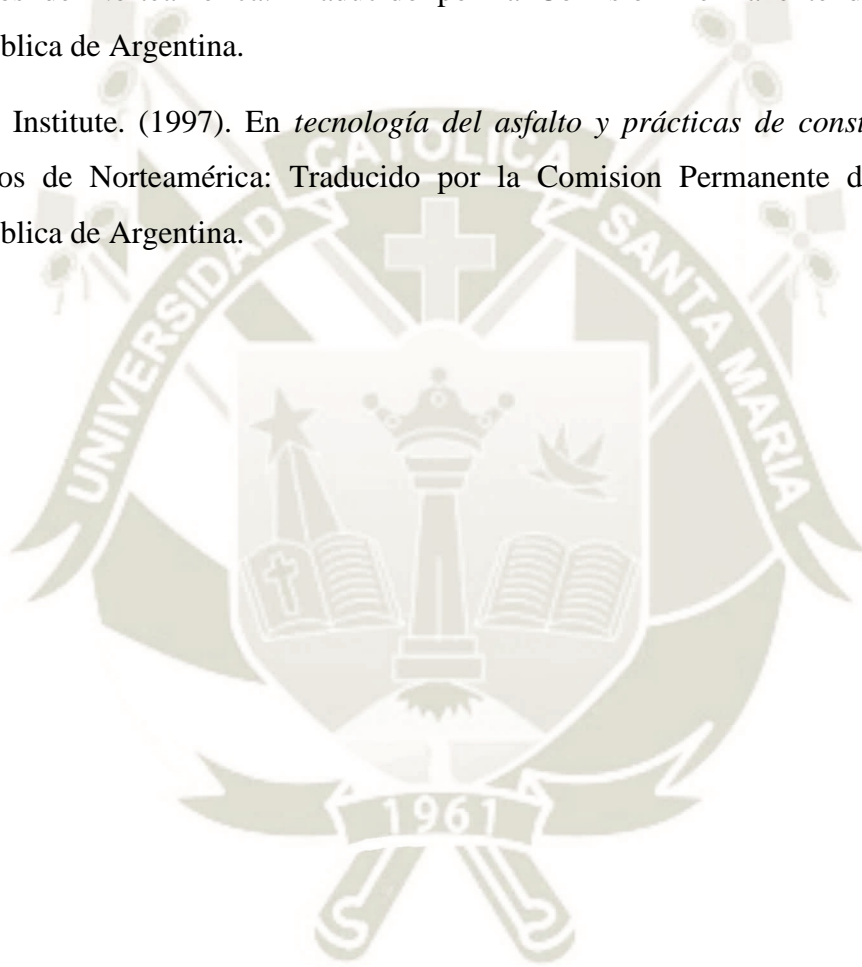
- Ensayo de Inmersión - compresión I.N.V. E – 738 – 07. (s.f.). En *Efecto de la agua sobre la resistencia a la compresión de las mezclas asfálticas compactadas*. Colombia: Instituto Nacional de Vías.
- Ficha técnica Sika® Fiber PP - 48 Fibra de polipropilno para refuerzo del concreto normal. (s.f.). Perú: Sika Perú S.A.
- Figuroa Infante, A. S., & Reyes Lizcano, F. A. (2016). Analisis de la susceptibilidad al daño por humedad de mezclas asfálticas en caliente a partir del ensayo MIST y del programa iPAS 2D. *Revista Infraestructura Vial*.
- Gonzales, C. (2015). En *Fallas en el pavimento flexible de la avenida vía de evitamiento sur*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Higuera, C. (2011). En *Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimento para carreteras*. Tunja.
- Jimenez, C. (2016). Análisis comparativo de la estabilidad y la deformación del pavimento asfáltico con fibras celulósicas y pavimento asfáltico tradicional. . Universidad Técnica De Ambato.
- Kraemer, C. (2009). *Ingeniería de carreteras Vol. I 2da edición*.
- Manual de Ensayo de Materiales. (2016). Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.
- Menendez Acurio, J. R. (2010). *Ingeniería de Pavimentos - Materiales, Diseño y Conservación*.
- Michael, M. S., & Zaniewski, J. P. (2009). *Materiales para Ingeniería civil*. España: 2da edición.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de Carreteras - sección Suelos y Pavimentos*. Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC. (2013). En *Manual de Carreteras. Especificaciones técnicas generales para construcción EG 2013*. Lima - Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Miranda Rebolledo, J. (2010). En *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos* (pág. 3). Valdivia - Chile: Universidad Austral de Chile.

- MOPC, M. d. (2016). En *Identificación de fallas en pavimentos y técnicas de reparación*. República Dominicana.
- Noreña Valverde, N. (2008). determinación de la perdida de adhesividad por tracción.
- Pacífico Torres, B., & Perez Burgos, D. (2017). Diseño de pavimento flexible para mejorar la transitabilidad vehicular y peatonal en el AA.HH. ampliación Tupac Amaru, distrito de Chiclayo, provincia Chiclayo, región Lambayeque. Chiclayo, Perú: Universidad César Vallejos.
- Peréz, G. (2012). Métodos prácticos para determinar la sensibilidad al agua en las mezclas asfálticas. México: Revista vías terrestres edición No 16.
- Pilares Calla, C. A. (2018). En *Análisis del comportamiento de mezclas asfálticas en caliente con fibras de polipropileno incorporada para condiciones de zonas de altura*. Lima - Perú: Universidad San Ignacio de Loyola.
- Pinedo Diaz, D., & Vaca Lopez, R. (2018). En *Efecto de la fibra de polipropileno en el comportamiento de la mezcla asfáltica*. Trujillo - Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- Rondón , H., Reyes, F., Gonzales, L., & Vasquez , S. (2012). En *Ahuellamiento y fatiga en mezclas asfálticas (colecciones tierra y vida)*. Bogotá D.C. Colombia: Ecoe ediciones Ltda.
- Sarmiento Otárola, M. A. (2012). Estudio del comportamiento de una mezcla asfáltica fabricada con emulsión. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia .
- The Asphalt Institute. (1973). Manual del Asfalto. Estados Unidos de Norteamérica: Ediciones Urmo, Bilbao.
- The Asphalt Institute. (1997). En *tecnología del asfalto y prácticas de construcción*. Estados Unidos de Norteamérica: Traducido por la Comisión Permanente del Asfalto de la República de Argentina.
- The Asphalt Institute MS-22. (1992). En *Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Cap 3* (pág. 57). Estados Unidos: Asphalt Institute.
- Transporte., Secretaria de Comunicaciones y Transportes del Instituto Mexicano del. (2018). Manual de Ensayos. Sanfandila, Queretaro, Mexico: Publicación Técnica.

Z. Basto, J. A. (2016). Comparación del comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica tipo mdc-19 adicionada con fibras de terlenka y una mezcla asfáltica convencional. Variable: adición tipo grano”. Bogotá: Fuerzas militares de Colombia Ejército Nacional, Escuela de Ingenieros Militares, Departamento de Investigaciones.

The Asphalt Institute. (1997). En *tecnología del asfalto y prácticas de construcción*. Estados Unidos de Norteamérica: Traducido por la Comision Permanente del Asfalto de la República de Argentina.

The Asphalt Institute. (1997). En *tecnología del asfalto y prácticas de construcción*. Estados Unidos de Norteamérica: Traducido por la Comision Permanente del Asfalto de la República de Argentina.



## ANEXOS

---

**Anexo 1:** Resultados de ensayos de laboratorio – Caracterización de Agregado Grueso

**Anexo 2:** Resultados de ensayos de laboratorio – Caracterización de Agregado Fino

**Anexo 3:** Dosificación de Briquetas por Tamices para Mezcla Convencional y Modificada

**Anexo 4:** Resultados de ensayos de laboratorio – Ensayos Marshall

**Anexo 5:** Ficha técnica y carta de viscosidad de cemento asfáltico 85/100PEN de PETROPERÚ

**Anexo 6:** Ficha técnica de las fibras de polipropileno – SIKAFIBER PP – 48 de SIKA PERÚ

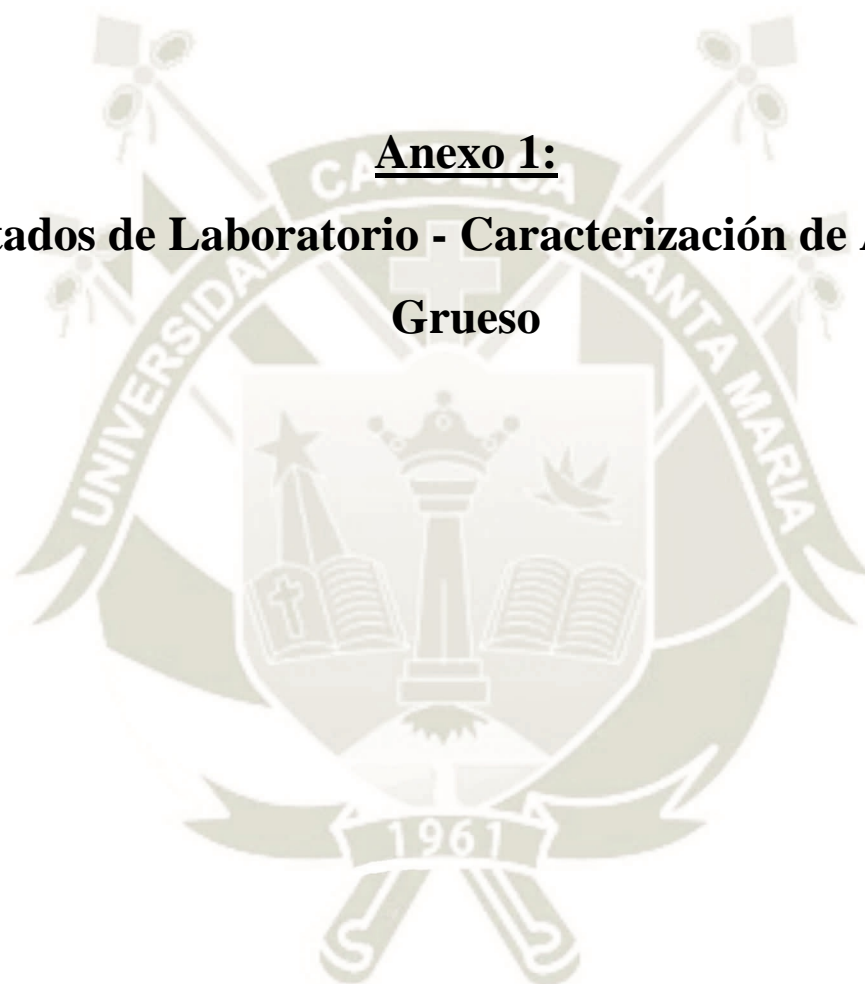
**Anexo 7:** Ficha técnica del polvo de roca – CARPETEK de ROCATECH

**Anexo 8:** Conteo de vehículos para el diseño de pavimento urbano

**Anexo 9:** Metrados y Análisis de Precios Unitarios

**Anexo 10:** Estudio de suelos de la obra “Rehabilitación post-desastre del servicio de transitabilidad vehicular en el sector de la av. Alfonso Ugarte (0.00 – 208) av. Felipe Salaverry (la marina al Óvalo de vallecito) av. virgen del pilar (by pass de Venezuela con Paucarpata), calle bouroncle Umacollo av. parra (Puente Bolívar y alameda Mario Vargas Llosa), distrito de Arequipa, provincia de Arequipa – Arequipa”

**Anexo 1:**  
**Resultados de Laboratorio - Caracterización de Agregado  
Grueso**



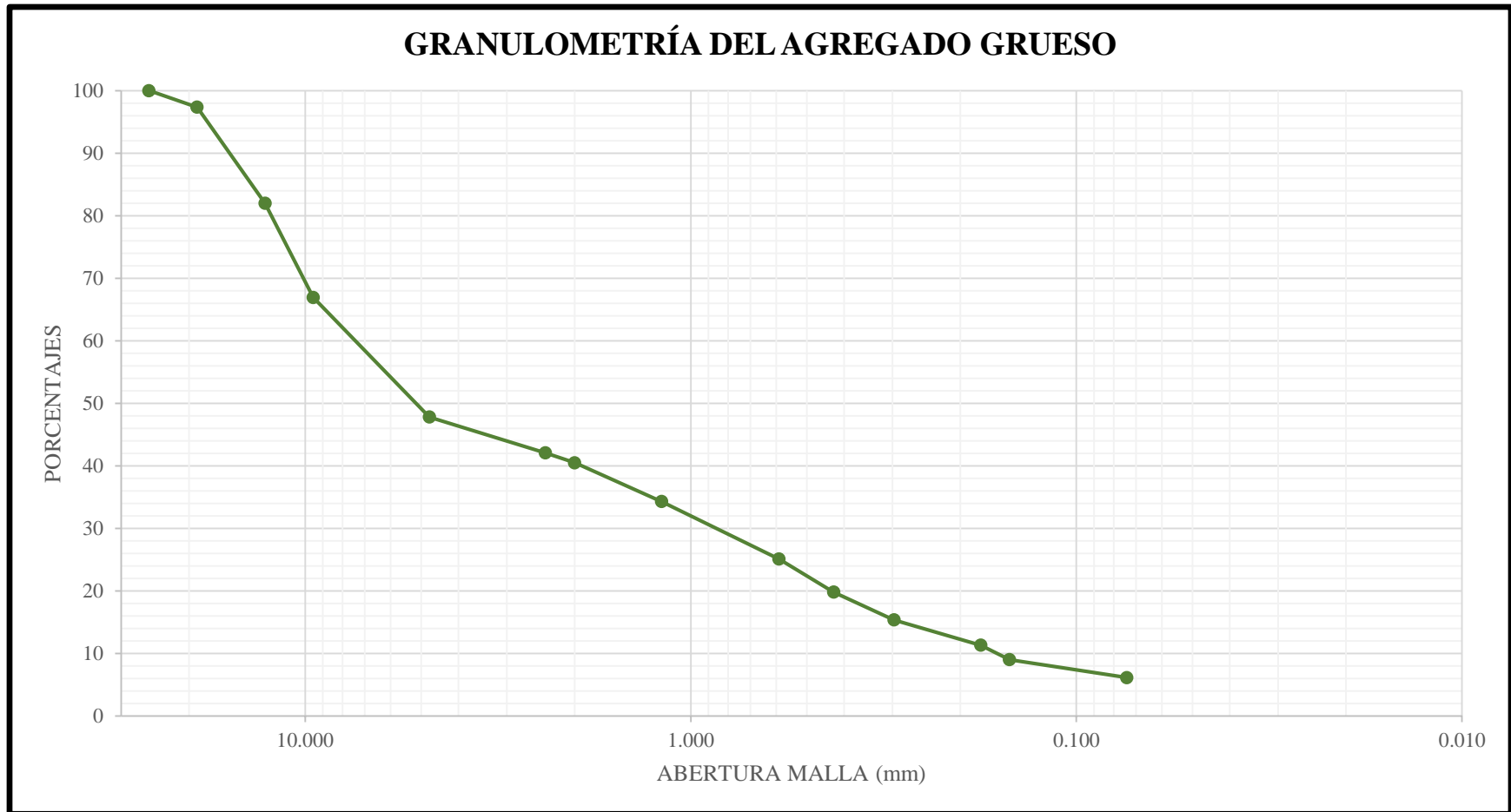


**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE SANTA MARÍA**



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – AGREGADO GRUESO**

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO		MUESTRA 1			MUESTRA 2			MUESTRA 3			PROMEDIO		
		PESO INICIAL	(Pi-Pf)%		PESO INICIAL	(Pi-Pf)%		PESO INICIAL	(Pi-Pf)%				
		8012.00	0.21%		7975.00	0.25%		7379.00	0.26%				
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	%PESO RETENIDO	% PASANTE	PESO RETENIDO (g)	%PESO RETENIDO	% PASANTE	PESO RETENIDO (g)	%PESO RETENIDO	% PASANTE	PESO RETENIDO (g)	% PESO RETENIDO	% PASANTE
1"	25.400	0.00	0.00%	100.00%	0.00	0.00%	100.00%	0.00	0.00%	100.00%	0.00	0.00%	100.00%
3/4"	19.050	408.00	5.10%	94.90%	453.00	5.69%	94.31%	318.00	4.32%	95.68%	393.00	5.04%	94.96%
1/2"	12.700	2291.00	28.66%	66.24%	2342.00	29.44%	64.86%	2190.00	29.76%	65.92%	2274.33	29.28%	65.68%
3/8"	9.525	2274.00	28.44%	37.80%	2153.00	27.06%	37.80%	2240.00	30.43%	35.49%	2222.33	28.65%	37.03%
N° 4	4.760	2851.00	35.66%	2.14%	2855.00	35.89%	1.91%	2495.00	33.90%	1.59%	2733.67	35.15%	1.88%
N° 8	2.380	171.00	2.14%	0.00%	152.00	1.91%	0.00%	117.00	1.59%	0.00%	146.67	1.88%	0.00%
N° 10	2.000	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%
N° 16	1.190	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%
N° 30	0.590	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%
N° 40	0.426	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%
N° 50	0.297	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%
N° 80	0.177	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%
N° 100	0.149	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%
N° 200	0.074	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%
FONDO	0.00	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%
<b>TOTAL</b>		<b>7995.00</b>	<b>100.00%</b>		<b>7955.00</b>	<b>100.00%</b>		<b>7360.00</b>	<b>100.00%</b>		<b>7770.00</b>	<b>100.00%</b>	





LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE SANTA MARÍA



**DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO – AGREGADO GRUESO**

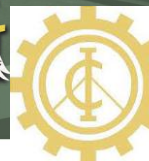
MUESTRA 1	MALLA QUE PASA	MALLA RETENIDA	PESO ORIGINAL	GRADACIÓN ORIGINAL	PESO DE LA FRACCIÓN	PESO RETENIDO DESPUÉS DEL ENSAYO	PÉRDIDA TOTAL	% PÉRDIDAS CORREGIDAS
	1	3/4	694.0	3.29%				
3/4	1/2	8310.0	39.34%	906.97	905.4	0.17%	0.07%	
1/2	3/8	5575.0	26.39%	474.19	471.91	0.48%	0.13%	
3/8	N 4	6544.0	30.98%	544.06	542.3	0.32%	0.10%	
		21123.0						0.30%

MUESTRA 2	MALLA QUE PASA	MALLA RETENIDA	PESO ORIGINAL	GRADACIÓN ORIGINAL	PESO DE LA FRACCIÓN	PESO RETENIDO DESPUÉS DEL ENSAYO	PÉRDIDA TOTAL	% PÉRDIDAS CORREGIDAS
	1	3/4	694.0	3.29%				
3/4	1/2	8310.0	39.34%	938.68	937.41	0.14%	0.05%	
1/2	3/8	5575.0	26.39%	473.43	472.1	0.28%	0.07%	
3/8	N 4	6544.0	30.98%	537.46	534.86	0.48%	0.15%	
		21123.0						0.28%

MUESTRA 3	MALLA QUE PASA	MALLA RETENIDA	PESO ORIGINAL	GRADACIÓN ORIGINAL	PESO DE LA FRACCIÓN	PESO RETENIDO DESPUÉS DEL ENSAYO	PÉRDIDA TOTAL	% PÉRDIDAS CORREGIDAS
	1	3/4	694.0	3.29%				
3/4	1/2	8310.0	39.34%	909.23	907.62	0.18%	0.07%	
1/2	3/8	5575.0	26.39%	473.03	471.64	0.29%	0.08%	
3/8	N 4	6544.0	30.98%	479.74	475.82	0.82%	0.25%	
		21123.0						0.40%

PROMEDIO

0.32 %



### ABRASIÓN – AGREGADO GRUESO

ENSAYO DE ABRASIÓN	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO
AGREGADO 1/2" (g)	2505	2505	2505	
AGREGADO 3/8" (g)	2505	2505	2505	
TOTAL (g)	5010	5010	5010	
PESO RETENIDO TAMIZ N° 12 (g)	4177.5	4287.5	4235.5	
PESO PASANTE TAMIZ N° 12 (g)	832.5	722.5	778	
PORCENTAJE PESO RETENIDO	16.62%	14.42%	15.46%	15.50%
PORCENTAJE PESO PASANTE	83.38%	85.58%	84.47%	84.48%
<b>PORCENTAJE DE DESGASTE</b>	16.62%	14.42%	15.46%	<b>15.50 %</b>

### ÍNDICE DE DURABILIDAD – AGREGADO GRUESO

AGREGADO GRUESO	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO
ALTURA DE SEDIMENTACIÓN mm	0.80	0.70	0.75	
ALTURA DE SEDIMENTACIÓN pulg	0.03	0.03	0.03	
<b>ÍNDICE DE DURABILIDAD</b>	98.82	98.96	98.89	<b>98.89 %</b>

### ADHERENCIA DEL AGREGADO GRUESO

TAMICES		PESO MUESTRA (g)	MASA (CEMENTO ASFÁLTICO) (g)	ADHERENCIA (inspección visual)
PASA	RETIENE			
3/8"	1/4"	100.0	5.7	100
3/8"	1/4"	100.2	5.6	99
3/8"	1/4"	100.5	5.8	98
<b>PROMEDIO</b>				<b>99</b>



**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE SANTA MARÍA**



**PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS – AGREGADO GRUESO**

MUESTRA 1		PESO TOTAL RETENIDO EN MALLAS	PARTÍCULAS CHATAS	PARTÍCULAS ALARGADAS	NI CHATAS NI ALARGADAS	TOTAL	PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS	% PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS	ESCALA ORIGINAL	% CHATAS Y ALARGADAS
		A'	B1	B2	B3	A=B1+B2+B3	B=B1+B2	C=B/A*100	D	E=C*D
<b>PASA</b>	<b>RETIENE</b>									
1"	3/4"									
3/4"	1/2"	1381.5	82.5	10.5	1288.5	1381.5	93	6.73	60.27%	4.057
1/2"	3/8"	606.5	24.5	14	568	606.5	38.5	6.35	26.46%	1.679
3/8"	N° 4	304.5	8	3	293	304	11	3.62	13.26%	0.479
<b>SUMATORIA</b>		2292.50	115.00	27.50	2149.50	2292.00	142.50			6.22

MUESTRA 2		PESO TOTAL RETENIDO EN MALLAS	PARTÍCULAS CHATAS	PARTÍCULAS ALARGADAS	NI CHATAS NI ALARGADAS	TOTAL	PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS	% PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS	ESCALA ORIGINAL	% CHATAS Y ALARGADAS
		A'	B1	B2	B3	A=B1+B2+B3	B=B1+B2	C=B/A*100	D	E=C*D
<b>PASA</b>	<b>RETIENE</b>									
1"	3/4"									
3/4"	1/2"	1306	85.5	9.5	1211.5	1306.5	95	7.27	56.40%	4.101
1/2"	3/8"	660.5	43.5	4	613.5	661	47.5	7.19	28.53%	2.051
3/8"	N° 4	349	13.5	9	326.5	349	22.5	6.45	15.07%	0.971
<b>SUMATORIA</b>		2315.50	142.50	22.50	2151.50	2316.50	165.00			7.12

MUESTRA 3		PESO TOTAL RETENIDO EN MALLAS	PARTÍCULAS CHATAS	PARTÍCULAS ALARGADAS	NI CHATAS NI ALARGADAS	TOTAL	PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS	% PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS	ESCALA ORIGINAL	% CHATAS Y ALARGADAS
		A'	B1	B2	B3	A=B1+B2+B3	B=B1+B2	C=B/A*100	D	E=C*D
<b>PASA</b>	<b>RETIENE</b>									
1"	3/4"									
3/4"	1/2"	1342.65	82.50	10.00	1250.15	1342.65	92.5	6.89	58.19%	4.01
1/2"	3/8"	630.25	31.00	8.50	590.75	630.25	39.5	6.27	27.31%	1.71
3/8"	N° 4	334.60	11.50	6.60	316.50	334.6	18.1	5.41	14.50%	0.78
<b>SUMATORIA</b>		2307.50	125.00	25.10	2157.40	2307.50	150.10			6.50

<b>PROMEDIO</b>										<b>6.61</b>
-----------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------


**CARAS FRACTURADAS – AGREGADO GRUESO**
**UNA CARA FRACTURADA**

MUESTRA 1		PESO TOTAL RETENIDO EN MALLAS A	PESO DE MATERIAL B	% CARAS FRACTURADAS C=B/A*100	ESCALA ORIGINAL D	% DE CARAS FRACTURADAS E=C*D
<b>TAMICES</b>						
<b>PASA</b>	<b>RETIENE</b>	<b>1 a más</b>				
1"	3/4"	57	41.5	72.81	3.32%	2.42
3/4"	1/2"	862	775.5	89.97	50.22%	45.18
1/2"	3/8"	582	522	89.69	33.91%	30.41
3/8"	N° 4	215.5	184.5	85.61	12.55%	10.75
<b>SUMATORIA</b>		1716.50	1523.50	338.08	100.00%	88.76
<b>PONCENTAJE DE CARAS FRACTURAS DE 1 A MÁS</b>						88.76
MUESTRA 2		PESO TOTAL RETENIDO EN MALLAS A	PESO DE MATERIAL B	% CARAS FRACTURADAS C=B/A*100	ESCALA ORIGINAL D	% DE CARAS FRACTURADAS E=C*D
<b>TAMICES</b>						
<b>PASA</b>	<b>RETIENE</b>	<b>1 a más</b>				
1"	3/4"	67	67	100.00	3.68%	3.68
3/4"	1/2"	908.5	805.5	88.66	49.95%	44.28
1/2"	3/8"	627	530.5	84.61	34.47%	29.16
3/8"	N° 4	216.5	182	84.06	11.90%	10.01
<b>SUMATORIA</b>		1819.00	1585.00	357.34	100.00%	87.14
<b>PORCENTAJE DE CARAS FRACTURAS DE 1 A MÁS</b>						87.14
MUESTRA 3		PESO TOTAL RETENIDO EN MALLAS A	PESO DE MATERIAL B	% CARAS FRACTURADAS C=B/A*100	ESCALA ORIGINAL D	% DE CARAS FRACTURADAS E=C*D
<b>TAMICES</b>						
<b>PASA</b>	<b>RETIENE</b>	<b>1 a más</b>				
1"	3/4"	62	56	90.32	3.51%	3.17
3/4"	1/2"	885.25	790.5	89.30	50.08%	44.72
1/2"	3/8"	604.5	526.25	87.06	34.20%	29.77
3/8"	N° 4	216	183.25	84.84	12.22%	10.37
<b>SUMATORIA</b>		1767.75	1554.25	351.51	100.00%	88.02
<b>PORCENTAJE CARAS FRACTURAS 1 A MÁS</b>						88.02
<b>PROMEDIO</b>						<b>87.97 %</b>



**CARAS FRACTURADAS – AGREGADO GRUESO**

**DOS CARAS FRACTURADAS**

MUESTRA 1		PESO TOTAL RETENIDO EN MALLAS	PESO DE MATERIAL	% CARAS FRACTURADAS	ESCALA ORIGINAL	% DE CARAS FRACTURADAS
		A	B	$C=B/A*100$	D	$E=C*D$
<b>TAMICES</b>						
<b>PASA</b>	<b>RETIENE</b>	2 a más				
1"	3/4"	57	10	17.54	3.32%	0.58
3/4"	1/2"	862	618.5	71.75	50.22%	36.03
1/2"	3/8"	582	335.5	57.65	33.91%	19.55
3/8"	N° 4	215.5	149.5	69.37	12.55%	8.71
<b>SUMATORIA</b>		1716.50	1113.50	216.32	100.00%	64.87
<b>PORCENTAJE CARAS FRACTURAS 2 A MÁS</b>						64.87

MUESTRA 2		PESO TOTAL RETENIDO EN MALLAS	PESO DE MATERIAL	% CARAS FRACTURADAS	ESCALA ORIGINAL	% DE CARAS FRACTURADAS
		A	B	$C=B/A*100$	D	$E=C*D$
<b>TAMICES</b>						
<b>PASA</b>	<b>RETIENE</b>	2 a más				
1"	3/4"	67	58.5	87.31	3.68%	3.22
3/4"	1/2"	908.5	517.6	56.97	49.95%	28.46
1/2"	3/8"	627	342.5	54.63	34.47%	18.83
3/8"	N° 4	216.5	154.5	71.36	11.90%	8.49
<b>SUMATORIA</b>		1819.00	1073.10	270.27	100.00%	58.99
<b>PORCENTAJE CARAS FRACTURAS 2 A MÁS</b>						58.99

MUESTRA 3		PESO TOTAL RETENIDO EN MALLAS	PESO DE MATERIAL	% CARAS FRACTURADAS	ESCALA ORIGINAL	% DE CARAS FRACTURADAS
		A	B	$C=B/A*100$	D	$E=C*D$
<b>TAMICES</b>						
<b>PASA</b>	<b>RETIENE</b>	1 a más				
1"	3/4"	62	45.6	73.55	3.51%	2.58
3/4"	1/2"	885.25	568.05	64.17	50.08%	32.13
1/2"	3/8"	604.5	339	56.08	34.20%	19.18
3/8"	N° 4	216	152	70.37	12.22%	8.60
<b>SUMATORIA</b>		1767.75	1093.3	264.17	100.00%	62.49
<b>PORCENTAJE CARAS FRACTURAS 2 A MÁS</b>						62.49

<b>PROMEDIO</b>						<b>62.12 %</b>
-----------------	--	--	--	--	--	----------------



LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE SANTA MARÍA



**SALES SOLUBLES TOTALES – AGREGADO GRUESO**

AGREGADO GRUESO		MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6	PROMEDIO
PESO MUESTRA SECA (g)	A	500.3	500.3	500.54	500.54	500.8	500.8	
VOLUMEN LIQUIDOS (ml)	B	690	690	799	799	766	766	
ALICUOTA (ml)	C	75	75	75	75	75	75	
SALES + POSILLO (g)		124.54	106.86	123.92	111.49	118.13	114.1	
POSILLO (g)		124.52	106.84	123.9	111.46	118.11	114.08	
MASA FINAL SALES (g)	D	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	
<b>SALES SOLUBLES</b>	$100/(((C*A)/(D*B))-1)$	0.0000077 %	0.0000077%	0.0000067 %	0.0000100 %	0.0000070 %	0.0000070 %	<b>0.00001%</b>

**PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN – AGREGADO GRUESO**

PESO ESPECIFICO Y ABRSORCION DE AG		MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO
PESO SUPERFICIE SECA	A	3439.00	3234.50	3968.00	
SUMERGIDO	B	2165.00	2046.50	2503.50	
PESO SECO	D	3411.50	3205.50	3932.50	
<b>PESO ESPECIFICO DE MASA</b>	Pem	2.68	2.70	2.69	<b>2.68708</b>
<b>PESO ESPECIFICO SATURADO</b>	Pess	2.70	2.72	2.71	<b>2.71049</b>
<b>PESO ESPECIFICO APARENTE</b>	Pea	2.74	2.77	2.75	<b>2.75151</b>
<b>ABSORCION</b>	Ab	0.81	0.90	0.90	<b>0.87118</b>



LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE SANTA MARÍA

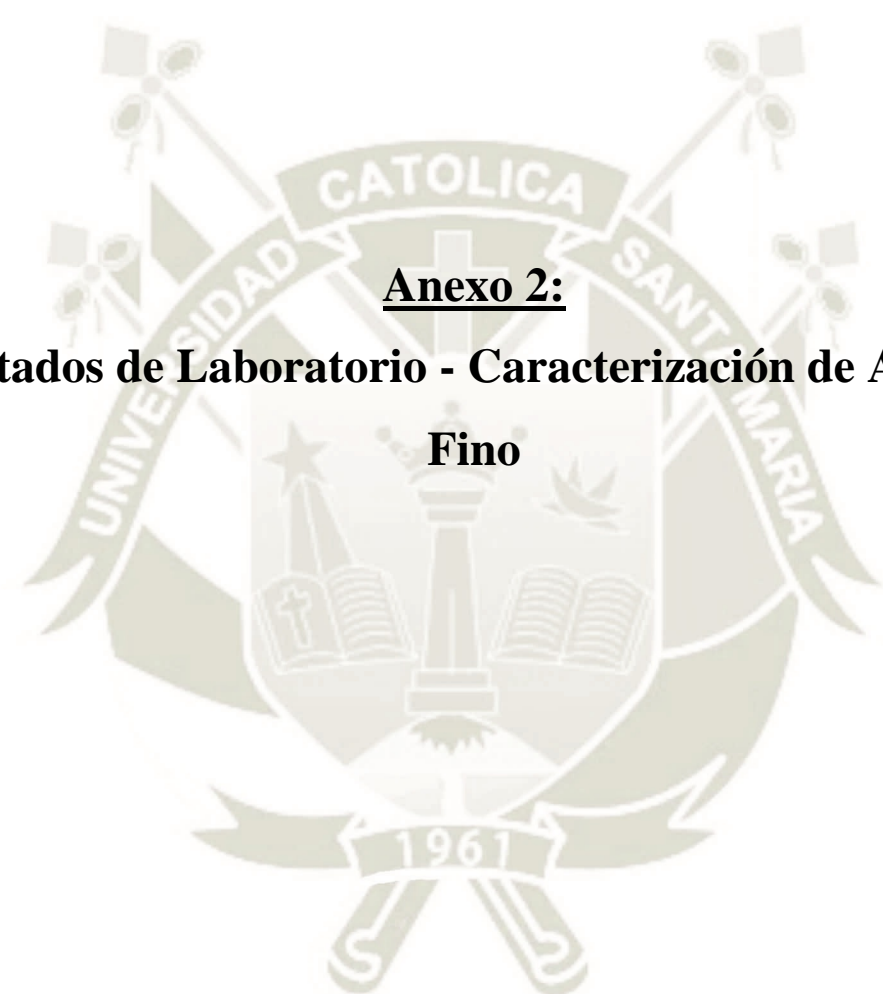


**PESO UNITARIO SUELTO – AGREGADO GRUESO**

PESO UNITARIO SUELTO DE AG		MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO
RECIPIENTE + AGREGADO	kg	19.42	19.54	19.48	
PESO RECIPIENTE	kg	5.2	5.2	5.2	
PESO AGUA	g	9470	9470	9470	
VOLUMEN RECIPIENTE	ml	9485.08128	9485.08128	9485.08128	
VOLUMEN RECIPIENTE	M3	0.00948508	0.00948508	0.00948508	
<b>PESO UNITARIO</b>	kg/m3	1499.20	1511.85	1505.52	<b>1505.52</b>

**PESO UNITARIO COMPACTADO – AGREGADO GRUESO**

PESO UNITARIO COMPACTADO DE AG		MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO
RECIPIENTE + AGREGADO	kg	20.73	20.8	20.8	
PESO RECIPIENTE	kg	5.2	5.2	5.2	
PESO AGUA	g	9470	9470	9470	
VOLUMEN RECIPIENTE	ml	9485.08128	9485.08128	9485.08128	
VOLUMEN RECIPIENTE	M3	0.00948508	0.00948508	0.00948508	
<b>PESO UNITARIO</b>	kg/m3	1637.31	1644.69	1644.69	<b>1642.23</b>



**Anexo 2:**  
**Resultados de Laboratorio - Caracterización de Agregado**

**Fino**

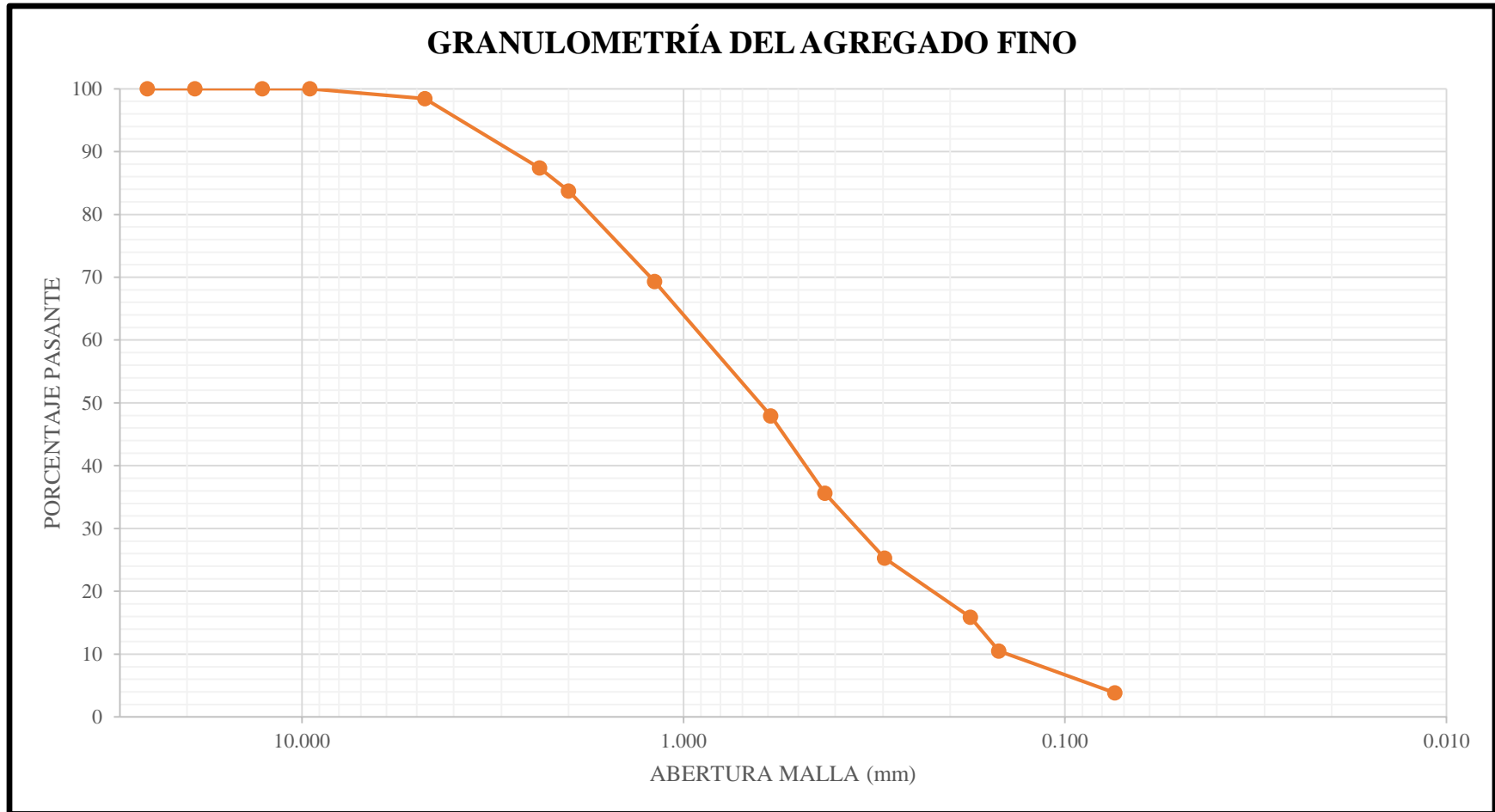


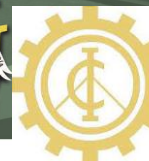
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE SANTA MARÍA**



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – AGREGADO FINO**

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO		MUESTRA 1			MUESTRA 2			MUESTRA 3			PROMEDIO		
		PESO INICIAL	(Pi-Pf)%		PESO INICIAL	(Pi-Pf)%		PESO INICIAL	(Pi-Pf)%				
		1394.87	0.18%		1218.22	0.09%		1664.21	0.14%				
TAMIZ	ABERTUR A (mm)	PESO RETENIDO (g)	%PESO RETENIDO	% PASANTE	PESO RETENIDO (g)	%PESO RETENIDO	% PASANTE	PESO RETENIDO (g)	%PESO RETENIDO	% PASANTE	PESO RETENIDO (g)	%PESO RETENIDO	% PASANTE
1"	25.400	0.00	0.00%	100.00%	0.00	0.00%	100.00%	0.00	0.00%	100.00%	0.00	0.00%	100.00%
3/4"	19.050	0.00	0.00%	100.00%	0.00	0.00%	100.00%	0.00	0.00%	100.00%	0.00	0.00%	100.00%
1/2"	12.700	0.00	0.00%	100.00%	0.00	0.00%	100.00%	0.00	0.00%	100.00%	0.00	0.00%	100.00%
3/8"	9.525	0.00	0.00%	100.00%	0.00	0.00%	100.00%	0.00	0.00%	100.00%	0.00	0.00%	100.00%
N° 4	4.760	20.95	1.50%	98.50%	19.28	1.58%	98.42%	27.90	1.68%	98.32%	22.71	1.59%	98.41%
N° 8	2.380	154.24	11.08%	87.42%	120.56	9.91%	88.51%	201.95	12.15%	86.17%	158.92	11.04%	87.37%
N° 10	2.000	51.35	3.69%	83.73%	39.16	3.22%	85.29%	68.11	4.10%	82.07%	52.87	3.67%	83.70%
N° 16	1.190	201.60	14.48%	69.25%	165.51	13.60%	71.69%	250.55	15.08%	67.00%	205.89	14.38%	69.31%
N° 30	0.590	297.32	21.35%	47.90%	258.54	21.24%	50.45%	359.46	21.63%	45.37%	305.11	21.41%	47.91%
N° 40	0.426	167.18	12.01%	35.89%	155.19	12.75%	37.70%	201.55	12.13%	33.24%	174.64	12.30%	35.61%
N° 50	0.297	138.78	9.97%	25.92%	133.41	10.96%	26.74%	167.04	10.05%	23.19%	146.41	10.33%	25.28%
N° 80	0.177	128.86	9.25%	16.67%	120.43	9.89%	16.84%	151.07	9.09%	14.10%	133.45	9.41%	15.87%
N° 100	0.149	77.86	5.59%	11.07%	68.84	5.66%	11.19%	80.90	4.87%	9.23%	75.87	5.37%	10.50%
N° 200	0.074	96.50	6.93%	4.14%	84.95	6.98%	4.21%	100.78	6.06%	3.17%	94.08	6.66%	3.84%
FONDO	0.00	57.70	4.14%	0.00%	51.23	4.21%	0.00%	52.64	3.17%	0.00%	53.86	3.84%	0.00%
<b>TOTAL</b>		1392.34	100.00%		1217.10	100.00%		1661.95	100.00%		1423.80	100.00%	




**EQUIVALENTE DE ARENA – AGREGADO FINO**

MUESTRA - 1	M-1	M-2	M-3
INICIO PERIODO HUMEDECIMIENTO	10:01	10:03	10:05
FIN PERIODO HUMEDECIMIENTO	10:11	10:13	10:15
INICIO PERIODO SEDIMENTACIÓN	10:13	10:16	10:18
FIN PERIODO SEDIMENTACIÓN	10:33	10:36	10:38
ALTURA ARCILLA (cm)	4.50	4.50	4.30
ALTURA ARENA (cm)	3.70	3.70	3.50
EQUIVALENTE DE ARENA	82.22	82.22	81.40
<b>PROMEDIO DE EQUIVALENTE DE ARENA</b>			81.95

MUESTRA - 2	M-1	M-2	M-3
INICIO PERIODO HUMEDECIMIENTO	11:08	11:10	11:12
FIN PERIODO HUMEDECIMIENTO	11:18	11:20	11:22
INICIO PERIODO SEDIMENTACIÓN	11:20	11:22	11:24
FIN PERIODO SEDIMENTACIÓN	11:40	11:42	11:44
ALTURA ARCILLA (cm)	3.80	4.10	4.20
ALTURA ARENA (cm)	3.50	3.50	3.50
EQUIVALENTE DE ARENA	92.11	85.37	83.33
<b>PROMEDIO DE EQUIVALENTE DE ARENA</b>			86.93

MUESTRA - 3	M-1	M-2	M-3
INICIO PERIODO HUMEDECIMIENTO	12:02	12:04	12:06
FIN PERIODO HUMEDECIMIENTO	12:12	12:14	12:16
INICIO PERIODO SEDIMENTACIÓN	12:14	12:16	12:18
FIN PERIODO SEDIMENTACIÓN	12:34	12:36	12:38
ALTURA ARCILLA (cm)	3.90	4.00	4.00
ALTURA ARENA (cm)	3.70	3.90	3.70
EQUIVALENTE DE ARENA	94.87	97.50	92.50
<b>PROMEDIO DE EQUIVALENTE DE ARENA</b>			94.96

<b>PROMEDIO</b>	<b>87.95 %</b>
-----------------	----------------

**ANGULARIDAD – AGREGADO FINO**

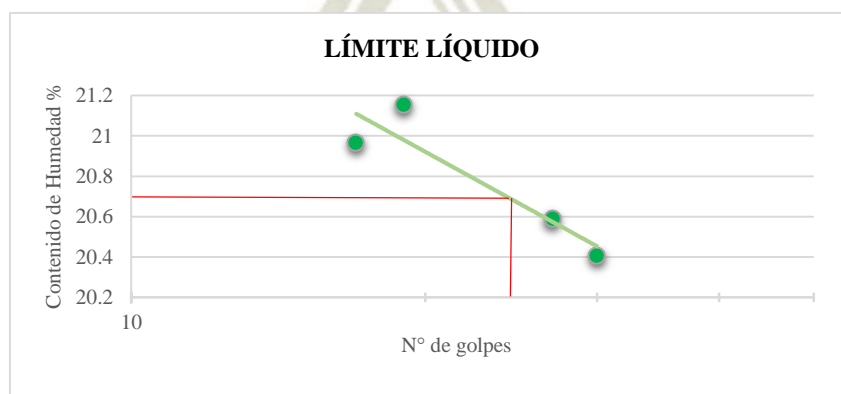
DATOS		MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	PROMEDIO
V	VOLUMEN DEL CILINDRO	105.5	105.5	105.5	105.5	105.5
Geb	GRAVEDAD ESPECIFICA BRUTA	2.63	2.63	2.63	2.63	2.63
W	PESO MUESTRA QUE LLENA MOLDE	146.2	147.1	147	146.3	146.65
A°	$(V-(W/Geb))/V*100$	47.31	46.98	47.02	47.27	<b>47.15</b>

**AZUL DE METILENO – AGREGADO FINO**

AZUL DE METILENO	PESO	VOLUMEN	VALOR AZUL MET
MUESTRA 1	30.05	12	3.99
MUESTRA 2	30.00	12	4.00
MUESTRA 3	30.03	15	5.00
PROMEDIO	30.03	13.00	<b>4.33</b>

**ÍNDICE DE PLASTICIDAD MALLA N° 40 – AGREGADO FINO**

DATOS	LÍMITE LÍQUIDO			
	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4
NÚMERO DE GOLPES	30	27	19	17
PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (g)	17.00	19.30	17.40	18.60
PESO CÁPSULA + SUELO SECO (g)	16.00	17.90	16.30	17.30
PESO DEL AGUA (g)	1.00	1.40	1.10	1.30
PESO CAPSULA (g)	11.10	11.10	11.10	11.10
PESO DEL SUELO SECO (g)	4.90	6.80	5.20	6.20
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	<b>20.4</b>	<b>20.6</b>	<b>21.2</b>	<b>21.0</b>



LÍMITE LÍQUIDO	20.66 %
LÍMITE PLÁSTICO	-

<b>ÍNDICE DE PLASTICIDAD</b>	<b>NO PLÁSTICO</b>
------------------------------	--------------------



**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE SANTA MARÍA**



**DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO – AGREGADO FINO**

MUESTRA 1	MALLA QUE PASA	MALLA RETENIDA	PESO ORIGINAL	GRADACIÓN ORIGINAL	PESO DE LA FRACCIÓN	PESO RETENIDO DESPUÉS DEL ENSAYO	PÉRDIDA TOTAL	% PÉRDIDAS CORREGIDAS
	3/8	N 4	62.95	2.81%				
	N 4	N 8	344.12	15.37%	269.48	262.08	2.75%	0.42%
	N 8	N 16	577.74	25.81%	217.42	199.76	8.12%	2.10%
	N 16	N 30	643.54	28.75%	214.74	208.65	2.84%	0.82%
	N 30	N 50	610.00	27.25%	221.38	212.26	4.12%	1.12%
			2238.35					4.46%

MUESTRA 2	MALLA QUE PASA	MALLA RETENIDA	PESO ORIGINAL	GRADACIÓN ORIGINAL	PESO DE LA FRACCIÓN	PESO RETENIDO DESPUÉS DEL ENSAYO	PÉRDIDA TOTAL	% PÉRDIDAS CORREGIDAS
	3/8	N 4	62.95	2.81%				
	N 4	N 8	344.12	15.37%	214.54	206.86	3.58%	0.55%
	N 8	N 16	577.74	25.81%	222.03	212.3	4.38%	1.13%
	N 16	N 30	643.54	28.75%	220.88	207.99	5.84%	1.68%
	N 30	N 50	610.00	27.25%	217.94	212.81	2.35%	0.64%
			2238.35					4.00%

MUESTRA 3	MALLA QUE PASA	MALLA RETENIDA	PESO ORIGINAL	GRADACIÓN ORIGINAL	PESO DE LA FRACCIÓN	PESO RETENIDO DESPUÉS DEL ENSAYO	PÉRDIDA TOTAL	% PÉRDIDAS CORREGIDAS
	3/8	N 4	62.95	2.81%				
	N 4	N 8	344.12	15.37%	215.45	206.25	4.27%	0.66%
	N 8	N 16	577.74	25.81%	217.04	212.66	2.02%	0.52%
	N 16	N 30	643.54	28.75%	214.33	203.38	5.11%	1.47%
	N 30	N 50	610.00	27.25%	218.43	212.39	2.77%	0.75%
			2238.35					3.40%

**PROMEDIO**

**3.95 %**



**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS DE LA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE SANTA MARÍA**



**ÍNDICE DE DURABILIDAD – AGREGADO FINO**

<b>MUESTRA - 1</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
INICIO PERIODO HUMEDECIMIENTO	14:26	14:28	14:30
FIN PERIODO HUMEDECIMIENTO	14:36	14:38	14:40
INICIO PERIODO SEDIMENTACIÓN	14:38	14:40	14:42
FIN PERIODO SEDIMENTACIÓN	14:58	15:00	15:02
ALTURA ARCILLA (cm)	4.00	4.00	3.90
ALTURA ARENA (cm)	3.90	3.90	3.80
EQUIVALENTE DE ARENA	97.50	97.50	97.44
<b>PROMEDIO DE EQUIVALENTE DE ARENA</b>			<b>97.48</b>

<b>MUESTRA - 2</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
INICIO PERIODO HUMEDECIMIENTO	15:28	15:30	15:32
FIN PERIODO HUMEDECIMIENTO	15:38	15:40	15:42
INICIO PERIODO SEDIMENTACIÓN	15:40	15:42	15:44
FIN PERIODO SEDIMENTACIÓN	16:00	16:02	16:04
ALTURA ARCILLA (cm)	4.00	3.90	3.90
ALTURA ARENA (cm)	3.90	3.80	3.80
EQUIVALENTE DE ARENA	97.50	97.44	97.44
<b>PROMEDIO DE EQUIVALENTE DE ARENA</b>			<b>97.46</b>

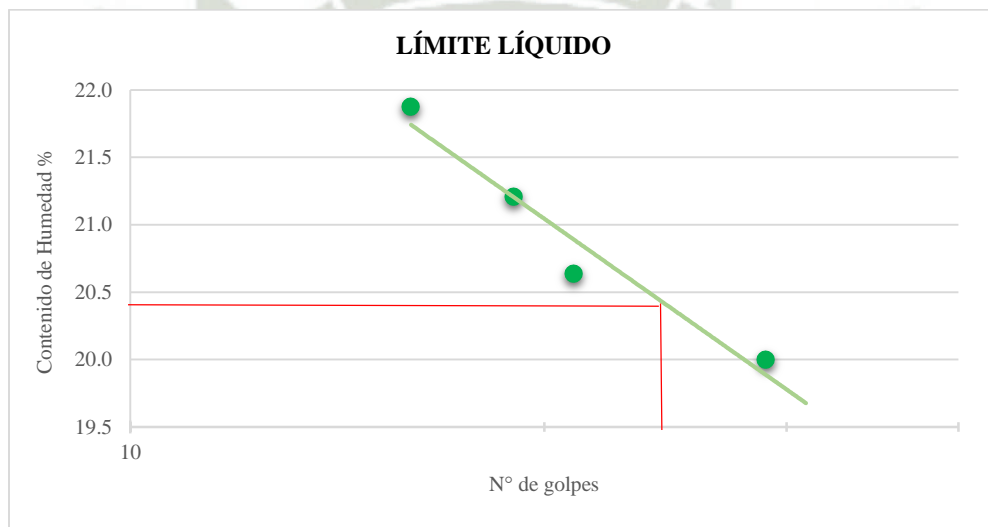
<b>MUESTRA - 3</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
INICIO PERIODO HUMEDECIMIENTO	16:25	16:27	16:29
FIN PERIODO HUMEDECIMIENTO	16:35	16:37	16:39
INICIO PERIODO SEDIMENTACIÓN	16:37	16:39	16:41
FIN PERIODO SEDIMENTACIÓN	16:57	16:59	17:01
ALTURA ARCILLA (cm)	3.90	4.00	4.00
ALTURA ARENA (cm)	3.80	3.90	3.90
EQUIVALENTE DE ARENA	97.44	97.50	97.50
<b>PROMEDIO DE EQUIVALENTE DE ARENA</b>			<b>97.48</b>

<b>PROMEDIO</b>		<b>97.47 %</b>	
-----------------	--	----------------	--



**ÍNDICE DE PLASTICIDAD MALLA N° 200 – AGREGADO FINO**

<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>				
<b>DATOS</b>	<b>M- 1</b>	<b>M - 2</b>	<b>M - 3</b>	<b>M - 4</b>
NÚMERO DE GOLPES	29	21	19	16
PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (g)	20.10	18.70	19.10	18.90
PESO CÁPSULA + SUELO SECO (g)	18.60	17.40	17.70	17.50
PESO DEL AGUA (g)	1.50	1.30	1.40	1.40
PESO CAPSULA (g)	11.10	11.10	11.10	11.10
PESO DEL SUELO SECO (g)	7.50	6.30	6.60	6.40
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD ( %)</b>	<b>20.0</b>	<b>20.60</b>	<b>21.2</b>	<b>21.90</b>



<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>M - 1</b>	<b>M - 2</b>
CÁPSULA	A	B
PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO (g)	16.6	16.8
PESO CÁPSULA + SUELO SECO (g)	15.78	15.93
PESO DEL AGUA (g)	0.82	0.87
PESO CAPSULA (g)	11.3	11.2
PESO DEL SUELO SECO (g)	4.48	4.73
CONTENIDO DE HUMEDAD ( %)	18.3	18.4
<b>PROMEDIO</b>		<b>18.35</b>

LÍMITE LÍQUIDO	20 %
LÍMITE PLÁSTICO	18.00 %
<b>ÍNDICE DE PLASTICIDAD</b>	<b>2%</b>



**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE SANTA MARÍA**



**SALES SOLUBLES TOTALES – AGREGADO FINO**

AGREGADO GRUESO		MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6	PROMEDIO
PESO MUESTRA SECA (g)	A	100.03	100.03	100.01	100.01	100.04	100.04	
VOLUMEN LÍQUIDOS (ml)	B	260	260	340	340	230	230	
ALICUOTA (ml)	C	50	54	66.5	75	54.5	93	
SALES + POSILLO (g)		124.58	111.5	111.54	118.20	123.96	114.17	
POSILLO (g)		124.53	111.46	111.46	118.11	123.91	114.08	
MASA FINAL SALES (g)	D	0.05	0.04	0.08	0.09	0.05	0.09	
<b>SALES SOLUBLES</b>	$100/(((C*A)/(D*B)) - 1)$	0.0004 %	0.0003%	0.0004 %	0.0004 %	0.0004 %	0.0004 %	<b>0.0004%</b>

**PESO UNITARIO SUELTO – AGREGADO FINO**

PESO UNITARIO SUELTO DE AF		MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO
RECIPIENTE + AGREGADO	Kg	5.99	6.01	6.04	
PESO RECIPIENTE	Kg	1.65	1.65	1.65	
PESO AGUA	g	2820	2820	2820	
VOLUMEN RECIPIENTE	ml	2824.85876	2824.85876	2824.85876	
VOLUMEN RECIPIENTE	M3	0.00282486	0.00282486	0.00282486	
<b>PESO UNITARIO</b>	kg/m3	1536.36	1543.44	1554.06	<b>1544.62</b>

**PESO UNITARIO COMPACTADO – AGREGADO FINO**

PESO UNITARIO COMPACTADO DE AF		MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO
RECIPIENTE + AGREGADO	Kg	6.49	6.55	6.56	
PESO RECIPIENTE	Kg	1.65	1.65	1.65	
PESO AGUA	g	2820	2820	2820	
VOLUMEN RECIPIENTE	ml	2824.85876	2824.85876	2824.85876	
VOLUMEN RECIPIENTE	M3	0.00282486	0.00282486	0.00282486	
<b>PESO UNITARIO</b>	kg/m3	1713.36	1734.60	1738.14	<b>1728.70</b>

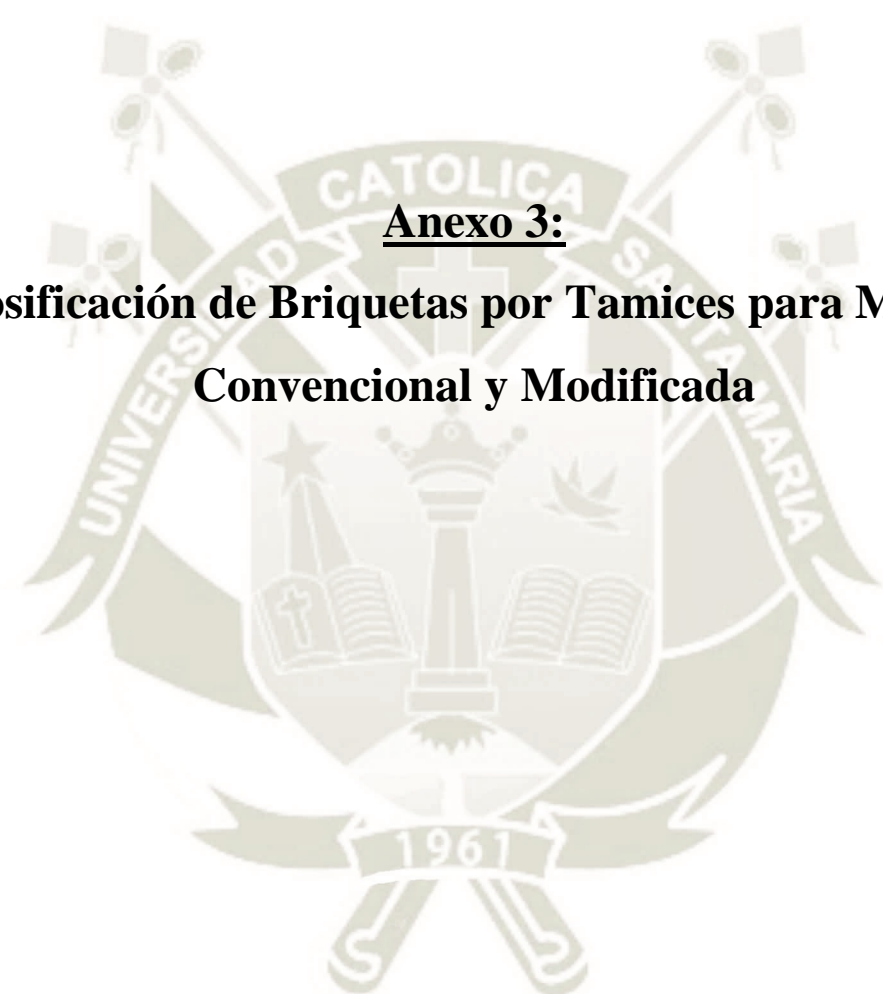


### PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN – AGREGADO FINO

DESCRIPCIÓN		MUESTRA 2	MUESTRA 1	MUESTRA 3	PROMEDIO
PESO MATERIAL SATURADO Y SUPERFICIE SECA		500.02	500.05	500.02	
PESO FIOLA + H <sub>2</sub> O + MATERIAL SATURADO Y SS		954.00	957.3	956.5	
TEMPERATURA		22.80	23	24	
PESO MATERIAL SECO	Wo	496.20	496.5	496.1	
ABSORCIÓN		0.77	0.72	0.79	
VOLUMEN FRASCO	V	498.55	498.77	498.53	
PESO FIOLA		147.44	151.24	151.24	
PESO PICNÓMETRO MAS AGUA		648.57	644.97	649.57	
VOLUMEN AÑADIDO DE AGUA	Va	307.28	306.76	306.07	
PESO ESPECÍFICO DE LA MASA	Pem'	2.59	2.59	2.58	
PESO ESPECÍFICO BASE SATURADA	Pess'	2.61	2.60	2.59	
PESO ESPECÍFICO APARENTE	Pea'	2.63	2.62	2.61	
K		0.99938	0.99933	0.99909	
DENSIDAD AGUA		0.99759	0.99754	0.9973	
<b>PESO ESPECÍFICO DE LA MASA</b>	Pem	2.59	2.58	2.58	<b>2.58</b>
<b>PESO ESPECÍFICO BASE SATURADA</b>	Pess	2.60	2.60	2.59	<b>2.60</b>
<b>PESO ESPECÍFICO APARENTE</b>	Pea	2.62	2.62	2.61	<b>2.62</b>
<b>ABSORCIÓN</b>	Ab	0.77	0.72	0.79	<b>0.76</b>

### GRAVEDAD ESPECÍFICA – FILLER

DESCRIPCIÓN		MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO
PESO DE LOS SÓLIDOS	WS	298.26	297.46	297.65	
PESO PICNÓMETRO	WP	151.26	152.27	151.26	
PESO PICNÓMETRO MÁS AGUA	WPT	648.57	649.57	648.57	
PESO PICNÓMETRO MÁS MUESTRA	WPS	449.52	449.73	448.91	
PESO PICNÓMETRO MÁS H <sub>2</sub> O MÁS MUESTRA	WPWS	819.58	820.73	819.65	
VOLUMEN DESPLAZADO H <sub>2</sub> O	VS	127.25	126.30	126.57	
GRAVEDAD ESPECÍFICA	GS'	2.34	2.36	2.35	
TEMPERATURA		26.50	26.70	26.70	
K		0.99844	0.99839	0.99839	
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA A 20 °C</b>	GS	2.34	2.35	2.35	<b>2.3465</b>



**Anexo 3:**  
**Dosificación de Briquetas por Tamices para Mezcla  
Convencional y Modificada**



**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE SANTA MARÍA**



<b>DOSIFICACIÓN PARA MEZCLA CONVENCIONAL CON 4.0% DE C.A.</b>							
		PORCENTAJE RETENIDO			50.40%	41.28%	4.32%
TAMIZ	ABERTURA (mm)	AG GRUESO	AG FINO	FILLER	PESO AG GRUESO	PESO AG FINO	PESO FILLER
1"	25.40	0.00%	0.00%	0.0%	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	5.04%	0.00%	0.0%	31.75	0.00	0.00
1/2"	12.70	29.28%	0.00%	0.0%	184.49	0.00	0.00
3/8"	9.53	28.65%	0.00%	0.0%	180.48	0.00	0.00
N° 4	4.76	35.15%	1.59%	0.0%	221.44	8.20	0.00
N° 8	2.38	1.88%	11.04%	0.0%	11.84	56.99	0.00
N° 10	2.00	0.00%	3.67%	0.0%	0.00	18.93	0.00
N° 16	1.19	0.00%	14.38%	0.0%	0.00	74.22	0.00
N° 30	0.59	0.00%	21.41%	0.0%	0.00	110.47	0.00
N° 40	0.43	0.00%	12.30%	0.0%	0.00	63.44	0.00
N° 50	0.30	0.00%	10.33%	0.0%	0.00	53.28	0.00
N° 80	0.18	0.00%	9.41%	0.0%	0.00	48.57	0.00
N° 100	0.15	0.00%	5.37%	0.0%	0.00	27.72	0.00
N° 200	0.07	0.00%	6.66%	0.0%	0.00	34.36	0.00
FONDO	0.00	0.00%	3.84%	100.0%	0.00	19.82	54.00
					<b>630.00</b>	<b>516.00</b>	<b>54.00</b>

<b>DOSIFICACIÓN PARA MEZCLA CONVENCIONAL CON 4.5% DE C.A.</b>							
		PORCENTAJE RETENIDO			50.14%	41.07%	4.30%
TAMIZ	ABERTURA (mm)	AG GRUESO	AG FINO	FILLER	PESO AG GRUESO	PESO AG FINO	PESO FILLER
1"	25.40	0.00%	0.00%	0.0%	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	5.04%	0.00%	0.0%	31.58	0.00	0.00
1/2"	12.70	29.28%	0.00%	0.0%	183.53	0.00	0.00
3/8"	9.53	28.65%	0.00%	0.0%	179.54	0.00	0.00
N° 4	4.76	35.15%	1.59%	0.0%	220.29	8.16	0.00
N° 8	2.38	1.88%	11.04%	0.0%	11.78	56.69	0.00
N° 10	2.00	0.00%	3.67%	0.0%	0.00	18.83	0.00
N° 16	1.19	0.00%	14.38%	0.0%	0.00	73.84	0.00
N° 30	0.59	0.00%	21.41%	0.0%	0.00	109.89	0.00
N° 40	0.43	0.00%	12.30%	0.0%	0.00	63.11	0.00
N° 50	0.30	0.00%	10.33%	0.0%	0.00	53.01	0.00
N° 80	0.18	0.00%	9.41%	0.0%	0.00	48.32	0.00
N° 100	0.15	0.00%	5.37%	0.0%	0.00	27.57	0.00
N° 200	0.07	0.00%	6.66%	0.0%	0.00	34.18	0.00
FONDO	0.00	0.00%	3.84%	100.0%	0.00	19.71	53.72
					<b>626.72</b>	<b>513.31</b>	<b>53.72</b>



**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE SANTA MARÍA**



<b>DOSIFICACIÓN PARA MEZCLA CONVENCIONAL CON 5.0% DE C.A.</b>							
		PORCENTAJE RETENIDO			49.88%	40.85%	4.28%
TAMIZ	ABERTURA (mm)	AG GRUESO	AG FINO	FILLER	PESO AG GRUESO	PESO AG FINO	PESO FILLER
1"	25.40	0.00%	0.00%	0.0%	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	5.04%	0.00%	0.0%	31.42	0.00	0.00
1/2"	12.70	29.28%	0.00%	0.0%	182.57	0.00	0.00
3/8"	9.53	28.65%	0.00%	0.0%	178.60	0.00	0.00
N° 4	4.76	35.15%	1.59%	0.0%	219.14	8.11	0.00
N° 8	2.38	1.88%	11.04%	0.0%	11.72	56.40	0.00
N° 10	2.00	0.00%	3.67%	0.0%	0.00	18.73	0.00
N° 16	1.19	0.00%	14.38%	0.0%	0.00	73.45	0.00
N° 30	0.59	0.00%	21.41%	0.0%	0.00	109.32	0.00
N° 40	0.43	0.00%	12.30%	0.0%	0.00	62.78	0.00
N° 50	0.30	0.00%	10.33%	0.0%	0.00	52.73	0.00
N° 80	0.18	0.00%	9.41%	0.0%	0.00	48.07	0.00
N° 100	0.15	0.00%	5.37%	0.0%	0.00	27.43	0.00
N° 200	0.07	0.00%	6.66%	0.0%	0.00	34.00	0.00
FONDO	0.00	0.00%	3.84%	100.0%	0.00	19.61	53.44
					<b>623.44</b>	<b>510.63</b>	<b>53.44</b>

<b>DOSIFICACIÓN PARA MEZCLA CONVENCIONAL CON 5.5% DE C.A.</b>							
		PORCENTAJE RETENIDO			49.61%	40.64%	4.25%
TAMIZ	ABERTURA (mm)	AG GRUESO	AG FINO	FILLER	PESO AG GRUESO	PESO AG FINO	PESO FILLER
1"	25.40	0.00%	0.00%	0.0%	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	5.04%	0.00%	0.0%	31.25	0.00	0.00
1/2"	12.70	29.28%	0.00%	0.0%	181.61	0.00	0.00
3/8"	9.53	28.65%	0.00%	0.0%	177.66	0.00	0.00
N° 4	4.76	35.15%	1.59%	0.0%	217.98	8.07	0.00
N° 8	2.38	1.88%	11.04%	0.0%	11.66	56.10	0.00
N° 10	2.00	0.00%	3.67%	0.0%	0.00	18.63	0.00
N° 16	1.19	0.00%	14.38%	0.0%	0.00	73.06	0.00
N° 30	0.59	0.00%	21.41%	0.0%	0.00	108.74	0.00
N° 40	0.43	0.00%	12.30%	0.0%	0.00	62.45	0.00
N° 50	0.30	0.00%	10.33%	0.0%	0.00	52.45	0.00
N° 80	0.18	0.00%	9.41%	0.0%	0.00	47.81	0.00
N° 100	0.15	0.00%	5.37%	0.0%	0.00	27.29	0.00
N° 200	0.07	0.00%	6.66%	0.0%	0.00	33.82	0.00
FONDO	0.00	0.00%	3.84%	100.0%	0.00	19.51	53.16
					<b>620.16</b>	<b>507.94</b>	<b>53.16</b>
<b>DOSIFICACIÓN PARA MEZCLA CONVENCIONAL CON 6.0% DE C.A.</b>							



**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE SANTA MARÍA**



		PORCENTAJE RETENIDO			49.35%	40.42%	4.23%
TAMIZ	ABERTURA (mm)	AG GRUESO	AG FINO	FILLER	PESO AG GRUESO	PESO AG FINO	PESO FILLER
1"	25.40	0.00%	0.00%	0.0%	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	5.04%	0.00%	0.0%	31.09	0.00	0.00
1/2"	12.70	29.28%	0.00%	0.0%	180.64	0.00	0.00
3/8"	9.53	28.65%	0.00%	0.0%	176.72	0.00	0.00
N° 4	4.76	35.15%	1.59%	0.0%	216.83	8.03	0.00
N° 8	2.38	1.88%	11.04%	0.0%	11.60	55.80	0.00
N° 10	2.00	0.00%	3.67%	0.0%	0.00	18.53	0.00
N° 16	1.19	0.00%	14.38%	0.0%	0.00	72.68	0.00
N° 30	0.59	0.00%	21.41%	0.0%	0.00	108.17	0.00
N° 40	0.43	0.00%	12.30%	0.0%	0.00	62.12	0.00
N° 50	0.30	0.00%	10.33%	0.0%	0.00	52.17	0.00
N° 80	0.18	0.00%	9.41%	0.0%	0.00	47.56	0.00
N° 100	0.15	0.00%	5.37%	0.0%	0.00	27.14	0.00
N° 200	0.07	0.00%	6.66%	0.0%	0.00	33.64	0.00
FONDO	0.00	0.00%	3.84%	100.0%	0.00	19.40	52.88
					<b>616.88</b>	<b>505.25</b>	<b>52.88</b>

<b>DOSIFICACIÓN PARA MEZCLA CONVENCIONAL CON 6.5% DE C.A.</b>							
		PORCENTAJE RETENIDO			49.09%	40.21%	4.21%
TAMIZ	ABERTURA (mm)	AG GRUESO	AG FINO	FILLER	PESO AG GRUESO	PESO AG FINO	PESO FILLER
1"	25.40	0.00%	0.00%	0.0%	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	5.04%	0.00%	0.0%	30.92	0.00	0.00
1/2"	12.70	29.28%	0.00%	0.0%	179.68	0.00	0.00
3/8"	9.53	28.65%	0.00%	0.0%	175.78	0.00	0.00
N° 4	4.76	35.15%	1.59%	0.0%	215.68	7.99	0.00
N° 8	2.38	1.88%	11.04%	0.0%	11.53	55.51	0.00
N° 10	2.00	0.00%	3.67%	0.0%	0.00	18.43	0.00
N° 16	1.19	0.00%	14.38%	0.0%	0.00	72.29	0.00
N° 30	0.59	0.00%	21.41%	0.0%	0.00	107.59	0.00
N° 40	0.43	0.00%	12.30%	0.0%	0.00	61.79	0.00
N° 50	0.30	0.00%	10.33%	0.0%	0.00	51.90	0.00
N° 80	0.18	0.00%	9.41%	0.0%	0.00	47.31	0.00
N° 100	0.15	0.00%	5.37%	0.0%	0.00	27.00	0.00
N° 200	0.07	0.00%	6.66%	0.0%	0.00	33.46	0.00
FONDO	0.00	0.00%	3.84%	100.0%	0.00	19.30	52.59
					<b>613.59</b>	<b>502.56</b>	<b>52.59</b>
<b>DOSIFICACIÓN PARA MEZCLA CONVENCIONAL CON 7.0% DE C.A.</b>							
		PORCENTAJE RETENIDO			48.83%	39.99%	4.19%



**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE SANTA MARÍA**



TAMIZ	ABERTURA (mm)	AG GRUESO	AG FINO	FILLER	PESO AG GRUESO	PESO AG FINO	PESO FILLER
1"	25.40	0.00%	0.00%	0.0%	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	5.04%	0.00%	0.0%	30.76	0.00	0.00
1/2"	12.70	29.28%	0.00%	0.0%	178.72	0.00	0.00
3/8"	9.53	28.65%	0.00%	0.0%	174.84	0.00	0.00
N° 4	4.76	35.15%	1.59%	0.0%	214.52	7.94	0.00
N° 8	2.38	1.88%	11.04%	0.0%	11.47	55.21	0.00
N° 10	2.00	0.00%	3.67%	0.0%	0.00	18.33	0.00
N° 16	1.19	0.00%	14.38%	0.0%	0.00	71.90	0.00
N° 30	0.59	0.00%	21.41%	0.0%	0.00	107.02	0.00
N° 40	0.43	0.00%	12.30%	0.0%	0.00	61.46	0.00
N° 50	0.30	0.00%	10.33%	0.0%	0.00	51.62	0.00
N° 80	0.18	0.00%	9.41%	0.0%	0.00	47.05	0.00
N° 100	0.15	0.00%	5.37%	0.0%	0.00	26.85	0.00
N° 200	0.07	0.00%	6.66%	0.0%	0.00	33.28	0.00
FONDO	0.00	0.00%	3.84%	100.0%	0.00	19.20	52.31
					<b>610.31</b>	<b>499.88</b>	<b>52.31</b>

<b>DOSIFICACIÓN PARA MEZCLA MODIFICADA CON 4.5% DE C.A. Y 0.5% DE F.P.</b>							
		PORCENTAJE RETENIDO			49.89%	40.86%	4.28%
TAMIZ	ABERTURA (mm)	AG GRUESO	AG FINO	FILLER	PESO AG GRUESO	PESO AG FINO	PESO FILLER
1"	25.40	0.00%	0.00%	0.0%	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	5.04%	0.00%	0.0%	31.43	0.00	0.00
1/2"	12.70	29.28%	0.00%	0.0%	182.61	0.00	0.00
3/8"	9.53	28.65%	0.00%	0.0%	178.64	0.00	0.00
N° 4	4.76	35.15%	1.59%	0.0%	219.19	8.12	0.00
N° 8	2.38	1.88%	11.04%	0.0%	11.72	56.41	0.00
N° 10	2.00	0.00%	3.67%	0.0%	0.00	18.73	0.00
N° 16	1.19	0.00%	14.38%	0.0%	0.00	73.47	0.00
N° 30	0.59	0.00%	21.41%	0.0%	0.00	109.34	0.00
N° 40	0.43	0.00%	12.30%	0.0%	0.00	62.80	0.00
N° 50	0.30	0.00%	10.33%	0.0%	0.00	52.74	0.00
N° 80	0.18	0.00%	9.41%	0.0%	0.00	48.08	0.00
N° 100	0.15	0.00%	5.37%	0.0%	0.00	27.44	0.00
N° 200	0.07	0.00%	6.66%	0.0%	0.00	34.01	0.00
FONDO	0.00	0.00%	3.84%	100.0%	0.00	19.61	53.45
					<b>623.59</b>	<b>510.75</b>	<b>53.45</b>
<b>DOSIFICACIÓN PARA MEZCLA MODIFICADA CON 4.5% DE C.A. Y 1.0% DE F.P.</b>							
		PORCENTAJE RETENIDO			49.64%	40.65%	4.25%



**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE SANTA MARÍA**



TAMIZ	ABERTURA (mm)	AG GRUESO	AG FINO	FILLER	PESO AG GRUESO	PESO AG FINO	PESO FILLER
1"	25.40	0.00%	0.00%	0.0%	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	5.04%	0.00%	0.0%	31.27	0.00	0.00
1/2"	12.70	29.28%	0.00%	0.0%	181.69	0.00	0.00
3/8"	9.53	28.65%	0.00%	0.0%	177.74	0.00	0.00
N° 4	4.76	35.15%	1.59%	0.0%	218.09	8.08	0.00
N° 8	2.38	1.88%	11.04%	0.0%	11.66	56.13	0.00
N° 10	2.00	0.00%	3.67%	0.0%	0.00	18.64	0.00
N° 16	1.19	0.00%	14.38%	0.0%	0.00	73.10	0.00
N° 30	0.59	0.00%	21.41%	0.0%	0.00	108.79	0.00
N° 40	0.43	0.00%	12.30%	0.0%	0.00	62.48	0.00
N° 50	0.30	0.00%	10.33%	0.0%	0.00	52.48	0.00
N° 80	0.18	0.00%	9.41%	0.0%	0.00	47.84	0.00
N° 100	0.15	0.00%	5.37%	0.0%	0.00	27.30	0.00
N° 200	0.07	0.00%	6.66%	0.0%	0.00	33.84	0.00
FONDO	0.00	0.00%	3.84%	100.0%	0.00	19.52	53.18
					<b>620.45</b>	<b>508.18</b>	<b>53.18</b>

<b>DOSIFICACIÓN PARA MEZCLA MODIFICADA CON 4.5% DE C.A. Y 1.5% DE F.P.</b>							
		PORCENTAJE RETENIDO			49.39%	40.45%	4.23%
TAMIZ	ABERTURA (mm)	AG GRUESO	AG FINO	FILLER	PESO AG GRUESO	PESO AG FINO	PESO FILLER
1"	25.40	0.00%	0.00%	0.0%	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	5.04%	0.00%	0.0%	31.11	0.00	0.00
1/2"	12.70	29.28%	0.00%	0.0%	180.77	0.00	0.00
3/8"	9.53	28.65%	0.00%	0.0%	176.85	0.00	0.00
N° 4	4.76	35.15%	1.59%	0.0%	216.98	8.04	0.00
N° 8	2.38	1.88%	11.04%	0.0%	11.60	55.84	0.00
N° 10	2.00	0.00%	3.67%	0.0%	0.00	18.55	0.00
N° 16	1.19	0.00%	14.38%	0.0%	0.00	72.73	0.00
N° 30	0.59	0.00%	21.41%	0.0%	0.00	108.24	0.00
N° 40	0.43	0.00%	12.30%	0.0%	0.00	62.17	0.00
N° 50	0.30	0.00%	10.33%	0.0%	0.00	52.21	0.00
N° 80	0.18	0.00%	9.41%	0.0%	0.00	47.59	0.00
N° 100	0.15	0.00%	5.37%	0.0%	0.00	27.16	0.00
N° 200	0.07	0.00%	6.66%	0.0%	0.00	33.66	0.00
FONDO	0.00	0.00%	3.84%	100.0%	0.00	19.42	52.91
					<b>617.32</b>	<b>505.61</b>	<b>52.91</b>
<b>DOSIFICACIÓN PARA MEZCLA MODIFICADA CON 4.5% DE C.A. Y 2.0% DE F.P.</b>							
		PORCENTAJE RETENIDO			49.13%	40.24%	4.21%



**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE SANTA MARÍA**

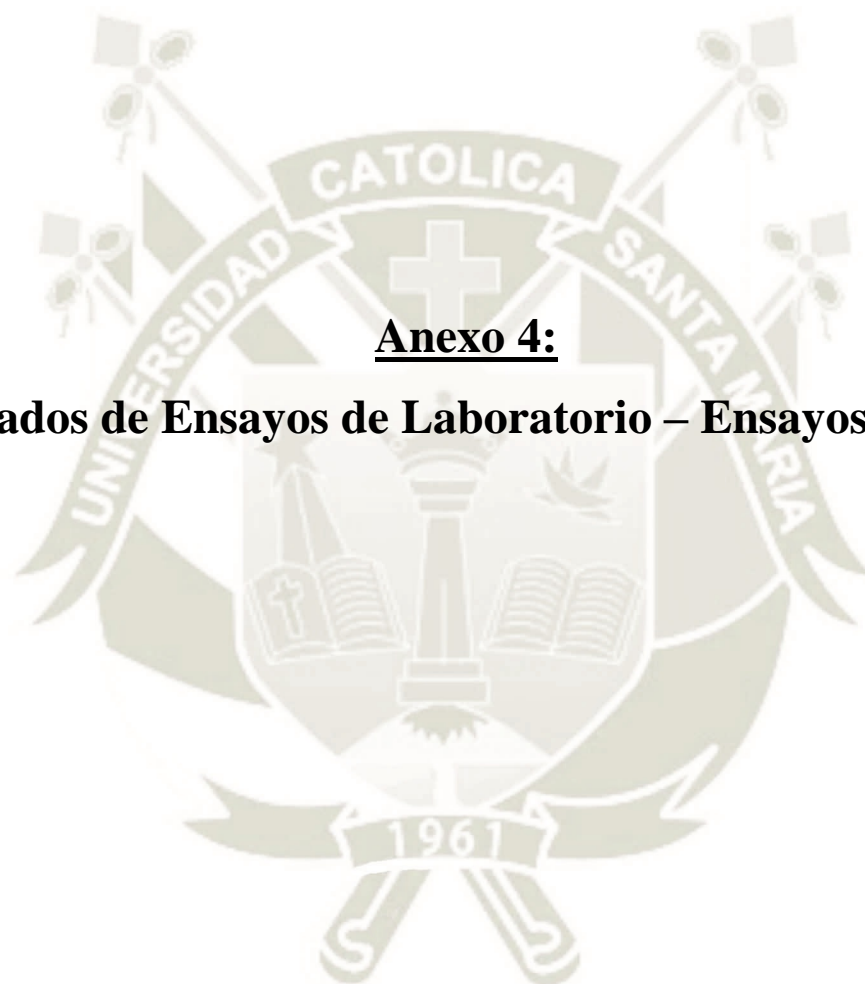


TAMIZ	ABERTURA (mm)	AG GRUESO	AG FINO	FILLER	PESO AG GRUESO	PESO AG FINO	PESO FILLER
1"	25.40	0.00%	0.00%	0.0%	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	5.04%	0.00%	0.0%	30.95	0.00	0.00
1/2"	12.70	29.28%	0.00%	0.0%	179.86	0.00	0.00
3/8"	9.53	28.65%	0.00%	0.0%	175.95	0.00	0.00
N° 4	4.76	35.15%	1.59%	0.0%	215.88	7.99	0.00
N° 8	2.38	1.88%	11.04%	0.0%	11.55	55.56	0.00
N° 10	2.00	0.00%	3.67%	0.0%	0.00	18.45	0.00
N° 16	1.19	0.00%	14.38%	0.0%	0.00	72.36	0.00
N° 30	0.59	0.00%	21.41%	0.0%	0.00	107.69	0.00
N° 40	0.43	0.00%	12.30%	0.0%	0.00	61.85	0.00
N° 50	0.30	0.00%	10.33%	0.0%	0.00	51.95	0.00
N° 80	0.18	0.00%	9.41%	0.0%	0.00	47.35	0.00
N° 100	0.15	0.00%	5.37%	0.0%	0.00	27.02	0.00
N° 200	0.07	0.00%	6.66%	0.0%	0.00	33.49	0.00
FONDO	0.00	0.00%	3.84%	100.0%	0.00	19.32	52.64
					<b>614.18</b>	<b>503.05</b>	<b>52.64</b>

<b>DOSIFICACIÓN PARA MEZCLA MODIFICADA CON 4.5% DE C.A. Y 2.5% DE F.P.</b>							
		PORCENTAJE RETENIDO			48.88%	40.04%	4.19%
TAMIZ	ABERTURA (mm)	AG GRUESO	AG FINO	FILLER	PESO AG GRUESO	PESO AG FINO	PESO FILLER
1"	25.40	0.00%	0.00%	0.0%	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	5.04%	0.00%	0.0%	30.79	0.00	0.00
1/2"	12.70	29.28%	0.00%	0.0%	178.94	0.00	0.00
3/8"	9.53	28.65%	0.00%	0.0%	175.05	0.00	0.00
N° 4	4.76	35.15%	1.59%	0.0%	214.78	7.95	0.00
N° 8	2.38	1.88%	11.04%	0.0%	11.49	55.28	0.00
N° 10	2.00	0.00%	3.67%	0.0%	0.00	18.36	0.00
N° 16	1.19	0.00%	14.38%	0.0%	0.00	71.99	0.00
N° 30	0.59	0.00%	21.41%	0.0%	0.00	107.14	0.00
N° 40	0.43	0.00%	12.30%	0.0%	0.00	61.53	0.00
N° 50	0.30	0.00%	10.33%	0.0%	0.00	51.68	0.00
N° 80	0.18	0.00%	9.41%	0.0%	0.00	47.11	0.00
N° 100	0.15	0.00%	5.37%	0.0%	0.00	26.89	0.00
N° 200	0.07	0.00%	6.66%	0.0%	0.00	33.32	0.00
FONDO	0.00	0.00%	3.84%	100.0%	0.00	19.22	52.38
					<b>611.05</b>	<b>500.48</b>	<b>52.38</b>

**Anexo 4:**

**Resultados de Ensayos de Laboratorio – Ensayos Marshall**





**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA CONVENCIONAL CON 4.0% DE C.A.**

		N°	1	2	3	PROM
1	Número de briqueta					
2	% fibras	%	0	0	0	
3	Peso específico fibras	g/cm3	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	%	4.000	4.000	4.000	
5	% A.G.	%	50.400	50.400	50.400	
6	% A.F.	%	41.280	41.280	41.280	
7	% Filler	%	4.320	4.320	4.320	
8	Peso aparente C.A.	g/cm3	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	g/cm3	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	g/cm3	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	g/cm3	2.719294932	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	g/cm3	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	g/cm3	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	g/cm3	2.600034473	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	g/cm3	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	mm	65.770	65.660	66.890	
h2	Altura de briqueta H2	mm	66.310	66.400	67.130	
h3	Altura de briqueta H3	mm	66.330	67.430	66.010	
h4	Altura de briqueta H4	mm	65.970	67.540	65.840	
14	Altura promedio de briqueta	mm	66.095	66.758	66.468	
15	Peso briqueta al aire	g	1197.500	1199.200	1200.570	
16	Peso briqueta + parafina	g	1212.280	1214.290	1213.520	
17	Peso briqueta + parafina sumergida	g	680.000	680.000	680.000	
18	Volumen briqueta + parafina	cm3	532.280	534.290	533.520	
19	Peso parafina	cm3	14.780	15.090	12.950	
20	Volumen parafina	cm3	17.388	17.753	15.235	
21	Volumen briqueta por desplazamiento	cm3	514.892	516.537	518.285	
22	Volumen geométrico	cm3	535.832	541.203	538.852	
23	Volumen adoptado	cm3	514.892	516.537	518.285	
24	Peso específico bulk de briqueta	g/cm3	2.326	2.322	2.316	2.321
25	Máxima densidad teórica	g/cm3	2.489	2.489	2.489	2.489
26	% vacíos	%	6.569	6.734	6.943	6.749
27	Peso específico bulk agregado total	g/cm3	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	g/cm3	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	g/cm3	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. absorbido por peso ag. seco	%	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado/ volumen bruto briqueta	%	85.058	84.907	84.718	
32	% volumen C.A. efectivo/volumen briqueta	%	8.373	8.358	8.340	
33	% vacíos en el agregado mineral – V.M.A	%	14.942	15.093	15.282	15.106
34	C.A. efectivo/peso de la mezcla	%	3.352	3.352	3.352	
35	Relación asfalto - vacíos (CA absorbido) – V.F.A.	%	56.037	55.380	54.571	55.329
36	Estabilidad sin corregir	kg	962.000	1189.900	1054.000	
37	Factor de estabilidad	-	1.000	1.000	1.000	
38	Estabilidad corregida	kg	962.000	1189.900	1054.000	1068.633
39	Estabilidad corregida	KN	9.434	11.669	10.336	10.480
40	Flujo 0.01 mm	0.01mm	230.000	343.000	250.000	274.333
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 "	9.055	13.504	9.843	10.801
42	Relación estabilidad/flujo	kg/cm	4182.609	3469.096	4216.000	3955.902
43	Relación polvo/asfalto	-	1.476	1.476	1.476	1.476

**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA CONVENCIONAL CON 4.5% DE C.A.**

		N°	1	2	3	PROM
1	Número de briqueta	N°				
2	% fibras	%	0	0	0	
3	Peso específico fibras	g/cm3	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	%	4.500	4.500	4.500	
5	% A.G.	%	50.138	50.138	50.138	
6	% A.F.	%	41.065	41.065	41.065	
7	% Filler	%	4.298	4.298	4.298	
8	Peso aparente C.A.	g/cm3	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	g/cm3	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	g/cm3	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	g/cm3	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	g/cm3	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	g/cm3	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	g/cm3	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	g/cm3	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	mm	63.760	64.010	64.230	
h2	Altura de briqueta H2	mm	63.730	63.830	63.590	
h3	Altura de briqueta H3	mm	63.860	63.090	63.620	
h4	Altura de briqueta H4	mm	64.000	63.240	63.880	
14	Altura promedio de briqueta	mm	63.838	63.543	63.830	
15	Peso briqueta al aire	g	1196.660	1187.540	1196.300	
16	Peso briqueta + parafina	g	1210.160	1201.200	1207.023	
17	Peso briqueta + parafina sumergida	g	685.000	680.000	690.000	
18	Volumen briqueta + parafina	cm3	525.160	521.200	517.023	
19	Peso parafina	cm3	13.500	13.660	10.723	
20	Volumen parafina	cm3	15.882	16.071	12.615	
21	Volumen briqueta por desplazamiento	cm3	509.278	505.129	504.408	
22	Volumen geométrico	cm3	517.531	515.139	517.470	
23	Volumen adoptado	cm3	509.278	505.129	504.408	
24	Peso específico bulk de briqueta	g/cm3	2.350	2.351	2.372	2.357
25	Máxima densidad teórica	g/cm3	2.471	2.471	2.471	2.471
26	% vacíos	%	4.897	4.847	4.008	4.584
27	Peso específico bulk agregado total	g/cm3	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	g/cm3	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	g/cm3	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. absorbido por peso ag. seco	%	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado/ volumen bruto briqueta	%	85.488	85.533	86.287	
32	% volumen C.A. efectivo/volumen briqueta	%	9.615	9.620	9.705	
33	% vacíos en el agregado mineral – V.M.A	%	14.512	14.467	13.713	14.231
34	C.A. efectivo/peso de la mezcla	%	3.856	3.856	3.856	
35	Relación asfalto - vacíos (CA absorbido) – V.F.A.	%	66.254	66.496	70.772	67.841
36	Estabilidad sin corregir	kg	1066.000	1277.800	1343.900	
37	Factor de estabilidad	-	1.000	1.040	1.040	
38	Estabilidad corregida	kg	1066.000	1328.912	1397.656	1264.189
39	Estabilidad corregida	KN	10.454	13.032	13.706	12.397
40	Flujo 0.01 mm	0.01mm	330.000	365.000	355.000	350.000
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 "	12.992	14.370	13.976	13.780
42	Relación estabilidad/flujo	kg/cm	3230.303	3640.855	3937.059	3602.739
43	Relación polvo/asfalto	-	1.305	1.305	1.305	1.305



**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA CONVENCIONAL CON 5.0% DE C.A.**

		N°	1	2	3	PROM
1	Número de briqueta	N°				
2	% fibras	%	0	0	0	
3	Peso específico fibras	g/cm3	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	%	5.000	5.000	5.000	
5	% A.G.	%	49.875	49.875	49.875	
6	% A.F.	%	40.850	40.850	40.850	
7	% Filler	%	4.275	4.275	4.275	
8	Peso aparente C.A.	g/cm3	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	g/cm3	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	g/cm3	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	g/cm3	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	g/cm3	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	g/cm3	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	g/cm3	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	g/cm3	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	mm	63.930	63.020	62.950	
h2	Altura de briqueta H2	mm	65.450	62.960	63.640	
h3	Altura de briqueta H3	mm	64.520	63.180	64.880	
h4	Altura de briqueta H4	mm	63.120	63.350	64.560	
14	Altura promedio de briqueta	mm	64.255	63.128	64.008	
15	Peso briqueta al aire	g	1202.580	1202.820	1201.290	
16	Peso briqueta + parafina	g	1209.730	1210.250	1209.590	
17	Peso briqueta + parafina sumergida	g	695.000	700.000	695.000	
18	Volumen briqueta + parafina	cm3	514.730	510.250	514.590	
19	Peso parafina	cm3	7.150	7.430	8.300	
20	Volumen parafina	cm3	8.412	8.741	9.765	
21	Volumen briqueta por desplazamiento	cm3	506.318	501.509	504.825	
22	Volumen geométrico	cm3	520.915	511.775	518.909	
23	Volumen adoptado	cm3	506.318	501.509	504.825	
24	Peso específico bulk de briqueta	g/cm3	2.375	2.398	2.380	2.384
25	Máxima densidad teórica	g/cm3	2.452	2.452	2.452	2.452
26	% vacíos	%	3.153	2.204	2.970	2.776
27	Peso específico bulk agregado total	g/cm3	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	g/cm3	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	g/cm3	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. absorbido por peso ag. seco	%	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado/ volumen bruto briqueta	%	85.960	86.802	86.122	
32	% volumen C.A. efectivo/volumen briqueta	%	10.887	10.994	10.907	
33	% vacíos en el agregado mineral – V.M.A	%	14.040	13.198	13.878	13.705
34	C.A. efectivo/peso de la mezcla	%	4.359	4.359	4.359	
35	Relación asfalto - vacíos (CA absorbido) – V.F.A.	%	77.545	83.298	78.596	79.813
36	Estabilidad sin corregir	kg	1045.300	1190.900	1147.000	
37	Factor de estabilidad	-	1.040	1.040	1.040	
38	Estabilidad corregida	kg	1087.112	1238.536	1192.880	1172.843
39	Estabilidad corregida	KN	10.661	12.146	11.698	11.502
40	Flujo 0.01 mm	0.01mm	370.000	402.000	384.000	385.333
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 "	14.567	15.827	15.118	15.171
42	Relación estabilidad/flujo	kg/cm	2938.141	3080.935	3106.458	3041.845
43	Relación polvo/asfalto	-	1.169	1.169	1.169	1.169



**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA CONVENCIONAL CON 5.5% DE C.A.**

		N°	1	2	3	PROM
1	Número de briqueta	N°				
2	% fibras	%	0	0	0	
3	Peso específico fibras	g/cm3	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	%	5.500	5.500	5.500	
5	% A.G.	%	49.613	49.613	49.613	
6	% A.F.	%	40.635	40.635	40.635	
7	% Filler	%	4.253	4.253	4.253	
8	Peso aparente C.A.	g/cm3	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	g/cm3	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	g/cm3	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	g/cm3	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	g/cm3	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	g/cm3	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	g/cm3	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	g/cm3	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	mm	63.690	62.420	63.430	
h2	Altura de briqueta H2	mm	63.110	62.510	63.080	
h3	Altura de briqueta H3	mm	62.190	63.030	62.220	
h4	Altura de briqueta H4	mm	62.060	63.460	62.230	
14	Altura promedio de briqueta	mm	62.763	62.855	62.740	
15	Peso briqueta al aire	g	1205.310	1199.940	1205.070	
16	Peso briqueta + parafina	g	1211.690	1205.730	1211.590	
17	Peso briqueta + parafina sumergida	g	700.000	700.000	700.000	
18	Volumen briqueta + parafina	cm3	511.690	505.730	511.590	
19	Peso parafina	cm3	6.380	5.790	6.520	
20	Volumen parafina	cm3	7.506	6.812	7.671	
21	Volumen briqueta por desplazamiento	cm3	504.184	498.918	503.919	
22	Volumen geométrico	cm3	508.816	509.565	508.633	
23	Volumen adoptado	cm3	504.184	498.918	503.919	
24	Peso específico bulk de briqueta	g/cm3	2.391	2.405	2.391	2.396
25	Máxima densidad teórica	g/cm3	2.434	2.434	2.434	2.434
26	% vacíos	%	1.802	1.207	1.770	1.593
27	Peso específico bulk agregado total	g/cm3	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	g/cm3	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	g/cm3	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. absorbido por peso ag. seco	%	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado/ volumen bruto briqueta	%	86.065	86.586	86.093	
32	% volumen C.A. efectivo/volumen briqueta	%	12.134	12.207	12.137	
33	% vacíos en el agregado mineral – V.M.A	%	13.935	13.414	13.907	13.752
34	C.A. efectivo/peso de la mezcla	%	4.862	4.862	4.862	
35	Relación asfalto - vacíos (CA absorbido) – V.F.A.	%	87.072	91.000	87.276	88.449
36	Estabilidad sin corregir	kg	857.100	946.200	926.300	
37	Factor de estabilidad	-	1.040	1.040	1.040	
38	Estabilidad corregida	kg	891.384	984.048	963.352	946.261
39	Estabilidad corregida	KN	8.741	9.650	9.447	9.280
40	Flujo 0.01 mm	0.01mm	295.000	452.000	502.000	416.333
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 "	11.614	17.795	19.764	16.391
42	Relación estabilidad/flujo	kg/cm	3021.641	2177.097	1919.028	2372.589
43	Relación polvo/asfalto	-	1.057	1.057	1.057	1.057



**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA CONVENCIONAL CON 6.0% DE C.A.**

		N°	1	2	3	PROM
1	Número de briqueta					
2	% fibras	%	0	0	0	
3	Peso específico fibras	g/cm3	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	%	6.000	6.000	6.000	
5	% A.G.	%	49.350	49.350	49.350	
6	% A.F.	%	40.420	40.420	40.420	
7	% Filler	%	4.230	4.230	4.230	
8	Peso aparente C.A.	g/cm3	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	g/cm3	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	g/cm3	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	g/cm3	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	g/cm3	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	g/cm3	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	g/cm3	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	g/cm3	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	mm	62.860	58.560	61.980	
h2	Altura de briqueta H2	mm	61.460	60.800	61.740	
h3	Altura de briqueta H3	mm	59.500	63.600	61.720	
h4	Altura de briqueta H4	mm	60.700	63.100	61.660	
14	Altura promedio de briqueta	mm	61.130	61.515	61.775	
15	Peso briqueta al aire	g	1168.590	1183.820	1170.370	
16	Peso briqueta + parafina	g	1177.870	1190.430	1176.550	
17	Peso briqueta + parafina sumergida	g	680.000	690.000	675.000	
18	Volumen briqueta + parafina	cm3	497.870	500.430	501.550	
19	Peso parafina	cm3	9.280	6.610	6.180	
20	Volumen parafina	cm3	10.918	7.776	7.271	
21	Volumen briqueta por desplazamiento	cm3	486.952	492.654	494.279	
22	Volumen geométrico	cm3	495.581	498.702	500.810	
23	Volumen adoptado	cm3	486.952	492.654	494.279	
24	Peso específico bulk de briqueta	g/cm3	2.400	2.403	2.368	2.390
25	Máxima densidad teórica	g/cm3	2.417	2.417	2.417	2.417
26	% vacíos	%	0.701	0.571	2.024	1.099
27	Peso específico bulk agregado total	g/cm3	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	g/cm3	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	g/cm3	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. absorbido por peso ag. seco	%	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado/ volumen bruto briqueta	%	85.939	86.051	84.794	
32	% volumen C.A. efectivo/volumen briqueta	%	13.360	13.378	13.182	
33	% vacíos en el agregado mineral – V.M.A	%	14.061	13.949	15.206	14.406
34	C.A. efectivo/peso de la mezcla	%	5.366	5.366	5.366	
35	Relación asfalto - vacíos (CA absorbido) – V.F.A.	%	95.014	95.906	86.689	92.536
36	Estabilidad sin corregir	kg	735.300	809.300	728.300	
37	Factor de estabilidad	-	1.090	1.090	1.090	
38	Estabilidad corregida	kg	801.477	882.137	793.847	825.820
39	Estabilidad corregida	KN	7.860	8.651	7.785	8.099
40	Flujo 0.01 mm	0.01mm	426.000	479.000	443.000	449.333
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 "	16.772	18.858	17.441	17.690
42	Relación estabilidad/flujo	kg/cm	1881.401	1841.622	1791.980	1838.334
43	Relación polvo/asfalto	-	0.964	0.964	0.964	0.964

**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA CONVENCIONAL CON 6.5% DE C.A.**

1	Número de briqueta	N°	1	2	3	PROM
2	% fibras	%	0	0	0	
3	Peso específico fibras	g/cm3	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	%	6.500	6.500	6.500	
5	% A.G.	%	49.088	49.088	49.088	
6	% A.F.	%	40.205	40.205	40.205	
7	% Filler	%	4.208	4.208	4.208	
8	Peso aparente C.A.	g/cm3	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	g/cm3	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	g/cm3	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	g/cm3	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	g/cm3	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	g/cm3	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	g/cm3	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	g/cm3	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	mm	62.180	62.540	63.180	
h2	Altura de briqueta H2	mm	62.000	61.440	65.320	
h3	Altura de briqueta H3	mm	62.300	63.020	63.500	
h4	Altura de briqueta H4	mm	62.380	63.040	62.320	
14	Altura promedio de briqueta	mm	62.215	62.510	63.580	
15	Peso briqueta al aire	g	1203.840	1184.970	1187.100	
16	Peso briqueta + parafina	g	1209.360	1190.980	1192.760	
17	Peso briqueta + parafina sumergida	g	700.000	685.000	685.000	
18	Volumen briqueta + parafina	cm3	509.360	505.980	507.760	
19	Peso parafina	cm3	5.520	6.010	5.660	
20	Volumen parafina	cm3	6.494	7.071	6.659	
21	Volumen briqueta por desplazamiento	cm3	502.866	498.909	501.101	
22	Volumen geométrico	cm3	504.377	506.769	515.443	
23	Volumen adoptado	cm3	502.866	498.909	501.101	
24	Peso específico bulk de briqueta	g/cm3	2.394	2.375	2.369	2.379
25	Máxima densidad teórica	g/cm3	2.399	2.399	2.399	2.399
26	% vacíos	%	0.222	1.007	1.263	0.830
27	Peso específico bulk agregado total	g/cm3	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	g/cm3	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	g/cm3	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. absorbido por peso ag. seco	%	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado/ volumen bruto briqueta	%	85.273	84.602	84.384	
32	% volumen C.A. efectivo/volumen briqueta	%	14.505	14.391	14.354	
33	% vacíos en el agregado mineral – V.M.A	%	14.727	15.398	15.616	15.247
34	C.A. efectivo/peso de la mezcla	%	5.869	5.869	5.869	
35	Relación asfalto - vacíos (CA absorbido) – V.F.A.	%	98.494	93.461	91.914	94.623
36	Estabilidad sin corregir	kg	761.000	695.400	658.900	
37	Factor de estabilidad	-	1.040	1.040	1.040	
38	Estabilidad corregida	kg	791.440	723.216	685.256	733.304
39	Estabilidad corregida	KN	7.761	7.092	6.720	7.191
40	Flujo 0.01 mm	0.01mm	410.000	568.000	538.000	505.333
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 "	16.142	22.362	21.181	19.895
42	Relación estabilidad/flujo	kg/cm	1930.341	1273.268	1273.710	1492.440
43	Relación polvo/asfalto	-	0.885	0.885	0.885	0.885



**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA CONVENCIONAL CON 7.0% DE C.A.**

		N°	1	2	3	PROM
1	Número de briqueta					
2	% fibras	%	0	0	0	
3	Peso específico fibras	g/cm3	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	%	7.000	7.000	7.000	
5	% A.G.	%	48.825	48.825	48.825	
6	% A.F.	%	39.990	39.990	39.990	
7	% Filler	%	4.185	4.185	4.185	
8	Peso aparente C.A.	g/cm3	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	g/cm3	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	g/cm3	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	g/cm3	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	g/cm3	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	g/cm3	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	g/cm3	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	g/cm3	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	mm	63.480	63.060	62.320	
h2	Altura de briqueta H2	mm	64.320	63.560	62.060	
h3	Altura de briqueta H3	mm	62.940	63.000	65.180	
h4	Altura de briqueta H4	mm	62.300	64.680	64.740	
14	Altura promedio de briqueta	mm	63.260	63.575	63.575	
15	Peso briqueta al aire	g	1195.980	1195.440	1208.090	
16	Peso briqueta + parafina	g	1202.120	1200.810	1214.220	
17	Peso briqueta + parafina sumergida	g	690.000	690.000	695.000	
18	Volumen briqueta + parafina	cm3	512.120	510.810	519.220	
19	Peso parafina	cm3	6.140	5.370	6.130	
20	Volumen parafina	cm3	7.224	6.318	7.212	
21	Volumen briqueta por desplazamiento	cm3	504.896	504.492	512.008	
22	Volumen geométrico	cm3	512.849	515.403	515.403	
23	Volumen adoptado	cm3	504.896	504.492	512.008	
24	Peso específico bulk de briqueta	g/cm3	2.369	2.370	2.360	2.366
25	Máxima densidad teórica	g/cm3	2.382	2.382	2.382	2.382
26	% vacíos	%	0.558	0.523	0.946	0.676
27	Peso específico bulk agregado total	g/cm3	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	g/cm3	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	g/cm3	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. absorbido por peso ag. seco	%	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado/ volumen bruto briqueta	%	83.925	83.954	83.597	
32	% volumen C.A. efectivo/volumen briqueta	%	15.517	15.523	15.457	
33	% vacíos en el agregado mineral – V.M.A	%	16.075	16.046	16.403	16.175
34	C.A. efectivo/peso de la mezcla	%	6.373	6.373	6.373	
35	Relación asfalto - vacíos (CA absorbido) – V.F.A.	%	96.528	96.738	94.230	95.832
36	Estabilidad sin corregir	kg	666.600	685.300	668.400	
37	Factor de estabilidad	-	1.040	1.040	1.000	
38	Estabilidad corregida	kg	693.264	712.712	668.400	691.459
39	Estabilidad corregida	KN	6.799	6.989	6.555	6.781
40	Flujo 0.01 mm	0.01mm	480.000	503.000	610.000	531.000
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 "	18.898	19.803	24.016	20.906
42	Relación estabilidad/flujo	kg/cm	1444.300	1416.922	1095.738	1318.987
43	Relación polvo/asfalto	-	0.817	0.817	0.817	0.817



**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA MODIFICADA CON 4.5% DE C.A. Y 0.5% DE F.P - ENTERA**

1	Número de briqueta	N°	1	2	3	4	5	PROM
2	% fibras	%	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
3	Peso específico fibras	g/cm3	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	%	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	
5	% A.G.	%	49.887	49.887	49.887	49.887	49.887	
6	% A.F.	%	40.860	40.860	40.860	40.860	40.860	
7	% Filler	%	4.276	4.276	4.276	4.276	4.276	
8	Peso aparente C.A.	g/cm3	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	g/cm3	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	g/cm3	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	g/cm3	2.719294932	2.71929493	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	g/cm3	2.584	2.584	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	g/cm3	2.616	2.616	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	g/cm3	2.600034473	2.60003447	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	g/cm3	2.347	2.347	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	mm	68.260	67.340	67.530	65.460	65.700	
h2	Altura de briqueta H2	mm	67.700	65.800	68.260	65.440	67.620	
h3	Altura de briqueta H3	mm	65.620	65.110	65.570	67.570	65.700	
h4	Altura de briqueta H4	mm	65.810	65.930	67.400	66.690	66.940	
14	Altura promedio de briqueta	mm	66.848	66.045	67.190	66.290	66.490	
15	Peso briqueta al aire	g	1203.830	1204.780	1206.980	1207.450	1203.910	
16	Peso briqueta + parafina	g	1216.000	1217.620	1216.580	1216.630	1216.040	
17	Peso br. + parafina sumergida	g	680.000	685.000	680.000	680.000	680.000	
18	Volumen briqueta + parafina	cm3	536.000	532.620	536.580	536.630	536.040	
19	Peso parafina	cm3	12.170	12.840	9.600	9.180	12.130	
20	Volumen parafina	cm3	14.318	15.106	11.294	10.800	14.271	
21	Volumen briqueta por des.	cm3	521.682	517.514	525.286	525.830	521.769	
22	Volumen geométrico	cm3	541.933	535.427	544.709	537.413	539.034	
23	Volumen adoptado	cm3	521.682	517.514	525.286	525.830	521.769	
24	Peso esp. bulk de briqueta	g/cm3	2.308	2.328	2.298	2.296	2.307	2.307
25	Máxima densidad teórica	g/cm3	2.449	2.449	2.449	2.449	2.449	2.449
26	% vacíos	%	5.764	4.930	6.166	6.227	5.774	5.772
27	Peso específico bulk agr. total	g/cm3	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	g/cm3	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	g/cm3	2.648	2.648	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. abs. por peso ag. seco	%	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado	%	83.535	84.275	83.179	83.126	83.527	
32	% volumen C.A. efectivo	%	10.700	10.795	10.655	10.648	10.699	
33	% V.M.A	%	16.465	15.725	16.821	16.874	16.473	16.472
34	C.A. efectivo/peso mezcla	%	3.859	3.859	3.859	3.859	3.859	
35	V.F.A.	%	64.990	68.647	63.343	63.101	64.950	65.006
36	Estabilidad sin corregir	kg	1005.500	1196.100	1014.300	1082.200	1164.700	
37	Factor de estabilidad	-	1.000	1.000	0.960	0.960	1.000	
38	Estabilidad corregida	kg	1005.500	1196.100	973.728	1038.912	1164.700	1075.788
39	Estabilidad corregida	KN	9.861	11.730	9.549	10.188	11.422	10.550
40	Flujo 0.01 mm	0.01mm	328.000	360.000	320.000	327.000	315.000	330.000
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 "	12.913	14.173	12.598	12.874	12.402	12.992
42	Relación estabilidad/flujo	kg/cm	3065.549	3322.500	3042.900	3177.101	3697.460	3261.102
43	Relación polvo/asfalto	-	1.298	1.298	1.298	1.298	1.298	1.298



**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA MODIFICADA CON 4.5% DE C.A. Y 1.0% DE F.P - ENTERA**

	Nº	1	2	3	4	5	PROM
1	Número de briqueta						
2	% fibras	1	1	1	1	1	
3	Peso específico fibras	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	
5	% A.G.	49.636	49.636	49.636	49.636	49.636	
6	% A.F.	40.654	40.654	40.654	40.654	40.654	
7	% Filler	4.255	4.255	4.255	4.255	4.255	
8	Peso aparente C.A.	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	2.71929493	2.71929493	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	2.584	2.584	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	2.616	2.616	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	2.60003447	2.60003447	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	2.347	2.347	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	66.220	68.230	66.200	66.540	66.870	
h2	Altura de briqueta H2	67.300	67.910	66.160	67.320	65.900	
h3	Altura de briqueta H3	67.300	68.200	66.250	66.810	68.090	
h4	Altura de briqueta H4	66.380	65.670	67.480	66.100	67.930	
14	Altura promedio de briqueta	66.800	67.503	66.523	66.693	67.198	
15	Peso briqueta al aire	1204.690	1202.770	1203.150	1203.490	1203.590	
16	Peso briqueta + parafina	1225.930	1223.310	1222.740	1223.350	1224.940	
17	Peso br. + parafina sumergida	670.000	670.000	670.000	670.000	670.000	
18	Volumen briqueta + parafina	555.930	553.310	552.740	553.350	554.940	
19	Peso parafina	21.240	20.540	19.590	19.860	21.350	
20	Volumen parafina	24.988	24.165	23.047	23.365	25.118	
21	Volumen briqueta por des.	530.942	529.145	529.693	529.985	529.822	
22	Volumen geométrico	541.548	547.243	539.298	540.676	544.770	
23	Volumen adoptado	530.942	529.145	529.693	529.985	529.822	
24	Peso esp. bulk de briqueta	2.269	2.273	2.271	2.271	2.272	2.271
25	Máxima densidad teórica	2.427	2.427	2.427	2.427	2.427	2.427
26	% vacíos	6.518	6.350	6.417	6.442	6.406	6.426
27	Peso específico bulk agr. total	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	2.648	2.648	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. abs. por peso ag. seco	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado	81.724	81.871	81.812	81.790	81.822	
32	% volumen C.A. efectivo	11.758	11.779	11.771	11.767	11.772	
33	% V.M.A	18.276	18.129	18.188	18.210	18.178	18.196
34	C.A. efectivo/peso mezcla	3.862	3.862	3.862	3.862	3.862	
35	V.F.A.	64.337	64.974	64.718	64.622	64.761	64.682
36	Estabilidad sin corregir	1012.800	996.800	1114.300	1050.100	1078.500	
37	Factor de estabilidad	0.960	0.960	0.960	0.960	0.960	
38	Estabilidad corregida	972.288	956.928	1069.728	1008.096	1035.360	1008.480
39	Estabilidad corregida	9.535	9.384	10.490	9.886	10.153	9.890
40	Flujo 0.01 mm	473.000	332.000	340.000	432.000	382.000	391.800
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	18.622	13.071	13.386	17.008	15.039	15.425
42	Relación estabilidad/flujo	2055.577	2882.313	3146.259	2333.556	2710.366	2625.614
43	Relación polvo/asfalto	1.292	1.292	1.292	1.292	1.292	1.292



**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA MODIFICADA CON 4.5% DE C.A. Y 1.5% DE F.P - ENTERA**

1	Número de briqueta	N°	1	2	3	4	5	PROM
2	% fibras	%	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
3	Peso específico fibras	g/cm3	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	%	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	
5	% A.G.	%	49.385	49.385	49.385	49.385	49.385	
6	% A.F.	%	40.449	40.449	40.449	40.449	40.449	
7	% Filler	%	4.233	4.233	4.233	4.233	4.233	
8	Peso aparente C.A.	g/cm3	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	g/cm3	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	g/cm3	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	g/cm3	2.71929493	2.71929493	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	g/cm3	2.584	2.584	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	g/cm3	2.616	2.616	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	g/cm3	2.60003447	2.60003447	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	g/cm3	2.347	2.347	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	mm	68.190	67.960	69.310	73.700	67.050	
h2	Altura de briqueta H2	mm	66.590	67.910	70.170	71.410	66.530	
h3	Altura de briqueta H3	mm	68.460	66.330	70.400	70.860	67.980	
h4	Altura de briqueta H4	mm	67.870	66.030	70.930	72.200	69.450	
14	Altura promedio de briqueta	mm	67.778	67.058	70.203	72.043	67.753	
15	Peso briqueta al aire	g	1195.070	1201.360	1203.490	1204.970	1195.350	
16	Peso briqueta + parafina	g	1214.150	1220.310	1226.260	1231.450	1224.280	
17	Peso br. + parafina sumergida	g	660.000	665.000	655.000	650.000	660.000	
18	Volumen briqueta + parafina	cm3	554.150	555.310	571.260	581.450	564.280	
19	Peso parafina	cm3	19.080	18.950	22.770	26.480	28.930	
20	Volumen parafina	cm3	22.447	22.294	26.788	31.153	34.035	
21	Volumen briqueta por des.	cm3	531.703	533.016	544.472	550.297	530.245	
22	Volumen geométrico	cm3	549.472	543.635	569.132	584.049	549.270	
23	Volumen adoptado	cm3	531.703	533.016	544.472	550.297	530.245	
24	Peso esp. bulk de briqueta	g/cm3	2.248	2.254	2.210	2.190	2.254	2.231
25	Máxima densidad teórica	g/cm3	2.406	2.406	2.406	2.406	2.406	2.406
26	% vacíos	%	6.581	6.320	8.129	8.989	6.302	7.264
27	Peso específico bulk agr. total	g/cm3	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	g/cm3	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	g/cm3	2.648	2.648	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. abs. por peso ag. seco	%	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado	%	80.547	80.771	79.212	78.470	80.787	
32	% volumen C.A. efectivo	%	12.873	12.908	12.659	12.541	12.911	
33	% V.M.A	%	19.453	19.229	20.788	21.530	19.213	20.043
34	C.A. efectivo/peso mezcla	%	3.865	3.865	3.865	3.865	3.865	
35	V.F.A.	%	66.172	67.131	60.897	58.247	67.200	63.929
36	Estabilidad sin corregir	kg	999.500	935.000	1142.700	1068.400	1091.900	
37	Factor de estabilidad	-	0.960	0.960	0.930	0.890	0.960	
38	Estabilidad corregida	kg	959.520	897.600	1062.711	950.876	1048.224	983.786
39	Estabilidad corregida	KN	9.410	8.802	10.422	9.325	10.280	9.648
40	Flujo 0.01 mm	0.01mm	447.000	350.000	470.000	388.000	403.000	411.600
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 "	17.598	13.780	18.504	15.276	15.866	16.205
42	Relación estabilidad/flujo	kg/cm	2146.577	2564.571	2261.087	2450.711	2601.052	2404.800
43	Relación polvo/asfalto	-	1.285	1.285	1.285	1.285	1.285	1.285



**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA MODIFICADA CON 4.5% DE C.A. Y 2.0% DE F.P - ENTERA**

	Nº	1	2	3	4	5	PROM
1	Número de briqueta						
2	% fibras	2	2	2	2	2	
3	Peso específico fibras	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	
5	% A.G.	49.135	49.135	49.135	49.135	49.135	
6	% A.F.	40.244	40.244	40.244	40.244	40.244	
7	% Filler	4.212	4.212	4.212	4.212	4.212	
8	Peso aparente C.A.	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	2.71929493	2.71929493	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	2.584	2.584	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	2.616	2.616	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	2.60003447	2.60003447	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	2.347	2.347	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	70.820	70.000	71.230	71.370	69.080	
h2	Altura de briqueta H2	72.210	68.100	74.140	71.000	68.260	
h3	Altura de briqueta H3	70.810	67.130	72.540	70.740	73.340	
h4	Altura de briqueta H4	69.130	66.610	69.750	71.510	74.040	
14	Altura promedio de briqueta	70.743	67.960	71.915	71.155	71.180	
15	Peso briqueta al aire	1174.940	1194.990	1201.980	1201.330	1177.840	
16	Peso briqueta + parafina	1182.650	1205.330	1218.880	1218.640	1205.110	
17	Peso br. + parafina sumergida	635.000	645.000	650.000	650.000	640.000	
18	Volumen briqueta + parafina	547.650	560.330	568.880	568.640	565.110	
19	Peso parafina	7.710	10.340	16.900	17.310	27.270	
20	Volumen parafina	9.071	12.165	19.882	20.365	32.082	
21	Volumen briqueta por des.	538.579	548.165	548.998	548.275	533.028	
22	Volumen geométrico	573.509	550.952	583.015	576.854	577.056	
23	Volumen adoptado	538.579	548.165	548.998	548.275	533.028	
24	Peso esp. bulk de briqueta	2.182	2.180	2.189	2.191	2.210	2.190
25	Máxima densidad teórica	2.385	2.385	2.385	2.385	2.385	2.385
26	% vacíos	8.535	8.601	8.205	8.134	7.354	8.166
27	Peso específico bulk agr. total	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	2.648	2.648	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. abs. por peso ag. seco	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado	77.782	77.726	78.062	78.123	78.786	
32	% volumen C.A. efectivo	13.683	13.673	13.732	13.743	13.860	
33	% V.M.A	22.218	22.274	21.938	21.877	21.214	21.904
34	C.A. efectivo/peso mezcla	3.869	3.869	3.869	3.869	3.869	
35	V.F.A.	61.587	61.387	62.597	62.819	65.334	62.745
36	Estabilidad sin corregir	964.000	1626.000	932.500	857.000	990.100	
37	Factor de estabilidad	0.930	0.890	0.890	0.890	0.960	
38	Estabilidad corregida	896.520	1447.140	829.925	762.730	950.496	977.362
39	Estabilidad corregida	8.792	14.192	8.139	7.480	9.321	9.585
40	Flujo 0.01 mm	440.000	462.000	436.000	425.000	456.000	443.800
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	17.323	18.189	17.165	16.732	17.953	17.472
42	Relación estabilidad/flujo	2037.545	3132.338	1903.498	1794.659	2084.421	2190.492
43	Relación polvo/asfalto	1.278	1.278	1.278	1.278	1.278	1.278



**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA MODIFICADA CON 4.5% DE C.A. Y 2.5% DE F.P - ENTERA**

	Nº	1	2	3	4	5	PROM
1	Número de briqueta						
2	% fibras	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
3	Peso específico fibras	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	
5	% A.G.	48.884	48.884	48.884	48.884	48.884	
6	% A.F.	40.038	40.038	40.038	40.038	40.038	
7	% Filler	4.190	4.190	4.190	4.190	4.190	
8	Peso aparente C.A.	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	2.71929493	2.71929493	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	2.584	2.584	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	2.616	2.616	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	2.60003447	2.60003447	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	2.347	2.347	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	71.760	73.410	72.840	74.340	70.730	
h2	Altura de briqueta H2	72.130	74.430	70.310	72.050	71.740	
h3	Altura de briqueta H3	71.210	73.500	71.280	72.860	74.050	
h4	Altura de briqueta H4	70.160	71.780	72.750	73.860	71.410	
14	Altura promedio de briqueta	71.315	73.280	71.795	73.278	71.983	
15	Peso briqueta al aire	1200.990	1203.610	1201.220	1203.070	1201.710	
16	Peso briqueta + parafina	1215.180	1219.050	1217.590	1216.670	1215.960	
17	Peso br. + parafina sumergida	645.000	640.000	645.000	640.000	640.000	
18	Volumen briqueta + parafina	570.180	579.050	572.590	576.670	575.960	
19	Peso parafina	14.190	15.440	16.370	13.600	14.250	
20	Volumen parafina	16.694	18.165	19.259	16.000	16.765	
21	Volumen briqueta por des.	553.486	560.885	553.331	560.670	559.195	
22	Volumen geométrico	578.151	594.081	582.042	594.061	583.562	
23	Volumen adoptado	553.486	560.885	553.331	560.670	559.195	
24	Peso esp. bulk de briqueta	2.170	2.146	2.171	2.146	2.149	2.156
25	Máxima densidad teórica	2.365	2.365	2.365	2.365	2.365	2.365
26	% vacíos	8.237	9.250	8.193	9.256	9.119	8.811
27	Peso específico bulk agr. total	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	2.648	2.648	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. abs. por peso ag. seco	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado	76.971	76.121	77.007	76.116	76.230	
32	% volumen C.A. efectivo	14.793	14.629	14.800	14.628	14.650	
33	% V.M.A	23.029	23.879	22.993	23.884	23.770	23.511
34	C.A. efectivo/peso mezcla	3.872	3.872	3.872	3.872	3.872	
35	V.F.A.	64.234	61.264	64.366	61.248	61.635	62.549
36	Estabilidad sin corregir	1162.400	998.800	1147.200	1102.900	1130.200	
37	Factor de estabilidad	0.890	0.860	0.890	0.860	0.890	
38	Estabilidad corregida	1034.536	858.968	1021.008	948.494	1005.878	973.777
39	Estabilidad corregida	10.145	8.424	10.013	9.302	9.864	9.549
40	Flujo 0.01 mm	482.000	530.000	497.000	511.000	514.000	506.800
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	18.976	20.866	19.567	20.118	20.236	19.953
42	Relación estabilidad/flujo	2146.340	1620.694	2054.342	1856.153	1956.961	1926.898
43	Relación polvo/asfalto	1.271	1.271	1.271	1.271	1.271	1.271



**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA MODIFICADA CON 4.5% DE C.A. Y 0.5% DE F.P - MEDIA**

	Nº	1	2	3	4	5	PROM
1	Número de briqueta						
2	% fibras	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
3	Peso específico fibras	g/cm3 0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	% 4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	
5	% A.G.	% 49.887	49.887	49.887	49.887	49.887	
6	% A.F.	% 40.860	40.860	40.860	40.860	40.860	
7	% Filler	% 4.276	4.276	4.276	4.276	4.276	
8	Peso aparente C.A.	g/cm3 1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	g/cm3 2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	g/cm3 2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	g/cm3 2.719294932	2.71929493	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	g/cm3 2.584	2.584	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	g/cm3 2.616	2.616	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	g/cm3 2.600034473	2.60003447	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	g/cm3 2.347	2.347	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	mm 68.030	65.120	65.650	65.470	67.670	
h2	Altura de briqueta H2	mm 67.560	67.320	66.190	65.610	65.380	
h3	Altura de briqueta H3	mm 64.990	69.300	67.010	67.680	69.230	
h4	Altura de briqueta H4	mm 65.550	66.900	66.180	67.260	69.070	
14	Altura promedio de briqueta	mm 66.533	67.160	66.258	66.505	67.838	
15	Peso briqueta al aire	g 1200.850	1204.280	1201.460	1202.350	1202.490	
16	Peso briqueta + parafina	g 1216.320	1213.630	1215.350	1213.300	1216.800	
17	Peso br. + parafina sumergida	g 680.000	685.000	680.000	680.000	680.000	
18	Volumen briqueta + parafina	cm3 536.320	528.630	535.350	533.300	536.800	
19	Peso parafina	cm3 15.470	9.350	13.890	10.950	14.310	
20	Volumen parafina	cm3 18.200	11.000	16.341	12.882	16.835	
21	Volumen briqueta por des.	cm3 518.120	517.630	519.009	520.418	519.965	
22	Volumen geométrico	cm3 539.379	544.466	537.150	539.156	549.959	
23	Volumen adoptado	cm3 518.120	517.630	519.009	520.418	519.965	
24	Peso esp. bulk de briqueta	g/cm3 2.318	2.327	2.315	2.310	2.313	2.316
25	Máxima densidad teórica	g/cm3 2.449	2.449	2.449	2.449	2.449	2.449
26	% vacíos	% 5.351	4.991	5.465	5.651	5.558	5.404
27	Peso específico bulk agr. total	g/cm3 2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	g/cm3 2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	g/cm3 2.648	2.648	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. abs. por peso ag. seco	% 0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado	% 83.901	84.221	83.800	83.635	83.718	
32	% volumen C.A. efectivo	% 10.747	10.788	10.734	10.713	10.724	
33	% V.M.A	% 16.099	15.779	16.200	16.365	16.282	16.145
34	C.A. efectivo/peso mezcla	% 3.859	3.859	3.859	3.859	3.859	
35	V.F.A.	% 66.759	68.369	66.262	65.465	65.862	66.544
36	Estabilidad sin corregir	kg 1204.300	1143.400	1167.400	1174.700	1150.700	
37	Factor de estabilidad	- 1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
38	Estabilidad corregida	kg 1204.300	1143.400	1167.400	1174.700	1150.700	1168.100
39	Estabilidad corregida	KN 11.810	11.213	11.448	11.520	11.285	11.455
40	Flujo 0.01 mm	0.01mm 430.000	354.000	356.000	378.000	319.000	367.400
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 " 16.929	13.937	14.016	14.882	12.559	14.465
42	Relación estabilidad/flujo	kg/cm 2800.698	3229.944	3279.213	3107.672	3607.210	3204.947
43	Relación polvo/asfalto	- 1.298	1.298	1.298	1.298	1.298	1.298



**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA MODIFICADA CON 4.5% DE C.A. Y 1.0% DE F.P - MEDIA**

	Nº	1	2	3	4	5	PROM
1	Número de briqueta						
2	% fibras	1	1	1	1	1	
3	Peso específico fibras	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	
5	% A.G.	49.636	49.636	49.636	49.636	49.636	
6	% A.F.	40.654	40.654	40.654	40.654	40.654	
7	% Filler	4.255	4.255	4.255	4.255	4.255	
8	Peso aparente C.A.	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	2.71929493	2.71929493	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	2.584	2.584	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	2.616	2.616	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	2.60003447	2.60003447	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	2.347	2.347	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	67.340	65.650	66.810	65.910	67.800	
h2	Altura de briqueta H2	65.390	68.320	67.730	67.580	65.570	
h3	Altura de briqueta H3	65.840	68.250	65.740	65.930	68.030	
h4	Altura de briqueta H4	68.590	65.960	66.510	67.660	67.640	
14	Altura promedio de briqueta	66.790	67.045	66.698	66.770	67.260	
15	Peso briqueta al aire	1201.580	1206.730	1205.970	1203.170	1204.440	
16	Peso briqueta + parafina	1215.150	1217.510	1217.130	1217.220	1216.890	
17	Peso br. + parafina sumergida	670.000	675.000	675.000	675.000	675.000	
18	Volumen briqueta + parafina	545.150	542.510	542.130	542.220	541.890	
19	Peso parafina	13.570	10.780	11.160	14.050	12.450	
20	Volumen parafina	15.965	12.682	13.129	16.529	14.647	
21	Volumen briqueta por des.	529.185	529.828	529.001	525.691	527.243	
22	Volumen geométrico	541.467	543.534	540.717	541.304	545.277	
23	Volumen adoptado	529.185	529.828	529.001	525.691	527.243	
24	Peso esp. bulk de briqueta	2.271	2.278	2.280	2.289	2.284	2.280
25	Máxima densidad teórica	2.427	2.427	2.427	2.427	2.427	2.427
26	% vacíos	6.449	6.162	6.075	5.703	5.881	6.054
27	Peso específico bulk agr. total	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	2.648	2.648	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. abs. por peso ag. seco	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado	81.784	82.035	82.111	82.437	82.281	
32	% volumen C.A. efectivo	11.767	11.803	11.814	11.860	11.838	
33	% V.M.A	18.216	17.965	17.889	17.563	17.719	17.871
34	C.A. efectivo/peso mezcla	3.862	3.862	3.862	3.862	3.862	
35	V.F.A.	64.594	65.698	66.040	67.529	66.808	66.134
36	Estabilidad sin corregir	1481.400	1394.500	1471.500	1463.500	1411.300	
37	Factor de estabilidad	0.960	0.960	0.960	0.960	0.960	
38	Estabilidad corregida	1422.144	1338.720	1412.640	1404.960	1354.848	1386.662
39	Estabilidad corregida	13.946	13.128	13.853	13.778	13.287	13.599
40	Flujo 0.01 mm	430.000	460.000	393.000	417.000	326.000	405.200
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	16.929	18.110	15.472	16.417	12.835	15.953
42	Relación estabilidad/flujo	3307.312	2910.261	3594.504	3369.209	4155.975	3467.452
43	Relación polvo/asfalto	1.292	1.292	1.292	1.292	1.292	1.292



**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA MODIFICADA CON 4.5% DE C.A. Y 1.5% DE F.P - MEDIA**

	Nº	1	2	3	4	5	PROM
1	Número de briqueta						
2	% fibras	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
3	Peso específico fibras	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	
5	% A.G.	49.385	49.385	49.385	49.385	49.385	
6	% A.F.	40.449	40.449	40.449	40.449	40.449	
7	% Filler	4.233	4.233	4.233	4.233	4.233	
8	Peso aparente C.A.	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	2.71929493	2.71929493	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	2.584	2.584	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	2.616	2.616	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	2.60003447	2.60003447	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	2.347	2.347	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	68.490	68.390	69.280	68.850	68.460	
h2	Altura de briqueta H2	67.330	66.660	68.310	69.190	67.090	
h3	Altura de briqueta H3	68.620	68.100	69.090	68.850	69.030	
h4	Altura de briqueta H4	69.190	69.660	68.130	69.270	67.500	
14	Altura promedio de briqueta	68.408	68.203	68.703	69.040	68.020	
15	Peso briqueta al aire	1206.140	1209.700	1209.110	1207.920	1207.150	
16	Peso briqueta + parafina	1220.520	1223.520	1221.310	1221.750	1221.320	
17	Peso br. + parafina sumergida	670.000	670.000	670.000	665.000	665.000	
18	Volumen briqueta + parafina	550.520	553.520	551.310	556.750	556.320	
19	Peso parafina	14.380	13.820	12.200	13.830	14.170	
20	Volumen parafina	16.918	16.259	14.353	16.271	16.671	
21	Volumen briqueta por des.	533.602	537.261	536.957	540.479	539.649	
22	Volumen geométrico	554.580	552.918	556.971	559.707	551.438	
23	Volumen adoptado	533.602	537.261	536.957	540.479	539.649	
24	Peso esp. bulk de briqueta	2.260	2.252	2.252	2.235	2.237	2.247
25	Máxima densidad teórica	2.406	2.406	2.406	2.406	2.406	2.406
26	% vacíos	6.051	6.415	6.408	7.109	7.026	6.602
27	Peso específico bulk agr. total	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	2.648	2.648	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. abs. por peso ag. seco	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado	81.004	80.689	80.696	80.091	80.163	
32	% volumen C.A. efectivo	12.946	12.895	12.896	12.800	12.811	
33	% V.M.A	18.996	19.311	19.304	19.909	19.837	19.472
34	C.A. efectivo/peso mezcla	3.865	3.865	3.865	3.865	3.865	
35	V.F.A.	68.147	66.778	66.805	64.291	64.582	66.121
36	Estabilidad sin corregir	1192.200	1635.900	1218.200	1451.800	1496.600	
37	Factor de estabilidad	0.960	0.930	0.930	0.930	0.930	
38	Estabilidad corregida	1144.512	1521.387	1132.926	1350.174	1391.838	1308.167
39	Estabilidad corregida	11.224	14.920	11.110	13.241	13.649	12.829
40	Flujo 0.01 mm	425.000	420.000	391.000	404.000	412.000	410.400
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	16.732	16.535	15.394	15.906	16.220	16.157
42	Relación estabilidad/flujo	2692.969	3622.350	2897.509	3342.015	3378.248	3186.618
43	Relación polvo/asfalto	1.285	1.285	1.285	1.285	1.285	1.285



**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA MODIFICADA CON 4.5% DE C.A. Y 2.0% DE F.P - MEDIA**

	Nº	1	2	3	4	5	PROM	
1	Número de briqueta							
2	% fibras	2	2	2	2	2		
3	Peso específico fibras	g/cm3	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	%	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	
5	% A.G.	%	49.135	49.135	49.135	49.135	49.135	
6	% A.F.	%	40.244	40.244	40.244	40.244	40.244	
7	% Filler	%	4.212	4.212	4.212	4.212	4.212	
8	Peso aparente C.A.	g/cm3	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	g/cm3	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	g/cm3	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	g/cm3	2.71929493	2.71929493	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	g/cm3	2.584	2.584	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	g/cm3	2.616	2.616	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	g/cm3	2.60003447	2.60003447	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	g/cm3	2.347	2.347	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	mm	72.430	69.820	71.550	70.410	70.040	
h2	Altura de briqueta H2	mm	72.930	71.720	72.370	71.800	69.930	
h3	Altura de briqueta H3	mm	71.210	70.600	71.610	71.770	71.990	
h4	Altura de briqueta H4	mm	71.000	69.480	72.720	71.130	72.110	
14	Altura promedio de briqueta	mm	71.893	70.405	72.063	71.278	71.018	
15	Peso briqueta al aire	g	1207.390	1205.700	1204.340	1202.360	1207.180	
16	Peso briqueta + parafina	g	1228.480	1225.020	1225.390	1225.860	1226.700	
17	Peso br. + parafina sumergida	g	660.000	655.000	655.000	655.000	660.000	
18	Volumen briqueta + parafina	cm3	568.480	570.020	570.390	570.860	566.700	
19	Peso parafina	cm3	21.090	19.320	21.050	23.500	19.520	
20	Volumen parafina	cm3	24.812	22.729	24.765	27.647	22.965	
21	Volumen briqueta por des.	cm3	543.668	547.291	545.625	543.213	543.735	
22	Volumen geométrico	cm3	582.832	570.773	584.211	577.847	575.739	
23	Volumen adoptado	cm3	543.668	547.291	545.625	543.213	543.735	
24	Peso esp. bulk de briqueta	g/cm3	2.221	2.203	2.207	2.213	2.220	2.213
25	Máxima densidad teórica	g/cm3	2.385	2.385	2.385	2.385	2.385	2.385
26	% vacíos	%	6.888	7.634	7.457	7.198	6.916	7.219
27	Peso específico bulk agr. total	g/cm3	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	g/cm3	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	g/cm3	2.648	2.648	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. abs. por peso ag. seco	%	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado	%	79.182	78.548	78.699	78.918	79.159	
32	% volumen C.A. efectivo	%	13.930	13.818	13.845	13.883	13.925	
33	% V.M.A	%	20.818	21.452	21.301	21.082	20.841	21.099
34	C.A. efectivo/peso mezcla	%	3.869	3.869	3.869	3.869	3.869	
35	V.F.A.	%	66.912	64.413	64.994	65.854	66.816	65.798
36	Estabilidad sin corregir	kg	1272.800	1453.400	1157.600	1345.800	1115.400	
37	Factor de estabilidad	-	0.930	0.890	0.930	0.930	0.930	
38	Estabilidad corregida	kg	1183.704	1293.526	1076.568	1251.594	1037.322	1168.543
39	Estabilidad corregida	KN	11.608	12.685	10.558	12.274	10.173	11.459
40	Flujo 0.01 mm	0.01mm	399.000	412.000	409.000	432.000	442.000	418.800
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 "	15.709	16.220	16.102	17.008	17.402	16.488
42	Relación estabilidad/flujo	kg/cm	2966.677	3139.626	2632.196	2897.208	2346.882	2796.518
43	Relación polvo/asfalto	-	1.278	1.278	1.278	1.278	1.278	1.278



**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA MODIFICADA CON 4.5% DE C.A. Y 2.5% DE F.P - MEDIA**

1	Número de briqueta	N°	1	2	3	4	5	PROM
2	% fibras	%	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
3	Peso específico fibras	g/cm3	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	%	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	
5	% A.G.	%	48.884	48.884	48.884	48.884	48.884	
6	% A.F.	%	40.038	40.038	40.038	40.038	40.038	
7	% Filler	%	4.190	4.190	4.190	4.190	4.190	
8	Peso aparente C.A.	g/cm3	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	g/cm3	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	g/cm3	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	g/cm3	2.71929493	2.71929493	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	g/cm3	2.584	2.584	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	g/cm3	2.616	2.616	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	g/cm3	2.60003447	2.60003447	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	g/cm3	2.347	2.347	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	mm	72.940	70.040	73.460	73.240	70.520	
h2	Altura de briqueta H2	mm	74.570	71.260	74.240	71.450	73.150	
h3	Altura de briqueta H3	mm	72.500	74.240	72.050	71.320	71.740	
h4	Altura de briqueta H4	mm	70.570	72.250	70.890	71.320	73.280	
14	Altura promedio de briqueta	mm	72.645	71.948	72.660	71.833	72.173	
15	Peso briqueta al aire	g	1198.970	1203.390	1201.040	1201.200	1200.610	
16	Peso briqueta + parafina	g	1216.430	1222.720	1216.630	1221.180	1220.650	
17	Peso br. + parafina sumergida	g	645.000	650.000	645.000	645.000	645.000	
18	Volumen briqueta + parafina	cm3	571.430	572.720	571.630	576.180	575.650	
19	Peso parafina	cm3	17.460	19.330	15.590	19.980	20.040	
20	Volumen parafina	cm3	20.541	22.741	18.341	23.506	23.576	
21	Volumen briqueta por des.	cm3	550.889	549.979	553.289	552.674	552.074	
22	Volumen geométrico	cm3	588.933	583.278	589.055	582.346	585.102	
23	Volumen adoptado	cm3	550.889	549.979	553.289	552.674	552.074	
24	Peso esp. bulk de briqueta	g/cm3	2.176	2.188	2.171	2.173	2.175	2.177
25	Máxima densidad teórica	g/cm3	2.365	2.365	2.365	2.365	2.365	2.365
26	% vacíos	%	7.959	7.467	8.200	8.086	8.031	7.949
27	Peso específico bulk agr. total	g/cm3	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	g/cm3	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	g/cm3	2.648	2.648	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. abs. por peso ag. seco	%	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado	%	77.203	77.616	77.001	77.097	77.143	
32	% volumen C.A. efectivo	%	14.837	14.917	14.799	14.817	14.826	
33	% V.M.A	%	22.797	22.384	22.999	22.903	22.857	22.788
34	C.A. efectivo/peso mezcla	%	3.872	3.872	3.872	3.872	3.872	
35	V.F.A.	%	65.086	66.641	64.345	64.695	64.864	65.126
36	Estabilidad sin corregir	kg	991.600	1259.400	1084.100	1085.000	1136.980	
37	Factor de estabilidad	-	0.890	0.890	0.890	0.890	0.890	
38	Estabilidad corregida	kg	882.524	1120.866	964.849	965.650	1011.912	989.160
39	Estabilidad corregida	KN	8.655	10.992	9.462	9.470	9.923	9.700
40	Flujo 0.01 mm	0.01mm	455.000	440.000	474.000	398.000	462.000	445.800
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 "	17.913	17.323	18.661	15.669	18.189	17.551
42	Relación estabilidad/flujo	kg/cm	1939.613	2547.423	2035.546	2426.256	2190.286	2227.825
43	Relación polvo/asfalto	-	1.271	1.271	1.271	1.271	1.271	1.271



**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA MODIFICADA CON 4.5% DE C.A. Y 0.5% DE F.P - TERCIA**

		N°	1	2	3	4	5	PROM
1	Número de briqueta							
2	% fibras	%	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
3	Peso específico fibras	g/cm3	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	%	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	
5	% A.G.	%	49.887	49.887	49.887	49.887	49.887	
6	% A.F.	%	40.860	40.860	40.860	40.860	40.860	
7	% Filler	%	4.276	4.276	4.276	4.276	4.276	
8	Peso aparente C.A.	g/cm3	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	g/cm3	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	g/cm3	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	g/cm3	2.719294932	2.71929493	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	g/cm3	2.584	2.584	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	g/cm3	2.616	2.616	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	g/cm3	2.600034473	2.60003447	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	g/cm3	2.347	2.347	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	mm	64.590	66.670	64.590	65.880	65.670	
h2	Altura de briqueta H2	mm	65.900	65.990	64.750	65.760	66.250	
h3	Altura de briqueta H3	mm	66.610	65.440	64.930	65.950	66.270	
h4	Altura de briqueta H4	mm	65.610	66.170	65.950	65.230	66.120	
14	Altura promedio de briqueta	mm	65.678	66.068	65.055	65.705	66.078	
15	Peso briqueta al aire	g	1203.390	1199.200	1200.650	1204.600	1202.040	
16	Peso briqueta + parafina	g	1222.660	1213.170	1214.650	1220.970	1219.360	
17	Peso br. + parafina sumergida	g	685.000	685.000	695.000	700.000	695.000	
18	Volumen briqueta + parafina	cm3	537.660	528.170	519.650	520.970	524.360	
19	Peso parafina	cm3	19.270	13.970	14.000	16.370	17.320	
20	Volumen parafina	cm3	22.671	16.435	16.471	19.259	20.376	
21	Volumen briqueta por des.	cm3	514.989	511.735	503.179	501.711	503.984	
22	Volumen geométrico	cm3	532.447	535.609	527.401	532.670	535.690	
23	Volumen adoptado	cm3	514.989	511.735	503.179	501.711	503.984	
24	Peso esp. bulk de briqueta	g/cm3	2.337	2.343	2.386	2.401	2.385	2.370
25	Máxima densidad teórica	g/cm3	2.449	2.449	2.449	2.449	2.449	2.449
26	% vacíos	%	4.575	4.302	2.557	1.951	2.600	3.197
27	Peso específico bulk agr. total	g/cm3	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	g/cm3	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	g/cm3	2.648	2.648	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. abs. por peso ag. seco	%	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado	%	84.590	84.832	86.378	86.916	86.340	
32	% volumen C.A. efectivo	%	10.835	10.866	11.065	11.133	11.060	
33	% V.M.A	%	15.410	15.168	13.622	13.084	13.660	14.189
34	C.A. efectivo/peso mezcla	%	3.859	3.859	3.859	3.859	3.859	
35	V.F.A.	%	70.314	71.638	81.227	85.092	80.966	77.848
36	Estabilidad sin corregir	kg	1118.300	1140.100	1135.300	1168.300	1098.360	
37	Factor de estabilidad	-	1.000	1.000	1.040	1.040	1.040	
38	Estabilidad corregida	kg	1118.300	1140.100	1180.712	1215.032	1142.294	1159.288
39	Estabilidad corregida	KN	10.967	11.181	11.579	11.915	11.202	11.369
40	Flujo 0.01 mm	0.01mm	344.000	304.000	360.000	326.000	304.000	327.600
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 "	13.543	11.969	14.173	12.835	11.969	12.898
42	Relación estabilidad/flujo	kg/cm	3250.872	3750.329	3279.756	3727.092	3757.547	3553.119
43	Relación polvo/asfalto	-	1.298	1.298	1.298	1.298	1.298	1.298



**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA MODIFICADA CON 4.5% DE C.A. Y 1.0% DE F.P. - TERCIA**

		N°	1	2	3	4	5	PROM
1	Número de briqueta							
2	% fibras	%	1	1	1	1	1	
3	Peso específico fibras	g/cm3	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	%	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	
5	% A.G.	%	49.636	49.636	49.636	49.636	49.636	
6	% A.F.	%	40.654	40.654	40.654	40.654	40.654	
7	% Filler	%	4.255	4.255	4.255	4.255	4.255	
8	Peso aparente C.A.	g/cm3	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	g/cm3	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	g/cm3	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	g/cm3	2.71929493	2.71929493	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	g/cm3	2.584	2.584	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	g/cm3	2.616	2.616	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	g/cm3	2.60003447	2.60003447	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	g/cm3	2.347	2.347	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	mm	67.190	69.740	66.420	67.850	67.080	
h2	Altura de briqueta H2	mm	66.060	69.440	65.740	68.590	68.620	
h3	Altura de briqueta H3	mm	66.790	68.410	64.580	66.300	65.850	
h4	Altura de briqueta H4	mm	67.600	68.220	65.260	65.370	65.400	
14	Altura promedio de briqueta	mm	66.910	68.953	65.500	67.028	66.738	
15	Peso briqueta al aire	g	1204.730	1204.300	1200.650	1198.270	1202.640	
16	Peso briqueta + parafina	g	1217.370	1221.170	1209.240	1209.800	1212.350	
17	Peso br. + parafina sumergida	g	690.000	690.000	680.000	680.000	685.000	
18	Volumen briqueta + parafina	cm3	527.370	531.170	529.240	529.800	527.350	
19	Peso parafina	cm3	12.640	16.870	8.590	11.530	9.710	
20	Volumen parafina	cm3	14.871	19.847	10.106	13.565	11.424	
21	Volumen briqueta por des.	cm3	512.499	511.323	519.134	516.235	515.926	
22	Volumen geométrico	cm3	542.439	558.998	531.009	543.392	541.041	
23	Volumen adoptado	cm3	512.499	511.323	519.134	516.235	515.926	
24	Peso esp. bulk de briqueta	g/cm3	2.351	2.355	2.313	2.321	2.331	2.334
25	Máxima densidad teórica	g/cm3	2.427	2.427	2.427	2.427	2.427	2.427
26	% vacíos	%	3.150	2.962	4.712	4.367	3.961	3.830
27	Peso específico bulk agr. total	g/cm3	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	g/cm3	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	g/cm3	2.648	2.648	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. abs. por peso ag. seco	%	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado	%	84.668	84.833	83.303	83.605	83.960	
32	% volumen C.A. efectivo	%	12.182	12.205	11.985	12.029	12.080	
33	% V.M.A	%	15.332	15.167	16.697	16.395	16.040	15.926
34	C.A. efectivo/peso mezcla	%	3.862	3.862	3.862	3.862	3.862	
35	V.F.A.	%	79.452	80.470	71.779	73.365	75.308	76.075
36	Estabilidad sin corregir	kg	1347.500	1067.300	1582.100	1382.300	1375.800	
37	Factor de estabilidad	-	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
38	Estabilidad corregida	kg	1347.500	1067.300	1582.100	1382.300	1375.800	1351.000
39	Estabilidad corregida	KN	13.214	10.467	15.515	13.556	13.492	13.249
40	Flujo 0.01 mm	0.01mm	355.000	296.000	380.000	318.000	345.000	338.800
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 "	13.976	11.654	14.961	12.520	13.583	13.339
42	Relación estabilidad/flujo	kg/cm	3795.775	3605.743	4163.421	4346.855	3987.826	3979.924
43	Relación polvo/asfalto	-	1.292	1.292	1.292	1.292	1.292	1.292



**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA MODIFICADA CON 4.5% DE C.A. Y 1.5% DE F.P. - TERCIA**

		N°	1	2	3	4	5	PROM
1	Número de briqueta							
2	% fibras	%	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
3	Peso específico fibras	g/cm3	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	%	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	
5	% A.G.	%	49.385	49.385	49.385	49.385	49.385	
6	% A.F.	%	40.449	40.449	40.449	40.449	40.449	
7	% Filler	%	4.233	4.233	4.233	4.233	4.233	
8	Peso aparente C.A.	g/cm3	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	g/cm3	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	g/cm3	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	g/cm3	2.71929493	2.71929493	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	g/cm3	2.584	2.584	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	g/cm3	2.616	2.616	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	g/cm3	2.60003447	2.60003447	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	g/cm3	2.347	2.347	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	mm	68.530	67.650	68.720	70.370	66.910	
h2	Altura de briqueta H2	mm	68.420	67.590	69.260	68.540	69.860	
h3	Altura de briqueta H3	mm	67.900	66.980	69.200	67.700	69.880	
h4	Altura de briqueta H4	mm	67.760	66.800	69.120	69.850	68.000	
14	Altura promedio de briqueta	mm	68.153	67.255	69.075	69.115	68.663	
15	Peso briqueta al aire	g	1202.340	1205.320	1203.410	1203.410	1201.710	
16	Peso briqueta + parafina	g	1215.770	1217.860	1218.720	1214.700	1219.520	
17	Peso br. + parafina sumergida	g	675.000	675.000	675.000	675.000	675.000	
18	Volumen briqueta + parafina	cm3	540.770	542.860	543.720	539.700	544.520	
19	Peso parafina	cm3	13.430	12.540	15.310	11.290	17.810	
20	Volumen parafina	cm3	15.800	14.753	18.012	13.282	20.953	
21	Volumen briqueta por des.	cm3	524.970	528.107	525.708	526.418	523.567	
22	Volumen geométrico	cm3	552.512	545.236	559.991	560.315	556.647	
23	Volumen adoptado	cm3	524.970	528.107	525.708	526.418	523.567	
24	Peso esp. bulk de briqueta	g/cm3	2.290	2.282	2.289	2.286	2.295	2.289
25	Máxima densidad teórica	g/cm3	2.406	2.406	2.406	2.406	2.406	2.406
26	% vacíos	%	4.807	5.138	4.856	4.984	4.602	4.877
27	Peso específico bulk agr. total	g/cm3	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	g/cm3	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	g/cm3	2.648	2.648	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. abs. por peso ag. seco	%	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado	%	82.076	81.791	82.034	81.923	82.253	
32	% volumen C.A. efectivo	%	13.117	13.071	13.110	13.093	13.145	
33	% V.M.A	%	17.924	18.209	17.966	18.077	17.747	17.985
34	C.A. efectivo/peso mezcla	%	3.865	3.865	3.865	3.865	3.865	
35	V.F.A.	%	73.181	71.784	72.971	72.427	74.070	72.887
36	Estabilidad sin corregir	kg	1241.800	1437.800	1211.300	1188.700	1365.400	
37	Factor de estabilidad	-	0.960	0.960	0.960	0.960	0.960	
38	Estabilidad corregida	kg	1192.128	1380.288	1162.848	1141.152	1310.784	1237.440
39	Estabilidad corregida	KN	11.691	13.536	11.404	11.191	12.854	12.135
40	Flujo 0.01 mm	0.01mm	398.000	438.000	390.000	298.000	250.000	354.800
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 "	15.669	17.244	15.354	11.732	9.843	13.969
42	Relación estabilidad/flujo	kg/cm	2995.296	3151.342	2981.662	3829.369	5243.136	3640.161
43	Relación polvo/asfalto	-	1.285	1.285	1.285	1.285	1.285	1.285



**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA MODIFICADA CON 4.5% DE C.A. Y 2.0% DE F.P. - TERCIA**

		N°	1	2	3	4	5	PROM
1	Número de briqueta							
2	% fibras	%	2	2	2	2	2	
3	Peso específico fibras	g/cm3	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	%	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	
5	% A.G.	%	49.135	49.135	49.135	49.135	49.135	
6	% A.F.	%	40.244	40.244	40.244	40.244	40.244	
7	% Filler	%	4.212	4.212	4.212	4.212	4.212	
8	Peso aparente C.A.	g/cm3	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	g/cm3	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	g/cm3	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	g/cm3	2.71929493	2.71929493	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	g/cm3	2.584	2.584	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	g/cm3	2.616	2.616	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	g/cm3	2.60003447	2.60003447	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	g/cm3	2.347	2.347	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	mm	68.570	71.950	71.750	73.800	74.000	
h2	Altura de briqueta H2	mm	69.100	71.600	72.430	72.540	72.450	
h3	Altura de briqueta H3	mm	69.770	70.280	74.530	74.630	69.640	
h4	Altura de briqueta H4	mm	70.140	69.340	75.940	75.630	75.650	
14	Altura promedio de briqueta	mm	69.395	70.793	73.663	74.150	72.935	
15	Peso briqueta al aire	g	1208.990	1200.850	1202.790	1206.410	1203.640	
16	Peso briqueta + parafina	g	1220.980	1214.190	1227.130	1233.420	1219.840	
17	Peso br. + parafina sumergida	g	660.000	655.000	660.000	660.000	665.000	
18	Volumen briqueta + parafina	cm3	560.980	559.190	567.130	573.420	554.840	
19	Peso parafina	cm3	11.990	13.340	24.340	27.010	16.200	
20	Volumen parafina	cm3	14.106	15.694	28.635	31.776	19.059	
21	Volumen briqueta por des.	cm3	546.874	543.496	538.495	541.644	535.781	
22	Volumen geométrico	cm3	562.585	573.915	597.182	601.134	591.284	
23	Volumen adoptado	cm3	546.874	543.496	538.495	541.644	535.781	
24	Peso esp. bulk de briqueta	g/cm3	2.211	2.209	2.234	2.227	2.247	2.226
25	Máxima densidad teórica	g/cm3	2.385	2.385	2.385	2.385	2.385	2.385
26	% vacíos	%	7.311	7.363	6.352	6.616	5.811	6.691
27	Peso específico bulk agr. total	g/cm3	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	g/cm3	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	g/cm3	2.648	2.648	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. abs. por peso ag. seco	%	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado	%	78.822	78.778	79.638	79.414	80.098	
32	% volumen C.A. efectivo	%	13.866	13.858	14.010	13.970	14.091	
33	% V.M.A	%	21.178	21.222	20.362	20.586	19.902	20.650
34	C.A. efectivo/peso mezcla	%	3.869	3.869	3.869	3.869	3.869	
35	V.F.A.	%	65.476	65.303	68.805	67.862	70.801	67.649
36	Estabilidad sin corregir	kg	1366.100	1240.600	1250.700	1135.200	1159.400	
37	Factor de estabilidad	-	0.930	0.930	0.930	0.930	0.960	
38	Estabilidad corregida	kg	1270.473	1153.758	1163.151	1055.736	1113.024	1151.228
39	Estabilidad corregida	KN	12.459	11.315	11.407	10.353	10.915	11.290
40	Flujo 0.01 mm	0.01mm	390.000	336.000	364.000	356.000	377.000	364.600
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 "	15.354	13.228	14.331	14.016	14.843	14.354
42	Relación estabilidad/flujo	kg/cm	3257.623	3433.804	3195.470	2965.551	2952.318	3160.953
43	Relación polvo/asfalto	-	1.278	1.278	1.278	1.278	1.278	1.278



**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA MODIFICADA CON 4.5% DE C.A. Y 2.5% DE F.P - TERCIA**

1	Número de briqueta	N°	1	2	3	4	5	PROM
2	% fibras	%	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
3	Peso específico fibras	g/cm3	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	%	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	
5	% A.G.	%	48.884	48.884	48.884	48.884	48.884	
6	% A.F.	%	40.038	40.038	40.038	40.038	40.038	
7	% Filler	%	4.190	4.190	4.190	4.190	4.190	
8	Peso aparente C.A.	g/cm3	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	g/cm3	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	g/cm3	2.752	2.752	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	g/cm3	2.71929493	2.71929493	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	g/cm3	2.584	2.584	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	g/cm3	2.616	2.616	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	g/cm3	2.60003447	2.60003447	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	g/cm3	2.347	2.347	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	mm	72.460	73.280	75.340	77.840	73.790	
h2	Altura de briqueta H2	mm	72.650	72.920	77.070	78.130	73.730	
h3	Altura de briqueta H3	mm	72.740	73.560	77.120	76.480	75.170	
h4	Altura de briqueta H4	mm	72.580	74.480	76.600	75.910	76.820	
14	Altura promedio de briqueta	mm	72.608	73.560	76.533	77.090	74.878	
15	Peso briqueta al aire	g	1207.040	1200.030	1206.010	1203.580	1201.750	
16	Peso briqueta + parafina	g	1222.280	1214.710	1229.620	1218.080	1216.470	
17	Peso br. + parafina sumergida	g	640.000	630.000	650.000	645.000	645.000	
18	Volumen briqueta + parafina	cm3	582.280	584.710	579.620	573.080	571.470	
19	Peso parafina	cm3	15.240	14.680	23.610	14.500	14.720	
20	Volumen parafina	cm3	17.929	17.271	27.776	17.059	17.318	
21	Volumen briqueta por des.	cm3	564.351	567.439	551.844	556.021	554.152	
22	Volumen geométrico	cm3	588.629	596.351	620.449	624.969	607.032	
23	Volumen adoptado	cm3	564.351	567.439	551.844	556.021	554.152	
24	Peso esp. bulk de briqueta	g/cm3	2.139	2.115	2.185	2.165	2.169	2.154
25	Máxima densidad teórica	g/cm3	2.365	2.365	2.365	2.365	2.365	2.365
26	% vacíos	%	9.550	10.565	7.579	8.458	8.289	8.888
27	Peso específico bulk agr. total	g/cm3	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	g/cm3	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	g/cm3	2.648	2.648	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. abs. por peso ag. seco	%	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado	%	75.869	75.018	77.522	76.785	76.927	
32	% volumen C.A. efectivo	%	14.581	14.417	14.899	14.757	14.784	
33	% V.M.A	%	24.131	24.982	22.478	23.215	23.073	23.576
34	C.A. efectivo/peso mezcla	%	3.872	3.872	3.872	3.872	3.872	
35	V.F.A.	%	60.425	57.711	66.283	63.566	64.075	62.412
36	Estabilidad sin corregir	kg	882.400	828.900	924.700	1015.600	937.400	
37	Factor de estabilidad	-	0.860	0.860	0.890	0.890	0.890	
38	Estabilidad corregida	kg	758.864	712.854	822.983	903.884	834.286	806.574
39	Estabilidad corregida	KN	7.442	6.991	8.071	8.864	8.182	7.910
40	Flujo 0.01 mm	0.01mm	404.000	453.000	425.000	437.000	412.000	426.200
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 "	15.906	17.835	16.732	17.205	16.220	16.780
42	Relación estabilidad/flujo	kg/cm	1878.376	1573.629	1936.431	2068.384	2024.966	1896.357
43	Relación polvo/asfalto	-	1.271	1.271	1.271	1.271	1.271	1.271

**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA MODIFICADA CON 5.0% DE C.A. Y 1.0% DE F.P. - TERCIA**

1	Número de briqueta	N°	1	2	3	PROM
2	% fibras	%	1	1	1	
3	Peso específico fibras	g/cm3	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	%	5.000	5.000	5.000	
5	% A.G.	%	49.376	49.376	49.376	
6	% A.F.	%	40.442	40.442	40.442	
7	% Filler	%	4.232	4.232	4.232	
8	Peso aparente C.A.	g/cm3	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	g/cm3	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	g/cm3	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	g/cm3	2.719294932	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	g/cm3	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	g/cm3	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	g/cm3	2.600034473	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	g/cm3	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	mm	68.260	67.340	67.530	
h2	Altura de briqueta H2	mm	67.700	65.800	68.260	
h3	Altura de briqueta H3	mm	65.620	65.110	65.570	
h4	Altura de briqueta H4	mm	65.810	65.930	67.400	
14	Altura promedio de briqueta	mm	66.848	66.045	67.190	
15	Peso briqueta al aire	g	1201.570	1204.820	1202.460	
16	Peso briqueta + parafina	g	1209.640	1212.930	1209.060	
17	Peso briqueta + parafina sumergida	g	690.000	690.000	690.000	
18	Volumen briqueta + parafina	cm3	519.640	522.930	519.060	
19	Peso parafina	cm3	8.070	8.110	6.600	
20	Volumen parafina	cm3	9.494	9.541	7.765	
21	Volumen briqueta por desplazamiento	cm3	510.146	513.389	511.295	
22	Volumen geométrico	cm3	541.933	535.427	544.709	
23	Volumen adoptado	cm3	510.146	513.389	511.295	
24	Peso específico bulk de briqueta	g/cm3	2.355	2.347	2.352	2.351
25	Máxima densidad teórica	g/cm3	2.409	2.409	2.409	2.409
26	% vacíos	%	2.245	2.600	2.392	2.412
27	Peso específico bulk agregado total	g/cm3	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	g/cm3	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	g/cm3	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. absorbido por peso ag. seco	%	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado/ volumen bruto briqueta	%	84.391	84.085	84.264	
32	% volumen C.A. efectivo/volumen briqueta	%	13.364	13.315	13.344	
33	% vacíos en el agregado mineral – V.M.A	%	15.609	15.915	15.736	15.753
34	C.A. efectivo/peso de la mezcla	%	4.365	4.365	4.365	
35	Relación asfalto - vacíos (CA absorbido) – V.F.A.	%	85.618	83.666	84.797	84.694
36	Estabilidad sin corregir	kg	1004.900	1205.800	1403.500	
37	Factor de estabilidad	-	1.000	1.000	1.000	
38	Estabilidad corregida	kg	1004.900	1205.800	1403.500	1204.733
39	Estabilidad corregida	KN	9.855	11.825	13.764	11.814
40	Flujo 0.01 mm	0.01mm	392.000	430.000	435.000	419.000
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 "	15.433	16.929	17.126	16.496
42	Relación estabilidad/flujo	kg/cm	2563.520	2804.186	3226.437	2864.714
43	Relación polvo/asfalto	-	1.156	1.156	1.156	1.156

**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA MODIFICADA CON 5.0% DE C.A. Y 1.5% DE F.P. - TERCIA**

1	Número de briqueta	N°	1	2	3	PROM
2	% fibras	%	1.5	1.5	1.5	
3	Peso específico fibras	g/cm3	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	%	5.000	5.000	5.000	
5	% A.G.	%	49.127	49.127	49.127	
6	% A.F.	%	40.237	40.237	40.237	
7	% Filler	%	4.211	4.211	4.211	
8	Peso aparente C.A.	g/cm3	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	g/cm3	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	g/cm3	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	g/cm3	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	g/cm3	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	g/cm3	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	g/cm3	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	g/cm3	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	mm	66.220	68.230	66.200	
h2	Altura de briqueta H2	mm	67.300	67.910	66.160	
h3	Altura de briqueta H3	mm	67.300	68.200	66.250	
h4	Altura de briqueta H4	mm	66.380	65.670	67.480	
14	Altura promedio de briqueta	mm	66.800	67.503	66.523	
15	Peso briqueta al aire	g	1206.820	1209.060	1205.430	
16	Peso briqueta + parafina	g	1218.420	1218.570	1216.840	
17	Peso briqueta + parafina sumergida	g	670.000	670.000	670.000	
18	Volumen briqueta + parafina	cm3	548.420	548.570	546.840	
19	Peso parafina	cm3	11.600	9.510	11.410	
20	Volumen parafina	cm3	13.647	11.188	13.424	
21	Volumen briqueta por desplazamiento	cm3	534.773	537.382	533.416	
22	Volumen geométrico	cm3	541.548	547.243	539.298	
23	Volumen adoptado	cm3	534.773	537.382	533.416	
24	Peso específico bulk de briqueta	g/cm3	2.257	2.250	2.260	2.255
25	Máxima densidad teórica	g/cm3	2.388	2.388	2.388	2.388
26	% vacíos	%	5.517	5.802	5.386	5.568
27	Peso específico bulk agregado total	g/cm3	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	g/cm3	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	g/cm3	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. absorbido por peso ag. seco	%	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado/ volumen bruto briqueta	%	80.448	80.206	80.560	
32	% volumen C.A. efectivo/volumen briqueta	%	14.034	13.992	14.054	
33	% vacíos en el agregado mineral – V.M.A	%	19.552	19.794	19.440	19.595
34	C.A. efectivo/peso de la mezcla	%	4.369	4.369	4.369	
35	Relación asfalto - vacíos (CA absorbido) – V.F.A.	%	71.780	70.690	72.293	71.588
36	Estabilidad sin corregir	kg	1063.300	1058.500	1076.500	
37	Factor de estabilidad	-	0.960	0.930	0.960	
38	Estabilidad corregida	kg	1020.768	984.405	1033.440	1012.871
39	Estabilidad corregida	KN	10.010	9.654	10.135	9.933
40	Flujo 0.01 mm	0.01mm	465.000	444.000	485.000	464.667
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 "	18.307	17.480	19.094	18.294
42	Relación estabilidad/flujo	kg/cm	2195.200	2217.128	2130.804	2181.044
43	Relación polvo/asfalto	-	1.150	1.150	1.150	1.150

**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA MODIFICADA CON 5.0% DE C.A. Y 2.0% DE F.P. - TERCIA**

1	Número de briqueta	N°	1	2	3	PROM
2	% fibras	%	2	2	2	
3	Peso específico fibras	g/cm3	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	%	5.000	5.000	5.000	
5	% A.G.	%	48.878	48.878	48.878	
6	% A.F.	%	40.033	40.033	40.033	
7	% Filler	%	4.190	4.190	4.190	
8	Peso aparente C.A.	g/cm3	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	g/cm3	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	g/cm3	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	g/cm3	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	g/cm3	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	g/cm3	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	g/cm3	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	g/cm3	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	mm	68.190	67.960	69.310	
h2	Altura de briqueta H2	mm	66.590	67.910	70.170	
h3	Altura de briqueta H3	mm	68.460	66.330	70.400	
h4	Altura de briqueta H4	mm	67.870	66.030	70.930	
14	Altura promedio de briqueta	mm	67.778	67.058	70.203	
15	Peso briqueta al aire	g	1203.460	1203.660	1206.010	
16	Peso briqueta + parafina	g	1221.220	1218.600	1220.150	
17	Peso briqueta + parafina sumergida	g	660.000	660.000	655.000	
18	Volumen briqueta + parafina	cm3	561.220	558.600	565.150	
19	Peso parafina	cm3	17.760	14.940	14.140	
20	Volumen parafina	cm3	20.894	17.576	16.635	
21	Volumen briqueta por desplazamiento	cm3	540.326	541.024	548.515	
22	Volumen geométrico	cm3	549.472	543.635	569.132	
23	Volumen adoptado	cm3	540.326	541.024	548.515	
24	Peso específico bulk de briqueta	g/cm3	2.227	2.225	2.199	2.217
25	Máxima densidad teórica	g/cm3	2.368	2.368	2.368	2.368
26	% vacíos	%	5.938	6.043	7.146	6.376
27	Peso específico bulk agregado total	g/cm3	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	g/cm3	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	g/cm3	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. absorbido por peso ag. seco	%	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado/ volumen bruto briqueta	%	78.997	78.908	77.982	
32	% volumen C.A. efectivo/volumen briqueta	%	15.065	15.048	14.872	
33	% vacíos en el agregado mineral – V.M.A	%	21.003	21.092	22.018	21.371
34	C.A. efectivo/peso de la mezcla	%	4.372	4.372	4.372	
35	Relación asfalto - vacíos (CA absorbido) – V.F.A.	%	71.729	71.347	67.545	70.207
36	Estabilidad sin corregir	kg	1052.000	1109.000	991.600	
37	Factor de estabilidad	-	0.930	0.930	0.890	
38	Estabilidad corregida	kg	978.360	1031.370	882.524	964.085
39	Estabilidad corregida	KN	9.594	10.114	8.655	9.454
40	Flujo 0.01 mm	0.01mm	612.000	420.000	419.000	483.667
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 "	24.094	16.535	16.496	19.042
42	Relación estabilidad/flujo	kg/cm	1598.627	2455.643	2106.263	2053.511
43	Relación polvo/asfalto	-	1.144	1.144	1.144	1.144



**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA MODIFICADA CON 5.0% DE C.A. Y 2.5% DE F.P. - TERCIA**

		N°	1	2	3	PROM
1	Número de briqueta					
2	% fibras	%	2.5	2.5	2.5	
3	Peso específico fibras	g/cm3	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	%	5.000	5.000	5.000	
5	% A.G.	%	48.628	48.628	48.628	
6	% A.F.	%	39.829	39.829	39.829	
7	% Filler	%	4.168	4.168	4.168	
8	Peso aparente C.A.	g/cm3	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	g/cm3	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	g/cm3	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	g/cm3	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	g/cm3	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	g/cm3	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	g/cm3	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	g/cm3	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	mm	70.820	70.000	71.230	
h2	Altura de briqueta H2	mm	72.210	68.100	74.140	
h3	Altura de briqueta H3	mm	70.810	67.130	72.540	
h4	Altura de briqueta H4	mm	69.130	66.610	69.750	
14	Altura promedio de briqueta	mm	70.743	67.960	71.915	
15	Peso briqueta al aire	g	1202.640	1205.660	1206.020	
16	Peso briqueta + parafina	g	1218.970	1222.450	1225.150	
17	Peso briqueta + parafina sumergida	g	640.000	655.000	655.000	
18	Volumen briqueta + parafina	cm3	578.970	567.450	570.150	
19	Peso parafina	cm3	16.330	16.790	19.130	
20	Volumen parafina	cm3	19.212	19.753	22.506	
21	Volumen briqueta por desplazamiento	cm3	559.758	547.697	547.644	
22	Volumen geométrico	cm3	573.509	550.952	583.015	
23	Volumen adoptado	cm3	559.758	547.697	547.644	
24	Peso específico bulk de briqueta	g/cm3	2.148	2.201	2.202	2.184
25	Máxima densidad teórica	g/cm3	2.348	2.348	2.348	2.348
26	% vacíos	%	8.483	6.233	6.196	6.970
27	Peso específico bulk agregado total	g/cm3	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	g/cm3	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	g/cm3	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. absorbido por peso ag. seco	%	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado/ volumen bruto briqueta	%	75.814	77.678	77.709	
32	% volumen C.A. efectivo/volumen briqueta	%	15.703	16.090	16.096	
33	% vacíos en el agregado mineral – V.M.A	%	24.186	22.322	22.291	22.933
34	C.A. efectivo/peso de la mezcla	%	4.375	4.375	4.375	
35	Relación asfalto - vacíos (CA absorbido) – V.F.A.	%	64.927	72.079	72.207	69.738
36	Estabilidad sin corregir	kg	911.100	1019.700	995.000	
37	Factor de estabilidad	-	0.890	0.890	0.890	
38	Estabilidad corregida	kg	810.879	907.533	885.550	867.987
39	Estabilidad corregida	KN	7.952	8.900	8.684	8.512
40	Flujo 0.01 mm	0.01mm	442.000	507.000	466.000	471.667
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 "	17.402	19.961	18.346	18.570
42	Relación estabilidad/flujo	kg/cm	1834.568	1790.006	1900.322	1841.632
43	Relación polvo/asfalto	-	1.138	1.138	1.138	1.138

**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA MODIFICADA CON 5.5% DE C.A. Y 1.0% DE F.P. - TERCIA**

1	Número de briqueta	N°	1	2	3	PROM
2	% fibras	%	1	1	1	
3	Peso específico fibras	g/cm3	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	%	5.500	5.500	5.500	
5	% A.G.	%	49.116	49.116	49.116	
6	% A.F.	%	40.229	40.229	40.229	
7	% Filler	%	4.210	4.210	4.210	
8	Peso aparente C.A.	g/cm3	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	g/cm3	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	g/cm3	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	g/cm3	2.719294932	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	g/cm3	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	g/cm3	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	g/cm3	2.600034473	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	g/cm3	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	mm	68.260	67.340	67.530	
h2	Altura de briqueta H2	mm	67.700	65.800	68.260	
h3	Altura de briqueta H3	mm	65.620	65.110	65.570	
h4	Altura de briqueta H4	mm	65.810	65.930	67.400	
14	Altura promedio de briqueta	mm	66.848	66.045	67.190	
15	Peso briqueta al aire	g	1206.150	1205.910	1207.840	
16	Peso briqueta + parafina	g	1213.280	1213.100	1216.520	
17	Peso briqueta + parafina sumergida	g	690.000	690.000	690.000	
18	Volumen briqueta + parafina	cm3	523.280	523.100	526.520	
19	Peso parafina	cm3	7.130	7.190	8.680	
20	Volumen parafina	cm3	8.388	8.459	10.212	
21	Volumen briqueta por desplazamiento	cm3	514.892	514.641	516.308	
22	Volumen geométrico	cm3	541.933	535.427	544.709	
23	Volumen adoptado	cm3	514.892	514.641	516.308	
24	Peso específico bulk de briqueta	g/cm3	2.343	2.343	2.339	2.342
25	Máxima densidad teórica	g/cm3	2.392	2.392	2.392	2.392
26	% vacíos	%	2.066	2.038	2.198	2.101
27	Peso específico bulk agregado total	g/cm3	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	g/cm3	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	g/cm3	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. absorbido por peso ag. seco	%	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado/ volumen bruto briqueta	%	83.490	83.514	83.378	
32	% volumen C.A. efectivo/volumen briqueta	%	14.443	14.447	14.424	
33	% vacíos en el agregado mineral – V.M.A	%	16.510	16.486	16.622	16.539
34	C.A. efectivo/peso de la mezcla	%	4.869	4.869	4.869	
35	Relación asfalto - vacíos (CA absorbido) – V.F.A.	%	87.483	87.636	86.775	87.298
36	Estabilidad sin corregir	kg	916.600	1087.600	1095.300	
37	Factor de estabilidad	-	1.000	1.000	1.000	
38	Estabilidad corregida	kg	916.600	1087.600	1095.300	1033.167
39	Estabilidad corregida	KN	8.989	10.666	10.741	10.132
40	Flujo 0.01 mm	0.01mm	450.000	436.000	483.000	456.333
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 "	17.717	17.165	19.016	17.966
42	Relación estabilidad/flujo	kg/cm	2036.889	2494.495	2267.702	2266.362
43	Relación polvo/asfalto	-	1.046	1.046	1.046	1.046


**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA MODIFICADA CON 5.5% DE C.A. Y 1.5% DE F.P. - TERCIA**

1	Número de briqueta	N°	1	2	3	PROM
2	% fibras	%	1.5	1.5	1.5	
3	Peso específico fibras	g/cm3	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	%	5.500	5.500	5.500	
5	% A.G.	%	48.868	48.868	48.868	
6	% A.F.	%	40.025	40.025	40.025	
7	% Filler	%	4.189	4.189	4.189	
8	Peso aparente C.A.	g/cm3	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	g/cm3	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	g/cm3	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	g/cm3	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	g/cm3	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	g/cm3	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	g/cm3	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	g/cm3	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	mm	66.220	68.230	66.200	
h2	Altura de briqueta H2	mm	67.300	67.910	66.160	
h3	Altura de briqueta H3	mm	67.300	68.200	66.250	
h4	Altura de briqueta H4	mm	66.380	65.670	67.480	
14	Altura promedio de briqueta	mm	66.800	67.503	66.523	
15	Peso briqueta al aire	g	1208.110	1204.660	1208.850	
16	Peso briqueta + parafina	g	1216.390	1213.450	1218.270	
17	Peso briqueta + parafina sumergida	g	680.000	680.000	680.000	
18	Volumen briqueta + parafina	cm3	536.390	533.450	538.270	
19	Peso parafina	cm3	8.280	8.790	9.420	
20	Volumen parafina	cm3	9.741	10.341	11.082	
21	Volumen briqueta por desplazamiento	cm3	526.649	523.109	527.188	
22	Volumen geométrico	cm3	541.548	547.243	539.298	
23	Volumen adoptado	cm3	526.649	523.109	527.188	
24	Peso específico bulk de briqueta	g/cm3	2.294	2.303	2.293	2.297
25	Máxima densidad teórica	g/cm3	2.371	2.371	2.371	2.371
26	% vacíos	%	3.260	2.883	3.299	3.147
27	Peso específico bulk agregado total	g/cm3	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	g/cm3	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	g/cm3	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. absorbido por peso ag. seco	%	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado/ volumen bruto briqueta	%	81.346	81.663	81.313	
32	% volumen C.A. efectivo/volumen briqueta	%	15.394	15.454	15.388	
33	% vacíos en el agregado mineral – V.M.A	%	18.654	18.337	18.687	18.559
34	C.A. efectivo/peso de la mezcla	%	4.872	4.872	4.872	
35	Relación asfalto - vacíos (CA absorbido) – V.F.A.	%	82.525	84.277	82.344	83.049
36	Estabilidad sin corregir	kg	871.200	1037.100	978.300	
37	Factor de estabilidad	-	0.960	0.960	0.960	
38	Estabilidad corregida	kg	836.352	995.616	939.168	923.712
39	Estabilidad corregida	KN	8.202	9.764	9.210	9.059
40	Flujo 0.01 mm	0.01mm	478.000	452.000	415.000	448.333
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 "	18.819	17.795	16.339	17.651
42	Relación estabilidad/flujo	kg/cm	1749.690	2202.690	2263.055	2071.812
43	Relación polvo/asfalto	-	1.040	1.040	1.040	1.040

**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA MODIFICADA CON 5.5% DE C.A. Y 2.0% DE F.P. - TERCIA**

1	Número de briqueta	N°	1	2	3	PROM
2	% fibras	%	2	2	2	
3	Peso específico fibras	g/cm3	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	%	5.500	5.500	5.500	
5	% A.G.	%	48.620	48.620	48.620	
6	% A.F.	%	39.822	39.822	39.822	
7	% Filler	%	4.167	4.167	4.167	
8	Peso aparente C.A.	g/cm3	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	g/cm3	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	g/cm3	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	g/cm3	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	g/cm3	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	g/cm3	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	g/cm3	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	g/cm3	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	mm	68.190	67.960	69.310	
h2	Altura de briqueta H2	mm	66.590	67.910	70.170	
h3	Altura de briqueta H3	mm	68.460	66.330	70.400	
h4	Altura de briqueta H4	mm	67.870	66.030	70.930	
14	Altura promedio de briqueta	mm	67.778	67.058	70.203	
15	Peso briqueta al aire	g	1208.110	1208.850	1204.770	
16	Peso briqueta + parafina	g	1220.130	1223.210	1221.100	
17	Peso briqueta + parafina sumergida	g	670.000	670.000	650.000	
18	Volumen briqueta + parafina	cm3	550.130	553.210	571.100	
19	Peso parafina	cm3	12.020	14.360	16.330	
20	Volumen parafina	cm3	14.141	16.894	19.212	
21	Volumen briqueta por desplazamiento	cm3	535.989	536.316	551.888	
22	Volumen geométrico	cm3	549.472	543.635	569.132	
23	Volumen adoptado	cm3	535.989	536.316	551.888	
24	Peso específico bulk de briqueta	g/cm3	2.254	2.254	2.183	2.230
25	Máxima densidad teórica	g/cm3	2.351	2.351	2.351	2.351
26	% vacíos	%	4.123	4.122	7.142	5.129
27	Peso específico bulk agregado total	g/cm3	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	g/cm3	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	g/cm3	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. absorbido por peso ag. seco	%	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado/ volumen bruto briqueta	%	79.523	79.523	77.019	
32	% volumen C.A. efectivo/volumen briqueta	%	16.354	16.354	15.839	
33	% vacíos en el agregado mineral – V.M.A	%	20.477	20.477	22.981	21.312
34	C.A. efectivo/peso de la mezcla	%	4.875	4.875	4.875	
35	Relación asfalto - vacíos (CA absorbido) – V.F.A.	%	79.867	79.868	68.922	76.219
36	Estabilidad sin corregir	kg	1141.200	1012.800	924.700	
37	Factor de estabilidad	-	0.960	0.930	0.890	
38	Estabilidad corregida	kg	1095.552	941.904	822.983	953.480
39	Estabilidad corregida	KN	10.744	9.237	8.071	9.350
40	Flujo 0.01 mm	0.01mm	494.000	462.000	492.000	482.667
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 "	19.449	18.189	19.370	19.003
42	Relación estabilidad/flujo	kg/cm	2217.717	2038.753	1672.730	1976.400
43	Relación polvo/asfalto	-	1.034	1.034	1.034	1.034

**ENSAYO MARSHALL – MEZCLA MODIFICADA CON 5.5% DE C.A. Y 2.5% DE F.P. - TERCIA**

1	Número de briqueta	N°	1	2	3	PROM
2	% fibras	%	2.5	2.5	2.5	
3	Peso específico fibras	g/cm3	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	%	5.500	5.500	5.500	
5	% A.G.	%	48.372	48.372	48.372	
6	% A.F.	%	39.619	39.619	39.619	
7	% Filler	%	4.146	4.146	4.146	
8	Peso aparente C.A.	g/cm3	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	g/cm3	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	g/cm3	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	g/cm3	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	g/cm3	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	g/cm3	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	g/cm3	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	g/cm3	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	mm	70.820	70.000	71.230	
h2	Altura de briqueta H2	mm	72.210	68.100	74.140	
h3	Altura de briqueta H3	mm	70.810	69.130	72.540	
h4	Altura de briqueta H4	mm	69.130	66.610	69.750	
14	Altura promedio de briqueta	mm	70.743	68.460	71.915	
15	Peso briqueta al aire	g	1204.850	1206.550	1203.380	
16	Peso briqueta + parafina	g	1220.360	1224.790	1221.680	
17	Peso briqueta + parafina sumergida	g	650.000	650.000	640.000	
18	Volumen briqueta + parafina	cm3	570.360	574.790	581.680	
19	Peso parafina	cm3	15.510	18.240	18.300	
20	Volumen parafina	cm3	18.247	21.459	21.529	
21	Volumen briqueta por desplazamiento	cm3	552.113	553.331	560.151	
22	Volumen geométrico	cm3	573.509	555.005	583.015	
23	Volumen adoptado	cm3	552.113	553.331	560.151	
24	Peso específico bulk de briqueta	g/cm3	2.182	2.181	2.148	2.170
25	Máxima densidad teórica	g/cm3	2.331	2.331	2.331	2.331
26	% vacíos	%	6.377	6.452	7.833	6.887
27	Peso específico bulk agregado total	g/cm3	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	g/cm3	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	g/cm3	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. absorbido por peso ag. seco	%	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado/ volumen bruto briqueta	%	76.600	76.539	75.408	
32	% volumen C.A. efectivo/volumen briqueta	%	17.023	17.010	16.759	
33	% vacíos en el agregado mineral – V.M.A	%	23.400	23.461	24.592	23.818
34	C.A. efectivo/peso de la mezcla	%	4.878	4.878	4.878	
35	Relación asfalto - vacíos (CA absorbido) – V.F.A.	%	72.747	72.501	68.147	71.132
36	Estabilidad sin corregir	kg	977.400	1014.300	877.600	
37	Factor de estabilidad	-	0.890	0.890	0.860	
38	Estabilidad corregida	kg	869.886	902.727	754.736	842.450
39	Estabilidad corregida	KN	8.531	8.853	7.401	8.262
40	Flujo 0.01 mm	0.01mm	644.000	532.000	473.000	549.667
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 "	25.354	20.945	18.622	21.640
42	Relación estabilidad/flujo	kg/cm	1350.755	1696.855	1595.636	1547.749
43	Relación polvo/asfalto	-	1.029	1.029	1.029	1.029

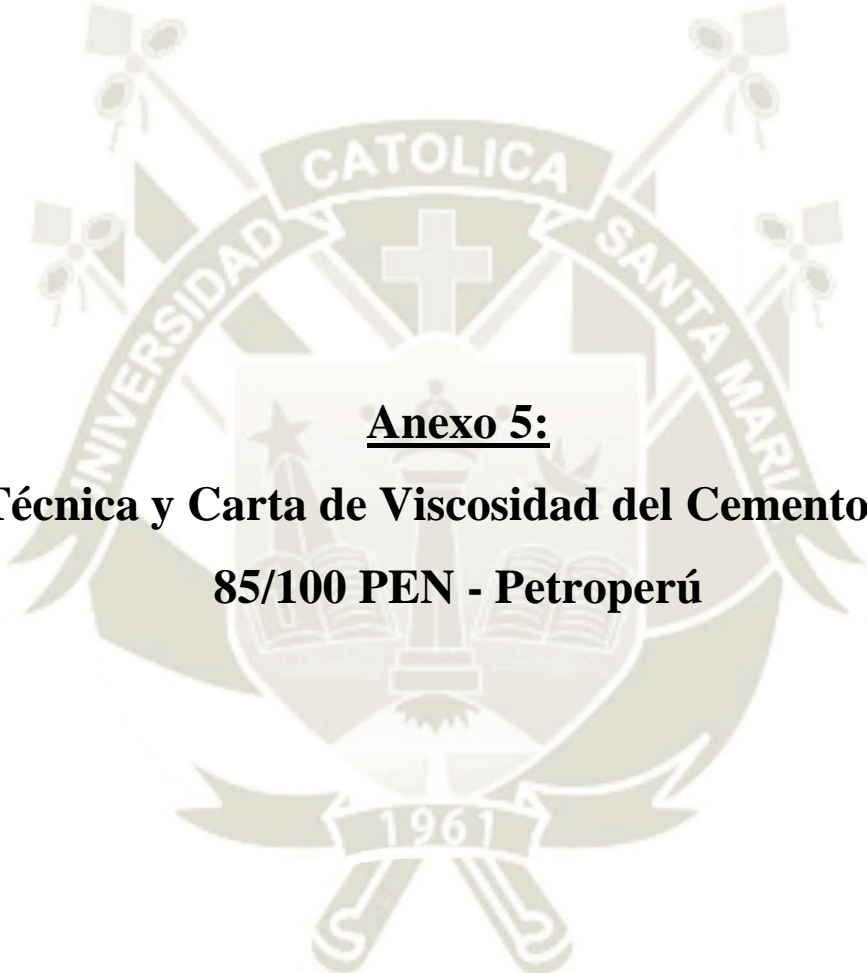


**COMPROBACIÓN DEL ENSAYO MARSHALL – MEZCLA CONVENCIONAL CON 4.5% DE C.A.**

		N°	1	2	3	PROM
1	Número de briqueta	N°				
2	% fibras	%	0	0	0	
3	Peso específico fibras	g/cm3	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	%	4.500	4.500	4.500	
5	% A.G.	%	50.138	50.138	50.138	
6	% A.F.	%	41.065	41.065	41.065	
7	% Filler	%	4.298	4.298	4.298	
8	Peso aparente C.A.	g/cm3	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	g/cm3	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	g/cm3	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	g/cm3	2.719294932	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	g/cm3	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	g/cm3	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	g/cm3	2.600034473	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	g/cm3	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	mm	65.920	65.830	67.630	
h2	Altura de briqueta H2	mm	66.440	66.980	67.370	
h3	Altura de briqueta H3	mm	66.450	67.900	66.750	
h4	Altura de briqueta H4	mm	66.050	68.520	66.200	
14	Altura promedio de briqueta	mm	66.215	67.308	66.988	
15	Peso briqueta al aire	g	1201.680	1202.650	1201.470	
16	Peso briqueta + parafina	g	1215.650	1216.870	1214.740	
17	Peso briqueta + parafina sumergida	g	690.000	690.000	690.000	
18	Volumen briqueta + parafina	cm3	525.650	526.870	524.740	
19	Peso parafina	cm3	13.970	14.220	13.270	
20	Volumen parafina	cm3	16.435	16.729	15.612	
21	Volumen briqueta por desplazamiento	cm3	509.215	510.141	509.128	
22	Volumen geométrico	cm3	536.805	545.662	543.068	
23	Volumen adoptado	cm3	509.215	510.141	509.128	
24	Peso específico bulk de briqueta	g/cm3	2.360	2.357	2.360	2.359
25	Máxima densidad teórica	g/cm3	2.471	2.471	2.471	2.471
26	% vacíos	%	4.487	4.583	4.487	4.519
27	Peso específico bulk agregado total	g/cm3	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	g/cm3	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	g/cm3	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. absorbido por peso ag. seco	%	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado/ volumen bruto briqueta	%	85.857	85.770	85.857	
32	% volumen C.A. efectivo/volumen briqueta	%	9.656	9.647	9.656	
33	% vacíos en el agregado mineral – V.M.A	%	14.143	14.230	14.143	14.172
34	C.A. efectivo/peso de la mezcla	%	3.856	3.856	3.856	
35	Relación asfalto - vacíos (CA absorbido) – V.F.A.	%	68.277	67.793	68.275	68.115
36	Estabilidad sin corregir	kg	1246.700	1305.900	1274.600	
37	Factor de estabilidad	-	1.000	1.000	1.000	
38	Estabilidad corregida	kg	1246.700	1305.900	1274.600	1275.733
39	Estabilidad corregida	KN	12.226	12.807	12.500	12.511
40	Flujo 0.01 mm	0.01mm	354.000	349.000	334.000	345.667
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 "	13.937	13.740	13.150	13.609
42	Relación estabilidad/flujo	kg/cm	3521.751	3741.834	3816.168	3693.251
43	Relación polvo/asfalto	-	1.305	1.305	1.305	1.305

**COMPROBACIÓN DEL ENSAYO MARSHALL – MEZCLA MODIFICADA CON 4.5% DE C.A. Y**
**1.3% DE F.P.**

		N°	1	2	3	PROM
1	Número de briqueta	N°				
2	% fibras	%	1.3	1.3	1.3	
3	Peso específico fibras	g/cm3	0.92	0.92	0.92	
4	C.A. en peso de la mezcla	%	4.500	4.500	4.500	
5	% A.G.	%	49.486	49.486	49.486	
6	% A.F.	%	40.531	40.531	40.531	
7	% Filler	%	4.242	4.242	4.242	
8	Peso aparente C.A.	g/cm3	1.020	1.020	1.020	
9	Peso bulk A.G.	g/cm3	2.687	2.687	2.687	
10	Peso aparente A.G.	g/cm3	2.752	2.752	2.752	
p10	Promedio A.G.	g/cm3	2.71929493	2.71929493	2.71929493	
11	Peso bulk A.F.	g/cm3	2.584	2.584	2.584	
12	Peso aparente A.F.	g/cm3	2.616	2.616	2.616	
p12	Promedio A.F.	g/cm3	2.60003447	2.60003447	2.60003447	
13	Peso aparente Filler	g/cm3	2.347	2.347	2.347	
h1	Altura de briqueta H1	mm	63.910	64.180	64.970	
h2	Altura de briqueta H2	mm	63.860	64.410	63.830	
h3	Altura de briqueta H3	mm	63.980	63.560	64.360	
h4	Altura de briqueta H4	mm	64.080	64.220	64.240	
14	Altura promedio de briqueta	mm	63.958	64.093	64.350	
15	Peso briqueta al aire	g	1203.370	1201.140	1200.120	
16	Peso briqueta + parafina	g	1215.320	1214.940	1219.550	
17	Peso briqueta + parafina sumergida	g	680.000	680.000	675.000	
18	Volumen briqueta + parafina	cm3	535.320	534.940	544.550	
19	Peso parafina	cm3	11.950	13.800	19.430	
20	Volumen parafina	cm3	14.059	16.235	22.859	
21	Volumen briqueta por desplazamiento	cm3	521.261	518.705	521.691	
22	Volumen geométrico	cm3	518.503	519.598	521.685	
23	Volumen adoptado	cm3	521.261	518.705	521.691	
24	Peso específico bulk de briqueta	g/cm3	2.309	2.316	2.300	2.308
25	Máxima densidad teórica	g/cm3	2.414	2.414	2.414	2.414
26	% vacíos	%	4.383	4.090	4.720	4.397
27	Peso específico bulk agregado total	g/cm3	2.625	2.625	2.625	
28	Peso aparente agregado total	g/cm3	2.671	2.671	2.671	
29	Peso efectivo agregado	g/cm3	2.648	2.648	2.648	
30	C.A. absorbido por peso ag. seco	%	0.675	0.675	0.675	
31	% volumen agregado/ volumen bruto briqueta	%	82.899	83.153	82.607	
32	% volumen C.A. efectivo/volumen briqueta	%	12.718	12.757	12.673	
33	% vacíos en el agregado mineral – V.M.A	%	17.101	16.847	17.393	17.114
34	C.A. efectivo/peso de la mezcla	%	3.864	3.864	3.864	
35	Relación asfalto - vacíos (CA absorbido) – V.F.A.	%	74.371	75.725	72.865	74.320
36	Estabilidad sin corregir	kg	1356.800	1415.700	1247.900	
37	Factor de estabilidad	-	1.000	1.000	1.000	
38	Estabilidad corregida	kg	1356.800	1415.700	1247.900	1340.133
39	Estabilidad corregida	KN	13.306	13.883	12.238	13.142
40	Flujo 0.01 mm	0.01mm	355.000	370.000	324.000	349.667
41	Flujo 0.254 mm o 0.01"	0.01 "	13.976	14.567	12.756	13.766
42	Relación estabilidad/flujo	kg/cm	3821.972	3826.216	3851.543	3833.244
43	Relación polvo/asfalto	-	1.287	1.287	1.287	1.287



**Anexo 5:**  
**Ficha Técnica y Carta de Viscosidad del Cemento Asfáltico**  
**85/100 PEN - Petroperú**



INFORME DE ENSAYO (ASFALTO SÓLIDO 85/100 PEN)

Nº SRCO-LAB-2247-2017

FECHA DE REPORTE: 17.10.2017	FECHA DE RECEPCIÓN 16.10.2017	CÓDIGO DE MUESTRA : 16938			
HORA DE RECEPCIÓN: 09:40 HORAS	PROCEDENCIA: JEFATURA PRODUCCION	BUQUE/TANQUE: -----			
TANQUE DE MUESTREO : 9	VOLUMEN CERTIFICADO: -----	DESTINO: PLANTA CONCHÁN			
ENSAYOS	MÉTODO ASTM <sup>(A)</sup>	OTRO MÉTODO	RESULTADOS DEL ANALISIS	ESPECIFICACIONES	
				MIN.	MAX.
<b>PENETRACIÓN:</b>					
a 25°C, 100 gr, 5 seg., 1/10 mm	D 5-13		96	85	100
<b>DUCTILIDAD:</b>					
a 25°C, 5 cm/min, cm	D 113-07		>150	100	
<b>FLUIDEZ:</b>					
- Viscosidad Cinemática a 100°C, cSt	D 2170-10		1871	Reportar	
- Viscosidad Cinemática a 135°C, cSt	D 2170-10		292	170	
<b>SOLUBILIDAD:</b>					
Solubilidad en Tricloroetileno, % masa	D 2042-15		99.7	99	
<b>VOLATILIDAD:</b>					
Punto de inflamación, C.O.C., °C	D 92-16a		276	232	
<b>DENSIDAD:</b>					
Gravedad API a 60°F, °API	D 70-09 <sup>(1)</sup>		7.6	Reportar	
Gravedad Específica a 60/60°F	D 70-09 <sup>(1)</sup>		1.017	Reportar	
<b>SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA:</b>					
Punto de Ablandamiento, °C	D 36-14e1		46.0	Reportar	
Índice de Penetración			-0.6	-1	1
Efecto de Calor y Aire (Película Fina):	D 1754-09(2014)				
- Pérdida por calentamiento, % masa			0.1		1.0
- Penetración Retenida, % del Original	D 5-13		61	47+	
- Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	D 113-07		>150	75	

OBSERVACIONES:

1. LOS RESULTADOS CORRESPONDEN SÓLO A LA MUESTRA ANALIZADA.

2. LA MUESTRA FUE PROPORCIONADA POR EL CLIENTE.

La temperatura óptima de mezcla para este producto se encuentra entre 134 y 152°C

Se adjunta Carta Viscosidad - Temperatura.

3.(A):American Society for Testing and Materials

ORIGINAL : CLIENTE

ELABORADO POR:

APROBADO POR:

COPIA 1 : ARCHIVO GENERAL  
DE INFORMES DE ENSAYO

COPIA 2 : INFORME DE ENSAYO  
DE PRODUCTOS

DORIS IMAN LÓPEZ  
Ficha Nº 55457

MICHAEL FIGUEROLA DUTHURBURU  
FICHA Nº 55130  
COP Nº 949

SRCOLAB-PT-010-F-06, Rev. 5

Pag 1 de 2

FIN DE INFORME

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZACIÓN DE PETROPERU

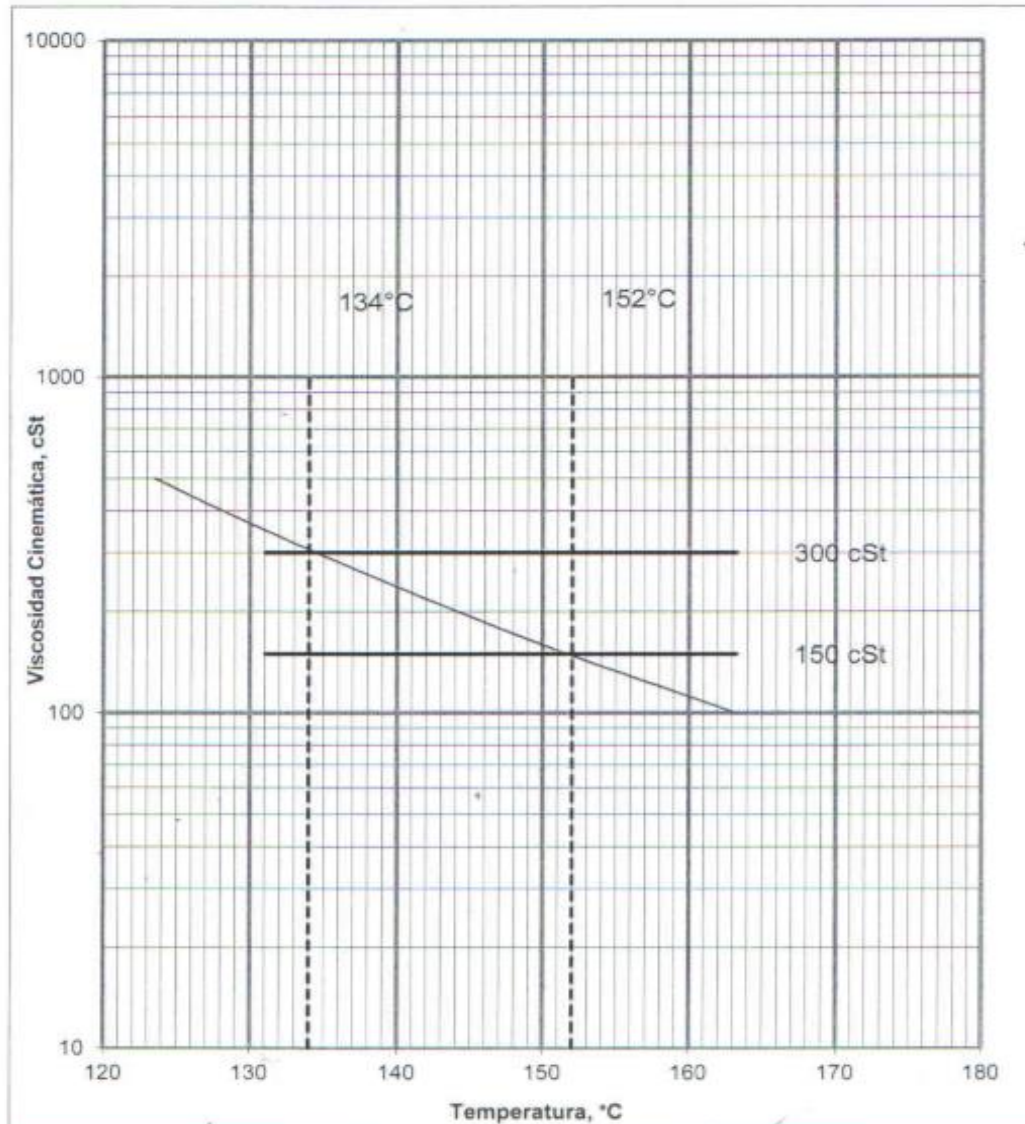


LABORATORIO REFINACIÓN CONCHÁN

INFORME DE ENSAYO (ASFALTO SÓLIDO 85/100 PEN)

N° SRCO-LAB-2247-2017

**Carta Viscosidad - Temperatura ASTM D 341**  
**Rango de Temperatura Óptima de Mezcla**  
**TQ. 9 - C. A. 85 / 100 PEN. - 16.10.2017 - 09:40 horas**



Pag 2 de 2

DORIS IMÁN LÓPEZ  
Ficha N° 55457

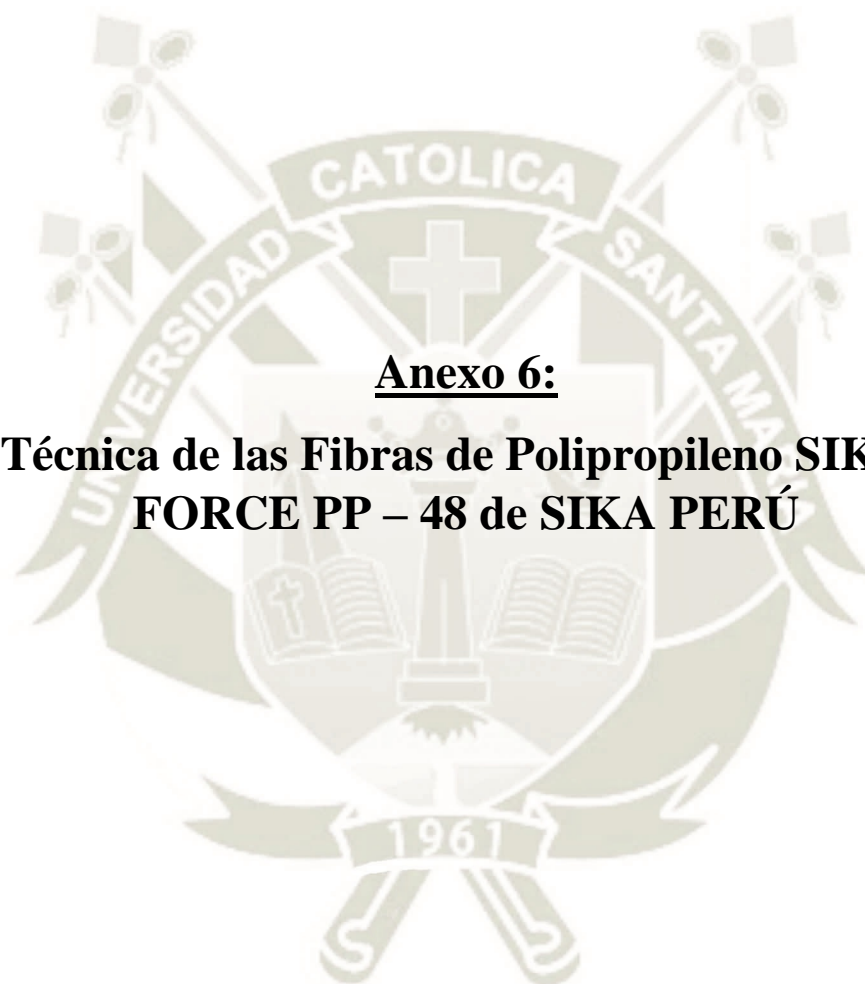
MICHAEL ROGGEROLA DUTHURBURU  
FICHA N° 55130  
CUP N° 932

Oficina Principal: Av. Enrique Canaval Moreyra 150, Lima 27 - Perú  
Refinería Conchán: Km. 26.5, Antigua Panamericana Sur - Lima - Perú  
Teléfono: (511) 625 4000, (511) 614 5000  
Portal Empresarial: <http://www.petroperu.com.pe>  
Sociedad inscrita en la Partida N° 11014754 del Registro de Personas Jurídicas

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZACIÓN DE PETROPERU

**Anexo 6:**

**Ficha Técnica de las Fibras de Polipropileno SIKAFIBER  
FORCE PP – 48 de SIKA PERÚ**



BUILDING TRUST



# HOJA TÉCNICA

## Sika® Fiber Force PP-48

Fibra de polipropileno macro sintética estructural

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sika® Fiber Force PP 48, es una fibra de polipropileno macro sintética estructural, diseñada y usada como el refuerzo secundario de concreto, es fabricada a partir de polímeros de polyolefina de alto desempeño y deformadas mecánicamente en todo el cuerpo para maximizar el anclaje en el concreto y evitar la pérdida excesiva cuando se proyecta (Shotcrete), altamente orientada a conseguir la mayor superficie de contacto dentro del concreto, lo que resulta en una mayor unión interfacial y eficiencia de la resistencia de la flexión y absorción de energía. Sika® Fiber Force PP-48 esta específicamente diseñada y fabricada en una instalación certificada bajo la norma ISO 9001:2000, para ser usada como refuerzo secundario de concreto a una tasa de adición mínima de 2 kg por metro cúbico. Cumple con la norma ASTM C 1116/C 1116 M, concreto Tipo III reforzado con fibra, JSCE-S14 y con la norma Europea EN-14889-2 como clase II.

#### USOS

- Losas industriales sobre el piso, tráfico ligero, medio o pesado.
- Áreas para estacionamiento.
- Elementos Pre-fabricados.
- Pavimentos de concreto tráfico ligero, medio o pesado.
- Plataformas compuestas de metal y concreto.
- Aceras y entradas de automóviles.
- Capas superpuestas y coberturas.
- Aplicaciones no magnéticas.
- Shotcrete vía húmeda o vía seca, ya sea definitivo o temporal.

#### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Incrementa la resistencia a la tenacidad, absorción de energía e impacto del concreto, así como la resistencia residual y ductilidad.
- No afecta notoriamente la fluidez (Slump) de la mezcla como otras fibras multifilamento.
- Disminuye la tendencia al agrietamiento en estado fresco como endurecido del concreto.
- Máxima resistencia al arrancamiento dentro de la matriz del concreto.
- Reduce el desgaste en bombas y tuberías cuando la mezcla es bombeada.
- Alta resistencia a los ataques químicos y a los álcalis.
- Es segura y más fácil de usar que el refuerzo tradicional.
- No se corroe con las aguas agresivas.
- Ahorra tiempo y molestias durante la aplicación y el proceso de concentrado del mineral.

Hoja Técnica  
Sika® Fiber Force PP-48  
29.10.15, Edición 1

1/4

## DATOS BÁSICOS

<b>FORMA</b>	<b>ASPECTO</b> Fibra monofilamento deformada mecánicamente. <b>COLORES</b> Blanco <b>PRESENTACIÓN</b> Caja x 5 kg
<b>ALMACENAMIENTO</b>	<b>CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL</b> Indefinido en un lugar seco y bajo techo, en su envase original.
<b>NORMAS</b>	Siempre se coloca uniformemente en el concreto y cumplimiento con los códigos vigentes y normas siguientes: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ASTM C 94/C 94M Especificación estándar para concreto premezclado.</li> <li>▪ ASTM C 1116/C 1116M Especificación estándar para concreto reforzado con fibras.</li> <li>▪ ASTM C 1399 Método de prueba estándar para obtener la resistencia residual promedio del concreto reforzado con fibras.</li> <li>▪ ASTM C 1436 Especificación estándar de materiales para Shotcrete.</li> <li>▪ ASTM C 1609/C 1609M Método de prueba estándar para obtener el rendimiento de la flexión del concreto reforzado con fibras (Usando una viga con carga de tres puntos). Reemplaza la norma ASTM C 1018.</li> <li>▪ ASTM C 1550 Método de prueba estándar para la resistencia a la flexión del concreto reforzado con fibras (Usando un panel Redondo con carga central.)</li> <li>▪ JCI-SF4 para la resistencia a la flexión y para la resistencia a la flexión del concreto reforzado con fibras y JSCE-S14.</li> <li>▪ EFNARC panel cuadrado-2005</li> <li>▪ ACI 304 Guía para la medición, mezcla, transporte y distribución del concreto.</li> <li>▪ ACI 506 Guía para Shotcrete.</li> <li>▪ EN 14889-2 Definiciones, especificaciones y conformidad de fibras poliméricas.</li> </ul>
<b>DATOS TÉCNICOS</b>	<b>ABSORCIÓN DE AGUA</b> 0% <b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b> 0.92 <b>LARGO DE LA FIBRA</b> 48 mm <b>ANCHO DE LA FIBRA</b> 1.2855 mm <b>ESPESOR DE LA FIBRA</b> 0.3325 mm <b>RESISTENCIA A LA TRACCIÓN</b> 620 Mpa <b>CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA</b> Baja <b>FIBRAS POR KILO</b> 32,760 unidades +/- 3% <b>PUNTO DE FUSIÓN</b> 440 °C <b>PUNTO DE ABLANDAMIENTO</b> 170 °C <b>RESISTENCIA A ÁLCALIS, SALES Y ÁCIDOS</b> Alta.

Hoja Técnica  
Sika® Fiber Force PP-48  
29.10.15, Edición 1

2/4

BUILDING TRUST



	<p><b>COMPATIBILIDAD</b> Sika® Fiber Force PP-48 es compatible con todos los aditivos para concreto Sika® y las sustancias químicas que aumentan el rendimiento del concreto. No se debe usar las fibras macrosintéticas Sika® Fiber Force PP-48 para reemplazar refuerzos estructurales.</p> <p><b>PRECAUCIONES</b> No se debe usar las fibras macrosintéticas Sika® Fiber Force PP-48 como un medio para usar secciones de menor espesor que el diseño original. Para el espaciado de las juntas, siga las directrices estándar de la industria sugeridas por PCA y ACI.</p>
<p><b>INFORMACIÓN DEL SISTEMA</b></p>	
<p><b>DETALLES DE APLICACIÓN</b></p>	<p><b>CONSUMO / DOSIS</b> La dosis de aplicación para la fibra macro sintética estructural Sika® Fiber Force PP 48 es de 2 a 9 kg/m<sup>3</sup> de concreto o Shotcrete, dependiendo de la ductilidad, resistencia residual, tenacidad ó absorción de energía requerido. En las pruebas para determinar la cantidad exacta de fibra a usar, si el concreto es lanzado (Shotcrete via húmeda o seca) las muestras (paneles cuadrados EFNARC o circulares ASTM C-1550) tienen que ser obtenidas en campo, lanzado con el equipo a usar, ya que por su naturaleza las fibras sintéticas durante el lanzado ó proyección una parte de ellas se pierde. No se recomienda obtener los paneles en laboratorio ya que los resultados difieren apreciablemente.</p>
<p><b>MÉTODO DE APLICACIÓN</b></p>	<p><b>DISEÑOS DE MEZCLAS Y PROCEDIMIENTOS</b>  El refuerzo con Sika® Fiber Force PP-48 es un proceso mecánico, no químico. Debido a la eficiencia de la fibra no se necesita modificación del diseño de mezcla ya que no afecta notoriamente la fluidez de la mezcla. Consulte con un asesor técnico de Sika Perú S.A. para recomendaciones adicionales. La fibra macrosintética Sika® Fiber Force PP-48 se agrega a la mezcladora antes, durante o después de hacer mezclas con los otros materiales del concreto. Se requiere un tiempo de mezclado de por lo menos de 3 a 5 minutos por metro cúbico como se especifica en la norma ASTM C-94.</p> <p><b>ACABADO</b> Se puede dar un acabado al concreto reforzado con Sika® Fiber Force PP-48 usando las técnicas de acabado de acuerdo a ACI 304, Sección C3.</p>
<p><b>BASES</b></p>	<p>Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.</p>
<p><b>RESTRICCIONES LOCALES</b></p>	<p>Nótese que el desempeño del producto puede variar dependiendo de cada país. Por favor, consulte la hoja técnica local correspondiente para la exacta descripción de los campos de aplicación del producto.</p>
<p><b>INFORMACIÓN DE SEGURIDAD E HIGIENE</b></p>	<p>Para información y asesoría referente al transporte, manejo, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben consultar la Hoja de Seguridad del Material actual, la cual contiene información médica, ecológica, toxicológica y otras relacionadas con la seguridad.</p>
<p><b>NOTAS LEGALES</b></p>	<p>La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en</p>

Hoja Técnica  
Sika® Fiber Force PP-48  
29.10.15, Edición 1



condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados.

Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe).

**PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE Sika® Fiber Force PP-48 :**

**1.- SIKa PRODUCT FINDER: APLICACIÓN DE CATÁLOGO DE PRODUCTOS**



**2.- SIKa CIUDAD VIRTUAL**




Sika Perú S.A.  
Concrete  
Centro Industrial "Las Praderas  
de Lurín S/N - Mz "B" Lote 5 y  
6, Lurín  
Lima  
Perú  
[www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe)

Hoja Técnica  
Sika® Fiber Force PP-48  
29.10.15, Edición 1

Versión elaborada por: Sika Perú S.A.  
CG, Departamento Técnico  
Telf: 618-6060  
Fax: 618-6070  
Mail: [informacion@pe.sika.com](mailto:informacion@pe.sika.com)



© 2014 Sika Perú S.A.



**Anexo 7:**  
**Ficha Técnica del Polvo de Roca – CARPETEK de  
ROCATECH**



# CARPETEK

## Filler Sílico



# Rocatech

## CARPETEK

Para ROCATECH ha significado unapreocupación constante los estudios de la calidad de la carpeta asfáltica que debe conseguirse, en relación a los asfatos líquidos aplicados a las pistas y carreteras. Por esta razón ROCATECH ha perfeccionado un producto de excepcionales cualidades, que le permite sustituir convenientemente a la cal hidratada y /o al cemento Portland 1 como relleno mineral en la composición de la mezcla asfáltica.

Puzolana usada especialmente como Relleno Mineral en carpetas asfálticas.  
Material Sílico-Alumínico proveniente del suelo o rocas volcánicas. Producto, que la ser dividido finamente y en presencia de agua reaccionada con el hidróxido de calcio formando compuestos con propiedades cementales según normas ASTM 618-78.

### CAMPO DE APLICACIÓN

Cuando la mezcla es preparada en caliente origina un incremento en el efecto endurecedor, una reducción en la deformación, un incremento en el punto de ablandamiento y una reducción de la penetración.

Como componente de la carpeta asfáltica en el frío su granulometría le permite llenar los espacios vacíos que se producen al mezclar los agregados con el asfalto RC-250, proporcionando mayor consistencia a la mezcla asfáltica.

Componente para la elaboración de cemento Portland Pusilámico tipo IP.



### INFORMES Y PEDIDOS:

Variante de Uchmayo Km 6 Sachaca - Arequipa

RPC: 986878807 - RPM: #0178700 - 966540700 - Nextel: 129\*1265

E-mail: [ventas2@rocatech.com.pe](mailto:ventas2@rocatech.com.pe)

[www.rocatech.com.pe](http://www.rocatech.com.pe)



**CARPETEK**  
Filler Sílico

**Datos Técnicos:**

**Especificaciones:**

**Resultados:**

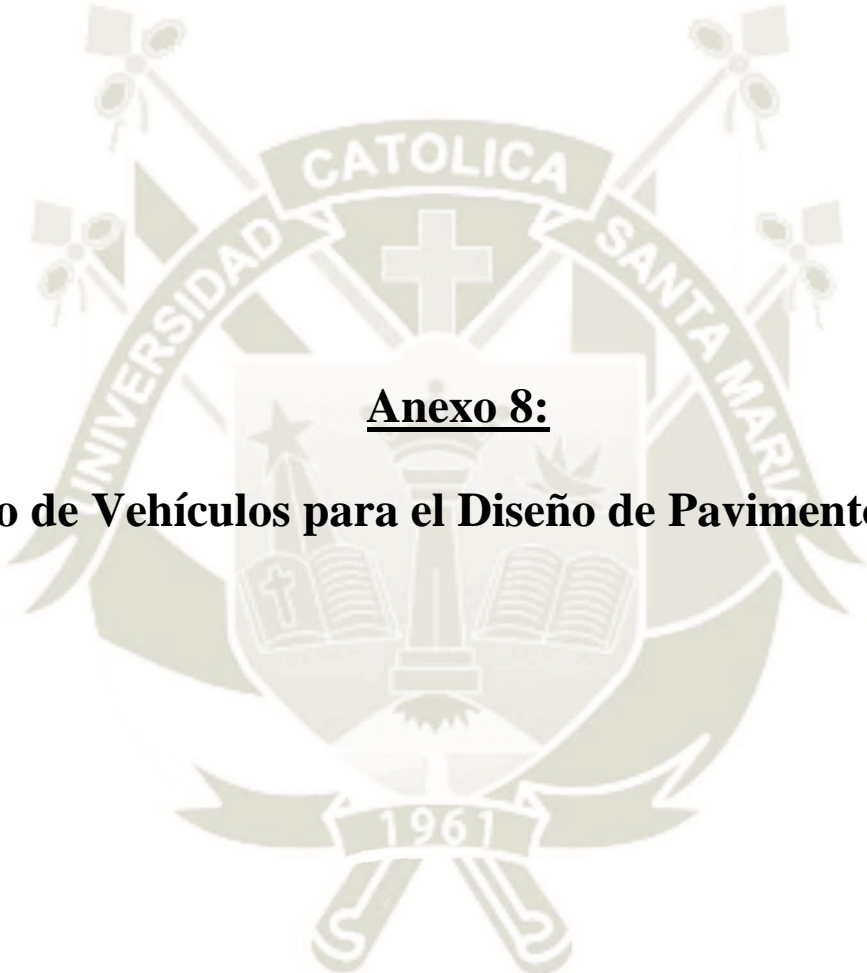
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	NT.NLT-176	0,5 - 1,1
Coefficiente de emulsividad	NT.NLT-180	0,1 - 0,6
Retenido en tamiz M-200 (%)	ASTM D-422	1,8 - 2,7
Retenido en tamiz M-325 (%)	ASTM D-422	12,0 - 15,0
Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	ASTM D-854	2,0 - 2,5
Humedad (%)		0,2 - 1,0



**INFORMES Y PEDIDOS:**

Variante de Uchmayo Km 6 Sachaca - Arequipa  
RPC: 986878807 - RPM: #0178700 - 966540700 - Nextel: 129\*1265  
E-mail: ventas2@rocattech.com.pe

[www.rocattech.com.pe](http://www.rocattech.com.pe)



**Anexo 8:**  
**Conteo de Vehículos para el Diseño de Pavimento Urbano**



**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE SANTA MARÍA**



**CONTEO VEHICULAR DIARIO – LUNES 17 FEBRERO 2020**

HORA	SENTIDO	bici	moto	auto	sw	camionetas		micro (custer)	bus		camión			semi-trailer				trailer				TOTAL	%	
						pick up	combi priv		2 e	>=3 e	2 e	3 e	4 e	2s1	2s2/2s3	3s1/3s2	>=3s3	2t2	2t3	3t2	>=3T3			
00-01	ENTRADA			60	4	8	6				2												80.00	0.95%
	SALIDA			54	4						1												59.00	0.51%
01-02	ENTRADA			44	3	4	4					1											57.00	0.68%
	SALIDA			49	4		1																54.00	0.46%
02-03	ENTRADA			33	5	6	3					1											49.00	0.58%
	SALIDA			33	4		3						2										42.00	0.36%
03-04	ENTRADA			24	1		3					1		1									30.00	0.36%
	SALIDA			42	2	8	9																61.00	0.52%
04-05	ENTRADA			36	3	8	14	2				1		4									68.00	0.81%
	SALIDA			59	13	8	19					2		2									101.00	0.87%
05-06	ENTRADA			60	7	26	22	4				2		1									122.00	1.45%
	SALIDA			72	12	63	23	21	2			5		1									199.00	1.71%
06-07	ENTRADA			99	12	35	35	30				4											215.00	2.55%
	SALIDA			223	26	48	63	88	8			9											465.00	4.00%
07-08	ENTRADA			117	10	38	46	67				5									1		284.00	3.37%
	SALIDA			296	34	63	68	117				4		1									583.00	5.01%
08-09	ENTRADA			158	32	121	47	67				6											431.00	5.11%
	SALIDA			312	41	182	52	81				14									1		683.00	5.87%
09-10	ENTRADA			217	42	115	55	113	3			11		1									557.00	6.61%
	SALIDA			411	68	182	65	112				25		7							1		871.00	7.49%
10-11	ENTRADA			220	42	132	48	83				10		2									537.00	6.37%
	SALIDA			395	82	190	44	117				18		3									849.00	7.30%
11-12	ENTRADA			252	44	165	52	98				11		2									624.00	7.40%
	SALIDA			390	78	238	46	75			1	23		5									856.00	7.36%
12-13	ENTRADA			267	50	135	46	67				14		1									580.00	6.88%
	SALIDA			366	64	182	53	104	2			16											787.00	6.77%
13-14	ENTRADA			251	67	163	44	78			10	8		1									622.00	7.38%
	SALIDA			348	51	230	51	81	4			12		3									780.00	6.71%
14-15	ENTRADA			200	55	142	50	80			1	12											540.00	6.40%
	SALIDA			312	51	214	46	70			1	18											712.00	6.12%
15-16	ENTRADA			236	49	56	76	63				7		1									488.00	5.79%
	SALIDA			360	65	119	66	125				11		2									748.00	6.43%
16-17	ENTRADA			272	56	67	46	57				9											507.00	6.01%
	SALIDA			258	58	111	34	70				9		2							1		543.00	4.67%
17-18	ENTRADA			234	76	121	47	94				8		1									581.00	6.89%
	SALIDA			340	79	230	62	104				16		3									834.00	7.17%
18-19	ENTRADA			194	40	69	50	74				7											434.00	5.15%
	SALIDA			258	37	119	25	94	4			11											548.00	4.71%
19-20	ENTRADA			203	50	62	32	87			10	3											447.00	5.30%
	SALIDA			286	46	127	48	57				5											569.00	4.89%
20-21	ENTRADA			210	39	48	43	63				2											405.00	4.80%
	SALIDA			284	34	127	38	49															532.00	4.57%
21-22	ENTRADA			215	41	31	27	35				2											351.00	4.16%
	SALIDA			233	32	48	16	16														2	347.00	2.98%
22-23	ENTRADA			184	24	25	28	17															278.00	3.30%
	SALIDA			193	12	55	8	3															271.00	2.33%
23-00	ENTRADA			103	15	15	12																145.00	1.72%
	SALIDA			111	11	8	7					2											139.00	1.19%
<b>ENTRADA</b>		0.0	0.0	3889	767	1592	836	1179	23	1	124	19	2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8432.00	1.00
<b>SALIDA</b>		0.0	0.0	5685	908	2552	847	1384	20	2	202	30	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11633.00	1.00



**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE SANTA MARÍA**



**CONTEO VEHICULAR DIARIO – MARTES 18 FEBRERO 2020**

HORA	SENTIDO	bici	moto	auto	sw	camionetas		micro (custer)	bus		camión			semi-trailer				trailer				TOTAL	%		
						pick up	combi priv		2 e	>=3 e	2 e	3 e	4 e	2s1	2s2/2s3	3s1/3s2	>=3s3	2t2	2t3	3t2	>=3T3				
00-01	ENTRADA			63	4	8	1					2											78.00	0.91%	
	SALIDA			55	4								1											60.00	0.43%
01-02	ENTRADA			46	3	4	1					1	1										56.00	0.65%	
	SALIDA			51	4		3																58.00	0.42%	
02-03	ENTRADA			34	5	6						1											52.00	0.60%	
	SALIDA			34	4		10					2											50.00	0.36%	
03-04	ENTRADA			25	1		14																40.00	0.46%	
	SALIDA			36	2	8	32																78.00	0.56%	
04-05	ENTRADA			37	3	8	36	2				1											87.00	1.01%	
	SALIDA			61	14	8	64					2											149.00	1.07%	
05-06	ENTRADA			63	7	26	47	4				2	1										150.00	1.74%	
	SALIDA			75	13	63	77	21	2			5	1										257.00	1.84%	
06-07	ENTRADA			103	12	33	115	30				4											297.00	3.45%	
	SALIDA			231	27	48	211	91	8			9											625.00	4.47%	
07-08	ENTRADA			121	10	34	117	72				6											361.00	4.19%	
	SALIDA			307	35	63	224	120				4	1										754.00	5.40%	
08-09	ENTRADA			164	33	65	62	72				7											403.00	4.68%	
	SALIDA			323	43	190	173	86				16											832.00	5.95%	
09-10	ENTRADA			225	44	52	64	117				3	13	1									519.00	6.03%	
	SALIDA			426	70	190	215	114				25	7										1047.00	7.49%	
10-11	ENTRADA			228	44	74	70	85				11	2										514.00	5.97%	
	SALIDA			410	86	198	144	120				19	3										980.00	7.01%	
11-12	ENTRADA			262	46	126	74	100				15	2										625.00	7.26%	
	SALIDA			405	81	245	154	78				1	23	5									992.00	7.10%	
12-13	ENTRADA			277	53	89	71	70				10	1										571.00	6.63%	
	SALIDA			380	66	190	176	109				2	18										941.00	6.73%	
13-14	ENTRADA			261	69	83	68	80				10	8	1									580.00	6.74%	
	SALIDA			360	53	238	170	83				4	1	12	3								924.00	6.61%	
14-15	ENTRADA			207	57	67	64	83				1											490.00	5.69%	
	SALIDA			324	53	222	151	73				19											842.00	6.03%	
15-16	ENTRADA			245	50	58	93	65				6	1										518.00	6.02%	
	SALIDA			374	67	119	218	130				11	2										921.00	6.59%	
16-17	ENTRADA			282	59	46	57	59				9											512.00	5.95%	
	SALIDA			267	61	111	112	73				9	2	1									636.00	4.55%	
17-18	ENTRADA			244	79	121	98	96				8	1										647.00	7.52%	
	SALIDA			353	82	238	208	109				18	3										1011.00	7.24%	
18-19	ENTRADA			202	41	37	36	76				6											398.00	4.62%	
	SALIDA			267	38	119	83	96				4	11										618.00	4.42%	
19-20	ENTRADA			211	52	64	65	91				10		3									496.00	5.76%	
	SALIDA			297	47	135	160	57					5										701.00	5.02%	
20-21	ENTRADA			217	40	47	64	65					2										435.00	5.05%	
	SALIDA			294	36	135	125	52															642.00	4.59%	
21-22	ENTRADA			224	42	33	26	35					2										362.00	4.21%	
	SALIDA			241	33	48	54	16						2									394.00	2.82%	
22-23	ENTRADA			191	25	25	13	17															271.00	3.15%	
	SALIDA			201	13	55	29	3															301.00	2.15%	
23-00	ENTRADA			106	16	15	9																146.00	1.70%	
	SALIDA			116	12	8	22						2										160.00	1.15%	
<b>ENTRADA</b>		0.0	0.0	4038	795	1121	1271	1219	23	1	126	13	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8608.00	1.00	
<b>SALIDA</b>		0.0	0.0	5888	944	2631	2815	1431	20	2	210	30	2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13973.00	1.00	



**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE SANTA MARÍA**



**CONTEO VEHICULAR DIARIO – MIERCOLES 19 FEBRERO 2020**

HORA	SENTIDO	bici	moto	auto	sw	camionetas		micro (custer)	bus		camión			semi-trailer				trailer				TOTAL	%	
						pick up	combi priv		2 e	>=3 e	2 e	3 e	4 e	2s1	2s2/2s3	3s1/3s2	>=3s3	2t2	2t3	3t2	>=3T3			
00-01	ENTRADA			70	5	10	2					2											89.00	0.90%
	SALIDA			61	5							2											68.00	0.43%
01-02	ENTRADA			51	4	6	1					1	1										64.00	0.64%
	SALIDA			56	4		6																66.00	0.42%
02-03	ENTRADA			38	6	8						1											59.00	0.59%
	SALIDA			39	4		13					4											60.00	0.38%
03-04	ENTRADA			27	1		11																39.00	0.39%
	SALIDA			41	3	16	35																95.00	0.61%
04-05	ENTRADA			41	4	10	24	4				2											85.00	0.86%
	SALIDA			68	15	16	70					4											173.00	1.11%
05-06	ENTRADA			70	8	34	46	7				3	1										169.00	1.70%
	SALIDA			84	14	71	86	23	4			7	2										291.00	1.86%
06-07	ENTRADA			114	13	31	109	35				6									2		310.00	3.12%
	SALIDA			258	30	55	234	101	10			11											699.00	4.47%
07-08	ENTRADA			135	11	45	112	78				5			2								388.00	3.90%
	SALIDA			343	39	71	250	135				5	2								1		846.00	5.41%
08-09	ENTRADA			183	36	109	93	78				5											504.00	5.07%
	SALIDA			361	48	214	192	94				18			2								929.00	5.94%
09-10	ENTRADA			251	49	92	115	130	7			16	2										662.00	6.66%
	SALIDA			476	78	214	240	130				28	9										1175.00	7.51%
10-11	ENTRADA			255	49	130	83	94				14	2										627.00	6.31%
	SALIDA			458	95	222	163	135				21	4								1		1099.00	7.03%
11-12	ENTRADA			292	51	138	104	113				13	3										714.00	7.18%
	SALIDA			452	90	269	173	86	2			26	6										1104.00	7.06%
12-13	ENTRADA			309	59	114	93	76				9	2										662.00	6.66%
	SALIDA			424	74	214	195	120	4			19										1	1051.00	6.72%
13-14	ENTRADA			291	77	141	82	89				14	9	2									705.00	7.09%
	SALIDA			402	59	261	189	91	6	1		14	4										1027.00	6.56%
14-15	ENTRADA			231	64	93	83	91				1	13										576.00	5.80%
	SALIDA			361	58	245	170	81				21											936.00	5.98%
15-16	ENTRADA			273	56	64	110	72				1	7	1									584.00	5.88%
	SALIDA			418	75	135	243	146				12	3										1032.00	6.60%
16-17	ENTRADA			314	65	75	62	65				10										2	593.00	5.97%
	SALIDA			298	67	127	125	81				11	3	2									714.00	4.56%
17-18	ENTRADA			272	89	120	93	109				13	2									2	700.00	7.04%
	SALIDA			393	91	261	231	120				19	4										1119.00	7.15%
18-19	ENTRADA			225	46	71	43	85				7											477.00	4.80%
	SALIDA			298	43	135	93	107	6			12											694.00	4.44%
19-20	ENTRADA			235	58	101	69	100	14			6											583.00	5.87%
	SALIDA			331	53	150	179	65				7											785.00	5.02%
20-21	ENTRADA			242	45	61	52	72				2											474.00	4.77%
	SALIDA			328	40	150	138	57															713.00	4.56%
21-22	ENTRADA			249	47	37	27	39				2											401.00	4.03%
	SALIDA			269	37	55	61	18					3										443.00	2.83%
22-23	ENTRADA			213	28	29	17	20															307.00	3.09%
	SALIDA			223	14	63	32	5															337.00	2.15%
23-00	ENTRADA			119	18	17	13																167.00	1.68%
	SALIDA			128	14	16	26					4											188.00	1.20%
<b>ENTRADA</b>		0.0	0.0	4500	889	1536	1450	1357	35	2	144	18	2	6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9939.00	1.00
<b>SALIDA</b>		0.0	0.0	6570	1050	2960	3144	1595	30	3	42	243	4	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15644.00	1.00



**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE SANTA MARÍA**



**CONTEO VEHICULAR DIARIO – JUEVES 20 FEBRERO 2020**

HORA	SENTIDO	bici	moto	auto	sw	camionetas		micro (custer)	bus		camión			semi-trailer				trailer				TOTAL	%	
						pick up	combi priv		2 e	>=3 e	2 e	3 e	4 e	2s1	2s2/2s3	3s1/3s2	>=3s3	2t2	2t3	3t2	>=3T3			
00-01	ENTRADA			68	4	8	1					2											83.00	0.89%
	SALIDA			60	4							1											65.00	0.43%
01-02	ENTRADA			50	3	4	1					1	1										60.00	0.65%
	SALIDA			55	4		3																62.00	0.41%
02-03	ENTRADA			37	5	6	3					1											52.00	0.56%
	SALIDA			37	4		10					2											53.00	0.35%
03-04	ENTRADA			27	1		11																39.00	0.42%
	SALIDA			39	2	8	32																81.00	0.54%
04-05	ENTRADA			40	3	8	33	2				1											87.00	0.94%
	SALIDA			66	14	8	67					2											157.00	1.04%
05-06	ENTRADA			68	7	20	36	4				3	1										139.00	1.49%
	SALIDA			81	14	63	83	21	2			5	1										270.00	1.79%
06-07	ENTRADA			112	13	29	69	33				5											261.00	2.81%
	SALIDA			252	29	48	227	99	8			9											672.00	4.46%
07-08	ENTRADA			132	10	33	112	76				5											369.00	3.97%
	SALIDA			335	38	63	243	130				4	1										814.00	5.40%
08-09	ENTRADA			179	35	98	82	76				4											474.00	5.10%
	SALIDA			353	46	206	186	91				16											899.00	5.97%
09-10	ENTRADA			245	48	110	132	126	3			14	1										679.00	7.30%
	SALIDA			465	76	206	234	125				27	7										1140.00	7.57%
10-11	ENTRADA			249	48	118	53	91				13	2										574.00	6.17%
	SALIDA			448	93	214	157	130				19	3										1064.00	7.06%
11-12	ENTRADA			286	50	126	63	109				14	2										650.00	6.99%
	SALIDA			442	88	261	166	83	1			25	5										1071.00	7.11%
12-13	ENTRADA			302	57	102	82	74				11	1										629.00	6.76%
	SALIDA			408	72	206	189	117				2	18										1012.00	6.72%
13-14	ENTRADA			284	75	119	81	87				10	7	1									664.00	7.14%
	SALIDA			393	58	253	182	88				4	12	3									993.00	6.59%
14-15	ENTRADA			226	62	91	83	89				9											560.00	6.02%
	SALIDA			353	57	238	163	78				19											908.00	6.03%
15-16	ENTRADA			267	55	62	40	70				6	1										501.00	5.39%
	SALIDA			408	73	127	237	140				11	2										998.00	6.62%
16-17	ENTRADA			307	64	53	31	63				9											527.00	5.67%
	SALIDA			291	66	119	122	78				9	2	1									688.00	4.57%
17-18	ENTRADA			265	86	138	44	104				14	1										652.00	7.01%
	SALIDA			385	89	253	224	117				18	3										1089.00	7.23%
18-19	ENTRADA			220	45	69	43	83				9											469.00	5.04%
	SALIDA			291	41	127	90	104				4	11										668.00	4.43%
19-20	ENTRADA			230	56	70	62	98				10	2										528.00	5.68%
	SALIDA			324	51	143	173	62					5										758.00	5.03%
20-21	ENTRADA			237	44	59	53	70				2											465.00	5.00%
	SALIDA			321	38	143	134	55															691.00	4.59%
21-22	ENTRADA			244	45	35	17	37				2											380.00	4.09%
	SALIDA			263	36	48	58	16						2									423.00	2.81%
22-23	ENTRADA			208	27	27	15	17															294.00	3.16%
	SALIDA			218	14	55	29	3															319.00	2.12%
23-00	ENTRADA			116	17	15	14																162.00	1.74%
	SALIDA			126	13	8	22					2											171.00	1.14%
<b>ENTRADA</b>		0.0	0.0	4399	860	1400	1161	1309	23	0	132	13	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9298.00	1.00
<b>SALIDA</b>		0.0	0.0	6414	1020	2797	3031	1537	20	1	214	30	2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15066.00	1.00



**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE SANTA MARÍA**



**CONTEO VEHICULAR DIARIO – VIERNES 21 FEBRERO 2020**

HORA	SENTIDO	bici	moto	auto	sw	camionetas		micro (custer)	bus		camión			semi-trailer				trailer				TOTAL	%	
						pick up	combi priv		2 e	>=3 e	2 e	3 e	4 e	2s1	2s2/2s3	3s1/3s2	>=3s3	2t2	2t3	3t2	>=3T3			
00-01	ENTRADA			66	4	8	1					2											81.00	0.88%
	SALIDA			59	4							1											64.00	0.43%
01-02	ENTRADA			49	3	4	1					1	1										59.00	0.64%
	SALIDA			54	4		3																61.00	0.41%
02-03	ENTRADA			36	5	6	1					1											49.00	0.53%
	SALIDA			36	4		10					2											52.00	0.35%
03-04	ENTRADA			26	1		11																38.00	0.41%
	SALIDA			39	2	8	32																81.00	0.55%
04-05	ENTRADA			39	3	8	33	2				1											86.00	0.94%
	SALIDA			64	14	8	67					2											155.00	1.05%
05-06	ENTRADA			66	7	10	36	4				1	1										125.00	1.36%
	SALIDA			79	14	63	83	21	2			5	1										268.00	1.82%
06-07	ENTRADA			108	13	29	69	33				3											255.00	2.78%
	SALIDA			244	29	48	221	96	8			9											655.00	4.45%
07-08	ENTRADA			128	10	33	92	74				5											343.00	3.74%
	SALIDA			324	37	63	237	127				4	1										793.00	5.38%
08-09	ENTRADA			173	35	67	72	74				4											425.00	4.63%
	SALIDA			341	45	206	182	88				16											879.00	5.97%
09-10	ENTRADA			231	47	100	84	124				3	1										598.00	6.51%
	SALIDA			450	74	206	227	122				27	7										1113.00	7.55%
10-11	ENTRADA			241	47	108	82	89				7	2										576.00	6.27%
	SALIDA			433	90	214	154	127				19	3										1040.00	7.06%
11-12	ENTRADA			276	49	114	83	107				7	2										638.00	6.95%
	SALIDA			428	86	253	163	81				1	25	5									1042.00	7.07%
12-13	ENTRADA			292	55	110	82	72				3	1										615.00	6.70%
	SALIDA			401	70	206	186	114				2	18										997.00	6.77%
13-14	ENTRADA			275	73	137	81	85				10	3	1									665.00	7.24%
	SALIDA			380	56	245	179	86				4	12	3									965.00	6.55%
14-15	ENTRADA			219	60	91	83	87				3											543.00	5.92%
	SALIDA			342	56	238	160	78				19											893.00	6.06%
15-16	ENTRADA			259	53	60	89	67				2	1										531.00	5.78%
	SALIDA			395	71	127	231	138				11	2										975.00	6.62%
16-17	ENTRADA			298	62	73	82	63				9											587.00	6.39%
	SALIDA			282	63	119	118	78				9	2	1									672.00	4.56%
17-18	ENTRADA			257	84	116	82	107				4	1										651.00	7.09%
	SALIDA			373	86	245	218	114				18	3										1057.00	7.17%
18-19	ENTRADA			213	44	89	43	80				5											474.00	5.16%
	SALIDA			282	41	127	90	101				4	11										656.00	4.45%
19-20	ENTRADA			222	55	68	78	96				10	2										531.00	5.78%
	SALIDA			313	50	143	170	62					5										743.00	5.04%
20-21	ENTRADA			230	42	79	61	67					2										481.00	5.24%
	SALIDA			311	38	143	131	55															678.00	4.60%
21-22	ENTRADA			236	44	35	37	37					2										391.00	4.26%
	SALIDA			255	35	48	58	16						2									414.00	2.81%
22-23	ENTRADA			202	27	27	15	17															288.00	3.14%
	SALIDA			211	14	55	29	3															312.00	2.12%
23-00	ENTRADA			112	17	15	6																150.00	1.63%
	SALIDA			122	13	8	22						2										167.00	1.13%
<b>ENTRADA</b>		0.0	0.0	4254	840	1387	1304	1285	23	0	73	13	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9180.00	1.00
<b>SALIDA</b>		0.0	0.0	6218	996	2773	2971	1507	20	1	214	30	2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14732.00	1.00



**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE SANTA MARÍA**



**CONTEO VEHICULAR DIARIO – SABADO 22 FEBRERO 2020**

HORA	SENTIDO	bici	moto	auto	sw	camionetas		micro (custer)	bus		camión			semi-trailer				trailer				TOTAL	%		
						pick up	combi priv		2 e	>=3 e	2 e	3 e	4 e	2s1	2s2/2s3	3s1/3s2	>=3s3	2t2	2t3	3t2	>=3T3				
00-01	ENTRADA			55	4	8	1					2											70.00	0.90%	
	SALIDA			48	4								1											53.00	0.43%
01-02	ENTRADA			41	3	4	1					1	1											51.00	0.65%
	SALIDA			43	4		3																	50.00	0.40%
02-03	ENTRADA			30	5	6	3					1												45.00	0.58%
	SALIDA			30	4		10					2												46.00	0.37%
03-04	ENTRADA			22	1		5																	28.00	0.36%
	SALIDA			31	2	8	29																	70.00	0.56%
04-05	ENTRADA			33	3	8	11	2		1	1													59.00	0.75%
	SALIDA			52	12	8	59				2													133.00	1.07%
05-06	ENTRADA			55	6	10	25	4			3	1												104.00	1.33%
	SALIDA			64	11	57	72	18		2	5	1												230.00	1.85%
06-07	ENTRADA			91	11	28	67	29			5													231.00	2.95%
	SALIDA			198	24	41	193	81		8	9													554.00	4.47%
07-08	ENTRADA			108	9	20	90	65			4													297.00	3.80%
	SALIDA			263	31	57	203	107			4	1												666.00	5.37%
08-09	ENTRADA			146	29	78	67	65			8													393.00	5.02%
	SALIDA			277	38	179	157	76			14													742.00	5.98%
09-10	ENTRADA			190	39	81	53	81		3	13													460.00	5.88%
	SALIDA			540	62	113	139	96			21													971.00	7.83%
10-11	ENTRADA			203	39	99	40	78		3	11	2												475.00	6.07%
	SALIDA			352	76	179	131	107			16	4												865.00	6.98%
11-12	ENTRADA			233	41	105	71	91			16	3												560.00	7.16%
	SALIDA			347	72	220	141	68			21	7												876.00	7.06%
12-13	ENTRADA			246	47	101	82	62			9	1												548.00	7.01%
	SALIDA			326	59	179	157	97		2	16													836.00	6.74%
13-14	ENTRADA			232	61	124	89	74		9	6	1												596.00	7.62%
	SALIDA			309	47	212	154	73		4	11	4												814.00	6.56%
14-15	ENTRADA			185	50	85	60	76			9													465.00	5.95%
	SALIDA			277	46	203	138	65			16													745.00	6.01%
15-16	ENTRADA			218	45	61	96	58			5	1												484.00	6.19%
	SALIDA			321	59	106	200	115		1	9	3												814.00	6.56%
16-17	ENTRADA			251	52	60	40	53			7													463.00	5.92%
	SALIDA			229	54	106	102	65			9	3	1											569.00	4.59%
17-18	ENTRADA			216	70	137	80	87			8													600.00	7.67%
	SALIDA			302	73	212	187	97			16	4												891.00	7.19%
18-19	ENTRADA			179	37	53	40	69		1	4													383.00	4.90%
	SALIDA			229	34	106	75	86		4	9													543.00	4.38%
19-20	ENTRADA			187	46	59	67	82		9	2													452.00	5.78%
	SALIDA			255	42	122	144	52			5													620.00	5.00%
20-21	ENTRADA			193	36	25	59	58			2													373.00	4.77%
	SALIDA			253	31	122	115	47		1														569.00	4.59%
21-22	ENTRADA			199	37	29	16	31			2													314.00	4.01%
	SALIDA			207	29	41	49	13				3												342.00	2.76%
22-23	ENTRADA			170	22	24	9	16																241.00	3.08%
	SALIDA			172	11	49	26	3																261.00	2.10%
23-00	ENTRADA			95	14	14	6																	129.00	1.65%
	SALIDA			99	11	8	20				2													140.00	1.13%
<b>ENTRADA</b>		0.0	0.0	3578	707	1219	1078	1081	24	2	117	13	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7821.00	1.00
<b>SALIDA</b>		0.0	0.0	5224	836	2328	2504	1266	20	2	187	31	2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12400.00	1.00

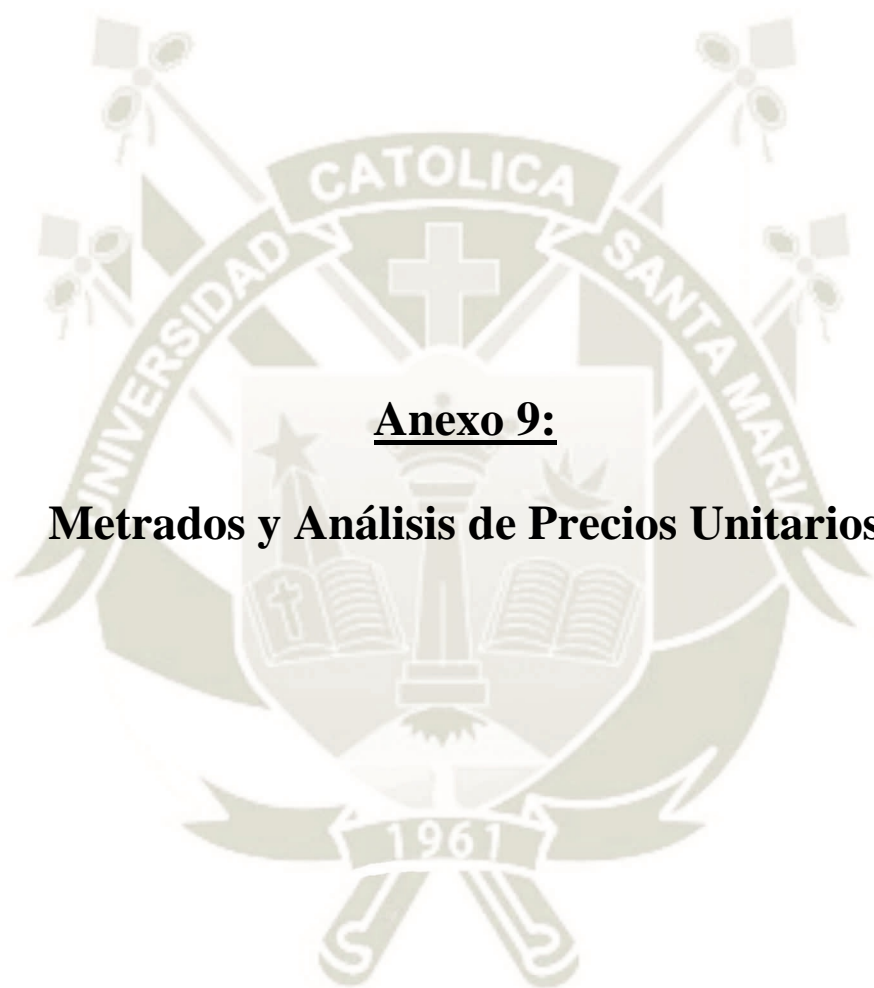


**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE SANTA MARÍA**



**CONTEO VEHICULAR DIARIO – DOMINGO 23 FEBRERO 2020**

HORA	SENTIDO	bici	moto	auto	sw	camionetas		micro (custer)	bus		camión			semi-trailer				trailer				TOTAL	%		
						pick up	combi priv		2 e	>=3 e	2 e	3 e	4 e	2s1	2s2/2s3	3s1/3s2	>=3s3	2t2	2t3	3t2	>=3T3				
00-01	ENTRADA			30	2	4	1					1											38.00	0.92%	
	SALIDA			26	2																			29.00	0.43%
01-02	ENTRADA			22	2	2						1	1										28.00	0.68%	
	SALIDA			24	2		3																29.00	0.43%	
02-03	ENTRADA			16	2	4						1											23.00	0.56%	
	SALIDA			16	2		6					2											26.00	0.39%	
03-04	ENTRADA			12	1																		13.00	0.32%	
	SALIDA			17	1	8	16																42.00	0.63%	
04-05	ENTRADA			18	2	4	12	2				1											39.00	0.95%	
	SALIDA			29	6	8	32					2											77.00	1.15%	
05-06	ENTRADA			30	4	16	13	2				1	1										67.00	1.63%	
	SALIDA			36	6	32	38	10	2			4	1										129.00	1.93%	
06-07	ENTRADA			49	6	10	35	15				2											117.00	2.84%	
	SALIDA			108	13	24	99	44	4			5											297.00	4.45%	
07-08	ENTRADA			57	5	12	45	35				2											157.00	3.81%	
	SALIDA			144	16	32	106	57				2	1										358.00	5.36%	
08-09	ENTRADA			77	15	34	45	35				2											208.00	5.05%	
	SALIDA			152	20	95	80	42				7											397.00	5.95%	
09-10	ENTRADA			106	21	43	56	54				3	7	1									291.00	7.06%	
	SALIDA			201	33	95	102	55				12	4										502.00	7.52%	
10-11	ENTRADA			108	21	45	36	41				5	1										257.00	6.23%	
	SALIDA			193	40	95	70	57				9	2										466.00	6.98%	
11-12	ENTRADA			123	22	49	46	48				8	1										297.00	7.21%	
	SALIDA			191	38	119	74	36				1	12	3									474.00	7.10%	
12-13	ENTRADA			130	25	37	35	33				2	9										269.00	6.53%	
	SALIDA			179	31	95	83	52				7	3	1									451.00	6.76%	
13-14	ENTRADA			123	33	49	35	39				2	9										290.00	7.04%	
	SALIDA			170	25	111	80	39				7	2										436.00	6.53%	
14-15	ENTRADA			98	27	49	26	39				4											243.00	5.90%	
	SALIDA			153	25	103	70	34				9											394.00	5.90%	
15-16	ENTRADA			115	24	27	59	30				2	1										258.00	6.26%	
	SALIDA			176	31	55	102	62				5	1										432.00	6.47%	
16-17	ENTRADA			132	28	22	25	28				4											239.00	5.80%	
	SALIDA			126	28	55	54	34				5	1	1									304.00	4.55%	
17-18	ENTRADA			115	38	51	45	46				4	1										300.00	7.28%	
	SALIDA			166	38	111	99	52				9	2										477.00	7.15%	
18-19	ENTRADA			95	19	17	26	37				2											196.00	4.75%	
	SALIDA			126	18	55	42	47				2	5										295.00	4.42%	
19-20	ENTRADA			99	25	31	24	43				7	1										230.00	5.58%	
	SALIDA			140	22	63	77	29					4										335.00	5.02%	
20-21	ENTRADA			102	19	14	25	30					1										191.00	4.63%	
	SALIDA			138	17	63	61	26															305.00	4.57%	
21-22	ENTRADA			105	20	15	13	17					1										171.00	4.15%	
	SALIDA			113	16	24	26	8						1									188.00	2.82%	
22-23	ENTRADA			90	12	14	6	9															131.00	3.18%	
	SALIDA			94	6	32	13	3															148.00	2.22%	
23-00	ENTRADA			50	8	8	3																69.00	1.67%	
	SALIDA			54	6	8	13					2											83.00	1.24%	
<b>ENTRADA</b>		0.0	0.0	1902	381	557	611	583	17	0	60	10	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4122.00	1.00	
<b>SALIDA</b>		0.0	0.0	2772	442	1283	1346	687	12	1	110	19	2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6674.00	1.00	



**Anexo 9:**

**Metrados y Análisis de Precios Unitarios**

## METRADO DETALLADO DE PISTA DE PAVIMENTO URBANO CONVENCIONAL

### 0.1 MOVIMIENTO DE TIERRAS

#### 0.1.01. EXCAVACIÓN A NIVEL DE SUBRASANTE

Descripción	Unidad	Cantidad	Dimensión (m)			Volumen m <sup>3</sup>	Parcial	Total
			Largo	Ancho	Alto			
Excavación	m <sup>3</sup>	1.00	1.00	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50
SUMA (m <sup>3</sup> )								0.50

#### 0.1.02. CARGUÍO DE MATERIAL EXCEDENTE PROCEDENTE DE LA EXCAVACIÓN

Descripción	Unidad	Cantidad	Factor de esponjamiento	Volumen m <sup>3</sup>	Parcial	Total
SUMA (m <sup>3</sup> )						0.60

#### 0.1.03. ELIMINACIÓN DE MATERIAL PROCEDENTE DE LA EXCAVACIÓN

Descripción	Unidad	Cantidad	Factor de esponjamiento	Volumen m <sup>3</sup>	Parcial	Total
SUMA (m <sup>3</sup> )						0.60

#### 0.1.04. PERFILADO Y COMPACTACIÓN DE LA SUB RASANTE

Descripción	Unidad	Cantidad	Dimensión (m)			Cantidad m <sup>2</sup>	Parcial	Total
			Largo	Ancho	Alto			
Perfilado y C.	m <sup>2</sup>	1.00	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
SUMA (m <sup>2</sup> )							1.00	

### 0.2. PAVIMENTO

#### 0.2.01. SUB BASE GRANULAR

Descripción	Unidad	Cantidad	Dimensión (m)			Volumen m <sup>3</sup>	Parcial	Total
			Largo	Ancho	Alto			
Sub base	m <sup>3</sup>	1.00	1.00	1.00	0.15	0.15	0.15	0.15
SUMA (m <sup>3</sup> )							0.15	

#### 0.2.02. BASE GRANULAR

Descripción	Unidad	Cantidad	Dimensión (m)			Volumen m <sup>3</sup>	Parcial	Total
			Largo	Ancho	Alto			
Base	m <sup>3</sup>	1.00	1.00	1.00	0.25	0.25	0.25	0.25
SUMA (m <sup>3</sup> )							0.25	

### 0.3. CARPETA ASFÁLTICA

#### 0.3.01. IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA

Descripción	Unidad	Cantidad	Dimensión (m)			Cantidad m <sup>2</sup>	Parcial	Total
			Largo	Ancho	Alto			
Imprimación	m <sup>2</sup>	1.00	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
SUMA (m <sup>2</sup> )								1.00

#### 0.3.02. PREPARACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

Descripción	Unidad	Cantidad	Dimensión (m)			Volumen m <sup>3</sup>	Parcial	Total
			Largo	Ancho	Alto			
Asfalto	m <sup>3</sup>	1.00	1.00	1.00	0.12	0.12	0.12	0.12
SUMA (m <sup>3</sup> )								0.12

#### 0.3.03. ESPARCIDO Y COMPACTADO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE E=0.06 m

Descripción	Unidad	Cantidad	Dimensión (m)			Cantidad m <sup>2</sup>	Parcial	Total
			Largo	Ancho	Alto			
Asfalto	m <sup>2</sup>	1.00	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
SUMA (m <sup>2</sup> )								1.00

#### 0.3.04. ESPARCIDO Y COMPACTADO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE E=0.06 m

Descripción	Unidad	Cantidad	Dimensión (m)			Cantidad m <sup>2</sup>	Parcial	Total
			Largo	Ancho	Alto			
Asfalto	m <sup>2</sup>	1.00	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
SUMA (m <sup>2</sup> )								1.00

## ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Presupuesto 1004002 PRESUPUESTO PISTA PAVIMENTO CON MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL

Partida	01.01	EXCAVACIÓN A NIVEL DE SUB RASANTE					
Rendimiento	m3/DIA	570.0000	EQ.	570.0000	Costo unitario directo por : m3	5.02	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
<b>Mano de Obra</b>							
0101010002	CAPATAZ	hh	0.2000	0.0028	32.20	0.09	
0101010005	PEON	hh	2.0000	0.0281	17.67	0.50	
0101030008	CONTROLADOR	hh	0.2000	0.0028	19.58	0.05	
<b>0.64</b>							
<b>Equipos</b>							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.64	0.03	
03011800	TRACTOR DE ORUGAS DE 190-240 HP	hm	1.0000	0.0140	310.80	4.35	
<b>4.38</b>							
Partida	01.02	CARGUÍO DE MATERIAL EXCEDENTE PROCEDENTE DE LA EXCAVACIÓN					
Rendimiento	m3/DIA	840.0000	EQ.	840.0000	Costo unitario directo por : m3	2.27	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
<b>Mano de Obra</b>							
0101030008	CONTROLADOR	hh	0.5000	0.0048	19.58	0.09	
<b>0.09</b>							
<b>Equipos</b>							
0301160	CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 200-250 HP	hm	1.0000	0.0095	229.10	2.18	
<b>2.18</b>							
Partida	01.03	ELIMINACIÓN DE MATERIAL PROCEDENTE DE LA EXCAVACIÓN (D=5KM)					
Rendimiento	m3/DIA	195.0000	EQ.	195.0000	Costo unitario directo por : m3	6.12	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
<b>Mano de Obra</b>							
0101030008	CONTROLADOR	hh	0.2000	0.0082	19.58	0.16	
<b>0.16</b>							
<b>Equipos</b>							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.16	0.01	
0301220004	CAMION VOLQUETE	hm	1.0000	0.0410	145.00	5.95	
<b>5.96</b>							

Partida	01.04		PERFILADO Y COMPACTADO DE SUB-RASANTE			
Rendimiento	m2/DIA	2,860.0000	EQ.	2,860.0000	Costo unitario directo por : m2	3.92
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0028	32.20	0.09
0101010005	PEON	hh	4.0000	0.0112	17.67	0.20
						<b>0.29</b>
<b>Materiales</b>						
0207070001	AGUA PUESTA EN OBRA	m3		0.1042	25.47	2.65
						<b>2.65</b>
<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.29	0.01
030119000	RODILLO VIBRATORIO DYNAPAC LISO CA-15	hm	1.0000	0.0028	146.08	0.41
0301200001	MOTONIVELADORA 130 - 135 HP	hm	1.0000	0.0028	200.88	0.56
						<b>0.98</b>
Partida	02.01		SUB BASE GRANULAR E=0.15			
Rendimiento	m3/DIA	371.0000	EQ.	371.0000	Costo unitario directo por : m3	80.56
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0216	32.20	0.70
0101010005	PEON	hh	6.0000	0.1294	17.67	2.29
0101030008	CONTROLADOR	hh	1.0000	0.0216	19.58	0.42
						<b>3.41</b>
<b>Materiales</b>						
0207040001	MATERIAL GRANULAR	m3		1.2000	60.00	72.00
0207070001	AGUA PUESTA EN OBRA	m3		0.0150	25.47	0.38
						<b>72.38</b>
<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	3.41	0.17
0301100003	COMPACTADORA DE PLANCHA	día	1.0000	0.0027	95.71	0.26
03012000010001	MOTONIVELADORA 130 - 135 HP	hm	1.0000	0.0216	200.88	4.34
						<b>4.77</b>

Partida	<b>02.02</b>	<b>BASE GRANULAR E=0.25</b>				
Rendimiento	<b>m3/DIA</b>	<b>371.0000</b>	EQ.	<b>371.0000</b>	Costo unitario directo por : m3	<b>86.56</b>

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0216	32.20	0.70
0101010005	PEON	hh	6.0000	0.1294	17.67	2.29
0101030008	CONTROLADOR	hh	1.0000	0.0216	19.58	0.42
						<b>3.41</b>
<b>Materiales</b>						
0207040001	MATERIAL GRANULAR	m3		1.3000	60.00	78.00
0207070001	AGUA PUESTA EN OBRA	m3		0.0150	25.47	0.38
						<b>78.38</b>
<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	3.41	0.17
0301100003	COMPACTADORA DE PLANCHA	día	1.0000	0.0027	95.71	0.26
0301200001	MOTONIVELADORA 130 - 135 HP	hm	1.0000	0.0216	200.88	4.34
						<b>4.77</b>

Partida	<b>03.01</b>	<b>IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA</b>				
Rendimiento	<b>m2/DIA</b>	<b>4,000.0000</b>	EQ.	<b>4,000.0000</b>	Costo unitario directo por : m2	<b>4.27</b>

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0020	32.20	0.06
0101010005	PEON	hh	6.0000	0.0120	17.67	0.21
0101030008	CONTROLADOR	hh	1.0000	0.0020	19.58	0.04
						<b>0.31</b>
<b>Materiales</b>						
0201040002	KEROSENE INDUSTRIAL	gal		0.0450	4.00	0.18
0201050001	ASFALTO RC-250	gal		0.3000	11.05	3.32
						<b>3.50</b>
<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.31	0.01
03012200	CAMION IMPRIMADOR 6X2 178-210 HP 1,800 gl	hm	1.0000	0.0020	181.55	0.36
0301390005	BARREDORA MECANICA 10-20 HP 7 P.LONG.	hm	1.0000	0.0020	47.40	0.09
						<b>0.46</b>

Partida	<b>03.02</b>	<b>PREPARACION DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE</b>				
Rendimiento	<b>m3/DIA</b>	<b>360.0000</b>	EQ.	<b>360.0000</b>	Costo unitario directo por : m3	<b>581.48</b>

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
0101010003	OPERARIO	hh	3.0000	0.0667	24.77	1.65
0101010005	PEON	hh	6.0000	0.1333	17.67	2.36
						<b>4.01</b>
<b>Materiales</b>						
0201040001	PETROLEO D-2	gal		4.00	11.80	47.20
02010500	ASFALTO PEN 85-100	gal		27.50	13.00	357.50
02070100	PIEDRA CHANCADA 3/4"	m3		0.79	70.00	55.30
02070200	ARENA GRUESA	m3		0.63	65.00	40.95
0207020002	FILLER	kg		101.38	0.65	65.90
						<b>566.85</b>
<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		1.0000	4.01	0.04
030116000	CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 125-135 HP 3 yd3	hm	1.0000	0.0222	177.95	3.95
03013900	PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE M.E. 50,65 - 115 ton/h	hm	1.0000	0.0222	298.51	6.63
						<b>10.62</b>

Partida	<b>03.03</b>	<b>ESPARCIDO Y COMPACTADO DE MEZCLA ASFÁLTICA</b>				
Rendimiento	<b>m3/DIA</b>	<b>250.0000</b>	EQ.	<b>250.0000</b>	Costo unitario directo por : m2	<b>21.55</b>

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0320	32.20	1.03
0101010003	OPERARIO	hh	2.0000	0.0640	24.77	1.59
0101010005	PEON	hh	6.0000	0.1920	17.67	3.39
						<b>6.01</b>
<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	6.01	0.18
0301190001	RODILLO DE 17 TON.	hm	1.0000	0.0320	250.00	8.00
03013901	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 69 HP	hm	1.0000	0.0320	230.00	7.36
						<b>15.54</b>

## **Anexo 10:**

### **Estudio de suelos de la obra**

**“Rehabilitación post-desastre del servicio de transitabilidad vehicular en el sector de la Av. Alfonso Ugarte (0.00 – 208) Av. Felipe Salaverry (La Marina al Óvalo de Vallecito) Av. Virgen del Pilar (By Pass de Venezuela con Paucarpata), Calle Bouroncle Umacollo Av. Parra (Puente Bolívar y Alameda Mario Vargas Llosa), distrito de Arequipa, provincia de Arequipa – Arequipa”**

**LABSY CONST S.R.L.**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ASFALTOS,  
CONCRETOS Y CONSTRUCCIÓN.

LABSY CONST SRL. RUC: 20601130379

TEL.054-601563 CEL.943039743 - 958704575

**PROYECTO:** "REHABILITACION POST-DESASTRE DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN EL SECTOR DE LA AV. ALFONSO UGARTE (0.00 – 208) AV. FELIPE SALAVERRY (LA MARINA AL OVALO DE VALLECITO) AV. VIRGEN DEL PILAR (BY PASS DE VENEZUELA CON PAUCARPATA), CALLE BOURONCLE UMACOLLO AV. PARRA (PUENTE BOLIVAR Y ALAMEDA MARIO VARGAS LLOSA), DISTRITO DE AREQUIPA, PROVINCIA DE AREQUIPA - AREQUIPA"

**CALICATA:** C-1

**MATERIAL:** BASE GRANULAR EXISTENTE

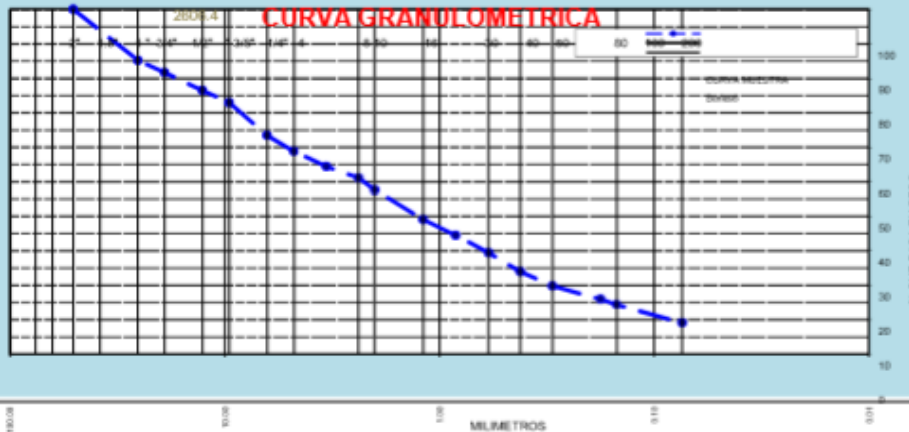
**MUESTRA:** DE 0.05m. A 0.25m

**FECHA :** JULIO - 2014

**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO**

TAMIZ	ABERT. mm	PESO RET.	%RET.	%RET. AC.	% Q' PASA	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						PESO TOTAL : 2606.4
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0		
2"	50.800	0.0	0.0	0.0	100.0		LIMITE LIQUIDO : NP INDICE PLAST. : NP CLASIFICACION : A-1-b(0) SP-SM
1 1/2"	38.100	216.5	8.3	8.3	91.7		
1"	25.400	168.5	6.5	14.8	85.2		OBSERVACIONES:
3/4"	19.050	92.3	3.5	18.3	81.7		
1/2"	12.700	134.2	5.1	23.5	76.5		
3/8"	9.525	92.6	3.6	27.0	73.0		
1/4"	6.350	247.5	9.5	36.5	63.5		
# 4	4.750	120.3	4.6	41.1	58.9		
# 6	3.360	114.4	4.4	45.5	54.5		
# 8	2.380	85.6	3.3	48.8	51.2		
# 10	2.000	92.6	3.6	52.4	47.6		
#16	1.190	224.7	8.6	61.0	39.0		
# 20	0.840	118.8	4.6	65.5	34.5		
# 30	0.590	130.3	5.0	70.5	29.5		
# 40	0.420	144.6	5.5	76.1	23.9		
# 50	0.297	107.2	4.1	80.2	19.8		
# 80	0.177	99.6	3.8	84.0	16.0		
# 100	0.149	42.7	1.6	85.7	14.3		
# 200	0.074	136.6	5.2	90.9	9.1		
< # 200		237.4	9.1	100.0	0.0		

**CURVA GRANULOMETRICA**



URB. LOS GIRASOLES JR. TACNA A-17 CERRO COLORADO  
TEL. 601563 CEL. 951704575 - 959887381 RPM: 8943039743 E-mail: serlabso@hotmail.com  
www.laboratorioserlabso.com

**LABSY CONST S.R.L.**  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ANÁLISIS,  
CONCRETO Y CONSTRUCCIÓN

---

LABSY CONST SRL RUC: 20601130379 TEL: 054-601563 CEL: 943039743 - 958704575

**PROYECTO:** REHABILITACION POST-DESASTRE DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN EL SECTOR DE LA AV. ALFONSO UGARTE (0.00 - 206) AV. FELIPE SALAVERRY (LA MARINA AL OVALO DE VALLECITO) AV. VIRGEN DEL PILAR (BY PASS DE VENEZUELA CON PAUCARPATA), CALLE BOURONCLE UMACOLLO AV. PARRA (PUENTE BOLIVAR Y ALAMEDA MARIO VARGAS LLOSA), DISTRITO DE AREQUIPA, PROVINCIA DE AREQUIPA - AREQUIPA\*

**CALICATA:** C-1

**MUESTRA:** DE 0.05m. A 0.25m.

**MATERIAL:** BASE GRANULAR EXISTENTE **FECHA:** JULIO - 2014

**ENSAYO DE CONSTANTES FISICAS**

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
N° DE ENSAYOS	01	02	03	01	01	03
N° DE GOLPES						
PESO DEL SUELO HUMEDO + TARA						
PESO DEL SUELO SECO+ TARA			NP			
PESO DE LA TARA						
PESO DEL AGUA						
PESO DEL SUELO SECO						
CONTENIDO DE HUMEDAD						
<b>RESULTADOS :</b>						
LIMITE LIQUIDO	%	NP				
LIMITE PLASTICO	%	NP				
INDICE PLASTICO	%	NP				

The chart is a semi-logarithmic plot with the y-axis representing water content (%) from 15.0 to 27.0 and the x-axis representing liquid limit (LL) from 1 to 100. A vertical red line is drawn at LL = 10. A horizontal line is drawn at water content = 21.5%. The intersection of these lines is marked with a box containing 'NP'.

**LABSY CONST S.R.L.**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ASFALTOS,  
CONCRETOS Y CONSTRUCCIÓN.

LABSY CONST SRL - RUC: 2660118079

TEL:054-601540 CEL:948039943- 958704875

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

(NORMA AASHTO T 99, ASTM D 420)

**PROYECTO:** REHABILITACION POST-DESASTRE DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN EL SECTOR DE LA AV. ALFONSO UGARTE (0.00 – 208) AV. FELIPE SALAVERRY (LA MARINA AL OVALO DE VALLECITO) AV. VIRGEN DEL PILAR (BY PASS DE VENEZUELA CON PAUCARPATA), CALLE BOURONCLE UMACOLLO AV. PARRA (PUENTE BOLIVAR Y ALAMEDA MARIO VARGAS LLOSA), DISTRITO DE AREQUIPA, PROVINCIA DE AREQUIPA - AREQUIPA\*

**CALICATA:** C-1

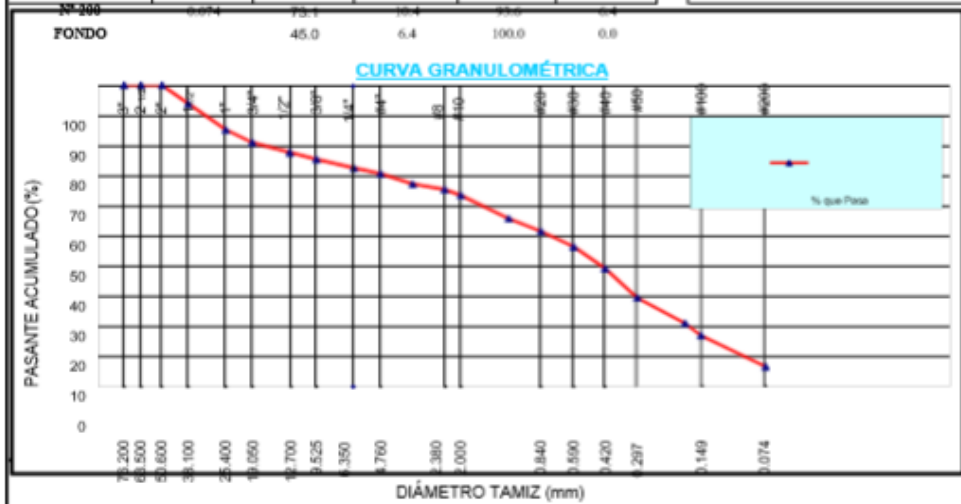
**MATERIAL:** TERRENO DE FUNDACIÓN

**MUESTRA:** DE 0.75m A 1.50m

**FECHA :** JULIO - 2014

Tamizaje ASTM	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa
3"	76.200	0.0	0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.800	0.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100	576.4	6.2	6.2	93.8
1"	25.400	810.0	8.7	14.8	85.2
3/4"	19.050	307.8	4.3	19.1	80.9
1/2"	12.700	307.8	3.3	22.4	77.6
3/8"	9.525	212.4	2.3	24.6	75.4
1/4"	6.350	272.2	2.9	27.5	72.5
N° 4	4.760	179.6	1.9	29.5	70.5
N° 6	3.360	23.9	3.4	32.9	67.1
N° 8	2.380	12.9	1.8	34.7	65.3
N° 10	2.000	13.5	1.9	36.6	63.4
N° 16	1.190	54.4	7.7	44.3	55.7
N° 20	0.840	29.9	4.3	48.6	51.4
N° 30	0.590	35.8	5.1	53.7	46.3
N° 40	0.420	50.8	7.2	60.9	39.1
N° 50	0.297	68.4	9.7	70.7	29.3
N° 60	0.177	59.9	8.5	79.2	20.8
N° 100	0.149	28.3	4.0	83.2	16.8
N° 200	0.074	15.1	1.6	84.8	15.2
FONDO		45.0	6.4	100.0	0.0

DATOS	
Peso Muestra	9358.1 g
<b>Grava</b>	
Pas. 3" - Ret. N° 4	29.5 %
<b>Arena</b>	
Pas. N° 4 - Ret. N° 200	64.1 %
<b>Finos</b>	
Pas. N°200 - Ret. Fondo	6.4 %
Clasificación SUCS y AASHTO	
SP-SM	
A-1-b(0)	
Límite Líquido	NP
Índice Plástico	NP



Observaciones:

**LABSY CONST S.R.L.**  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ASFALTOS,  
CONCRETOS Y CONSTRUCCIÓN.

---

LABSY CONST SRL. RUC: 2060118079      TEL: 054-601563 CEL: 943039743 - 958704575

**PROYECTO:** REHABILITACION POST-DESASTRE DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN EL SECTOR DE LA AV. ALFONSO UGARTE (0.00 – 208) AV. FELIPE SALAVERRY (LA MARINA AL OVALO DE VALLECITO) AV. VIRGEN DEL PILAR (BY PASS DE VENEZUELA CON PAUCARPATA), CALLE BOURONCLE UMACOLLO AV. PARRA (PUENTE BOLIVAR Y ALAMEDA MARIO VARGAS LLOSA), DISTRITO DE AREQUIPA, PROVINCIA DE AREQUIPA - AREQUIPA\*

**CALICATA:** C-1

**MUESTRA:** DE 0,25m. A 1.50m.

**MATERIAL:** TERRENO DE FUNDACION      **FECHA:** JULIO - 2014

**ENSAYO DE CONSTANTES FISICAS**

LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO			
N° DE ENSAYOS	01	02	03	01	01	03
N° DE GOLPES						
PESO DEL SUELO HUMEDO + TARA						
PESO DEL SUELO SECO + TARA			NP			
PESO DE LA TARA						
PESO DEL AGUA						
PESO DEL SUELO SECO						
CONTENIDO DE HUMEDAD						
<b>RESULTADOS :</b>						
LIMITE LIQUIDO	%	NP				
LIMITE PLASTICO	%	NP				
INDICE PLASTICO	%	NP				

**LABSY CONST S.R.L.**  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, ASFALTOS,  
CONCRETOS Y CONSTRUCCIONES

---

LABSY CONST SRL. REC: DISEÑOS TEL: 054-491501-CEL: 0499993-8979473

**HUMEDAD NATURAL**  
ASTM D - 2216

**PROYECTO:**  
"REHABILITACION POST-DESASTRE DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN EL SECTOR DE LA AV. ALFONSO UGARTE (0.00 - 200) AV. FELIPE SALAVERRY (LA MARINA AL OVALO DE VALLECITO) AV. VIRGEN DEL PILAR (BY PASS DE VENEZUELA CON PAUCARPATA) CALLE BOURGONCLE UMACOLLO AV. PARRA (PUENTE BOLIVAR Y ALAMEDA MARIO VARGAS LLOSA) DISTRITO DE AREQUIPA, PROVINCIA DE AREQUIPA - AREQUIPA"

**GALICATA :** C-1

**MUESTRA:** DE 0.25m. A 1.50m.

**MATERIAL :** TERRENO DE FUNDACION

**FECHA :** JULIO - 2014

**HUMEDAD NATURAL DEL SUELO**

MUESTRA	DE 0.25m. A 1.50m.
PESO DEL SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	2626.8
PESO DEL SUELO SECO + RECIPIENTE	2543.9
PESO DE AGUA	82.9
PESO DE RECIPIENTE	0.0
PESO DEL SUELO SECO	2543.9
HUMEDAD NATURAL%	3.3

**LABSY CONST S.R.L.**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS ASFÁLTICO,  
CONCRETO Y CONSTRUCCIÓN.

LABSY CONST SRL. RUC: 2060112079

TEL: 054-401540 CEL: 94609743 - 998794873

**COLUMNA ESTRATIGRÁFICA**

**PROYECTO:**

REHABILITACION POST-DESASTRE DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN EL SECTOR DE LA AV. ALFONSO UGARTE (0.00 – 208) AV. FELIPE SALAVERRY (LA MARINA AL OVALO DE VALLECITO) AV. VIRGEN DEL PILAR (BY PASS DE VENEZUELA CON PAUCARPATA), CALLE BOURONCLE UMACOLLO AV. PARRA (PUENTE BOLIVAR Y ALAMEDA MARIO VARGAS LLOSA), DISTRITO DE AREQUIPA, PROVINCIA DE AREQUIPA - AREQUIPA\*

**CALICATA :** C-1

**MATERIAL :** TERRENO DE FUNDACION

**FECHA :** JULIO - 2014

PROF.	SIMBOLO	GRAFICO	DESCRIPCIÓN
0.05			CARPETA ASFÁLTICA EXISTENTE
0.25	SP-SM		DE 0.05 M. A 0.25 M. (BASE GRANULAR EXISTENTE) CONFORMADO POR UNA ARENA LIMOSA POBREMENTE GRADUADO (SP-SM) NO PLÁSTICO, DE COLOR GRIS MARRON CLARO, A GRIS PLOMIZO, EN ESTADO COMPACTO CON GRANOS GRUESOS DE FORMA SUB REDONDEADA A SUB ANGULAR.
1.50	SP-SM		DE 0.25 M. A 1.50 M. DE PROFUNDIDAD CONFORMADO POR UNA ARENA LIMOSA POBREMENTE GRADUADA (SP-SM) NO PLÁSTICO, DE COLOR GRIS PLOMIZO CLARO, EN ESTADO SEMI COMPACTO CON GRANOS GRUESOS DE FORMA SUB REDONDEADA A SUB ANGULAR.  PRESENTA BOLONERIAS MAYOR A 2" DE DIAMETRO EN UN 8%  A LA PROFUNDIDAD DE EXCAVACIÓN NO SE ENCONTRO EL NIVEL FREÁTICO.

**LABSY CONST S.R.L.**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y FUNDACIONES,  
CONCRETO Y CONSTRUCCION.

LABSY CONST SRL. RUC: 2060120079 TEL: 074-6012074 CEL: 94600740-95704075

**PROYECTO:** "REHABILITACION POST-DESASTRE DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN EL SECTOR DE LA AV. ALFONSO UGARTE (0.00 - 206) AV. FELIPE SALAVERRY (LA MARINA AL OVALO DE VALLECITO) AV. VIRGEN DEL PILAR (BY PASS DE VENEZUELA CON PAUCARPATA), CALLE BOURONCLE UMACOLLO AV. PARRA (PUENTE BOLIVAR Y ALAMEDA MARIO VARGAS LLOSA), DISTRITO DE AREQUIPA, PROVINCIA DE AREQUIPA - AREQUIPA"

**MUESTRA:** SP-SM

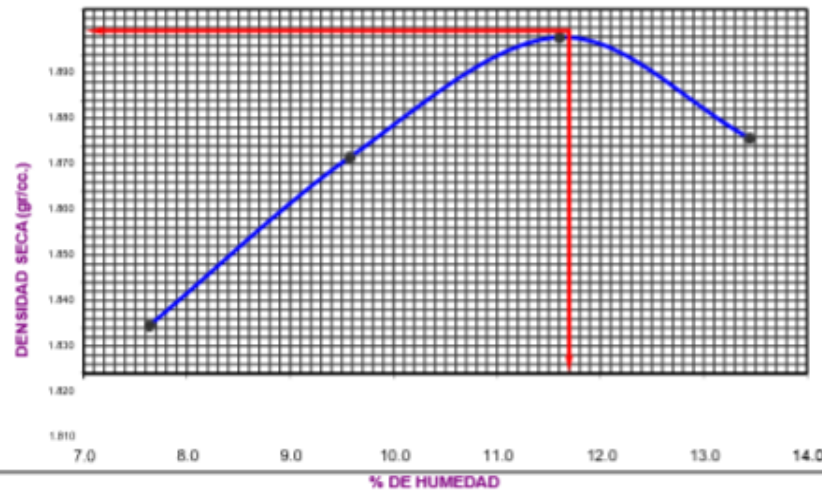
**CALICATA:** C-1

**MATERIAL:** TERRENO DE FUNDACION

**FECHA:** JULIO - 2014

**MAXIMA DENSIDAD - OPTIMA HUMEDAD**

METODO DE COMPACTACION :	PROCTOR MODIFICADO AASHTO T-169 ASTM D 1557			
VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	2100			
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4
PESO SUELO + MOLDE	7462	7621	7762	7782
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	4115	4274	4415	4435
DENSIDAD HUMEDA	1.960	2.036	2.102	2.112
CAPSULA Nro.	1	2	3	4
PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA	1460.4	1144.7	1345.8	1299.7
PESO SUELOS SECO + CAPSULA	1356.8	1044.7	1205.9	1110.4
PESO DE LA CAPSULA	0.0	0.0	0.0	0.0
PESO DE AGUA	103.6	100.0	139.9	149.3
PESO DE SUELO SECO	1356.8	1044.7	1205.9	1110.4
CONTENIDO DE AGUA	7.64	9.57	11.60	13.45
DENSIDAD SECA	1.821	1.857	1.864	1.862
<b>DENSIDAD MAXIMA SECA gr./cc.</b>	<b>1.885</b>			<b>HUMEDAD OPTIMA %</b>
				<b>11.70</b>



**LABSY CONST S.R.L.**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, GEOTECNIA,  
GEODESIA Y CONTROL DE OBRAS

LABSY CONST S.R.L. RUC: 206020707

TEL: 051 84 4231111 FAX: 051 84 4231111

**ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) ASTM-D1883-91 (C)**

PROYECTO :	* REHABILITACION POST-DESASTRE DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN EL SECTOR DE LA AV. ALFONSO UGARTE (0.00 – 206) AV. FELIPE SALAVERRY (LA MARINA AL OVALO DE VALLECITO) AV. VIRGEN DEL PILAR (BY PASS DE VENEZUELA CON PAUCARPATA), CALLE BOURONCLE UMACOLLO AV. PARRA (PUENTE BOLIVAR Y ALAMEDA MARIO VARGAS LLOSA), DISTRITO DE AREQUIPA, PROVINCIA DE AREQUIPA - AREQUIPA*
MUESTRA :	SP-SM
MATERIAL :	TERRENO DE FUNDACIÓN
CALICATA :	C-1
FECHA :	JULIO - 2014

**ENSAYO PRELIMINAR DE COMPACTACIÓN**

Ensayo de Proctor Modificado ASTM-D1557	T-180 D
Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.885
Optimo contenido de humedad (%)	11.70%

**COMPACTACIÓN DE LOS MOLDES**

MOLDE	Numero de Capas	Densidad Seca (gr./cm <sup>3</sup> )	Contenido de Humedad %
MOLDE N°01	5	1.762	11.62
MOLDE N°02	5	1.819	11.80
MOLDE N°03	5	1.885	11.75

**CUADRO DE C.B.R. PARA 9.1 PULG DE PENETRACIÓN**

Molde N°	Penetración ( pulg. )	Presión aplicada (Lb/pulg <sup>2</sup> )	Presión Patron (Lb/pulg <sup>2</sup> )	C.B.R. ( % )
1	0.1	115	1000	11.5
2	0.1	240	1000	24.0
3	0.1	330	1000	33.0

<b>C.B.R. Para el 100 % de la M.D.S.</b>	:	<b>33.0%</b>
<b>C.B.R. Para el 95 % de la M.D.S.</b>	:	<b>18.0%</b>

