

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO FISICO-MECANICO DE  
LA MEZCLA ASFALTICA CON CEMENTO ASFALTICO 85-  
100 IMPLEMENTANDO FIBRA NATURAL DE TOTORA  
(SCHOENOPLECTUS TATORA)**

Proyecto de grado presentado para la obtención del Grado de Licenciatura

**POR:**

**BRACAMONTE MARCO FERNANDO SAMUEL  
CLAURE MARIN ABDON CRISTIAN**

**TUTOR:**

**M.Sc. ING. OSCAR PEREZ LOAYZA**

**LA PAZ – BOLIVIA**

**2022**



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE INGENIERIA**



**LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.**

**LICENCIA DE USO**

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

**TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por bendecirnos con unos padres llenos de amor y ganas de luchar frente a todas las adversidades con el objetivo de que sus hijos alcancen una formación académica la cual les permita progresar.

A nuestros hermanos por motivarnos a seguir adelante pese a las duras dificultades que se presentaron en el camino.

Gracias a mis compañeros(as), por las risas, conversaciones, consejos que nos brindaban en situaciones difíciles durante toda la carrera.

Gracias a nuestro tutor y de igual manera a nuestros tribunales por ayudarnos en la elaboración del presente trabajo.

A la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Mayor de San Andrés, a los docentes por compartir sus conocimientos y experiencias útiles para desenvolverme con éxito en la vida profesional.

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, queremos dedicar este logro a Dios por guiarnos en la vida y hacer posible la culminación de nuestro proyecto de grado para obtener el título de Licenciatura en Ingeniería Civil.

Queremos dedicar este logro a nuestros padres por ser un gran ejemplo de sacrificio y constancia guiados por el amor a sus hijos, siempre transmitiendo el deseo de superación.

A nuestros hermanos por su incondicional apoyo y por sus buenos consejos.

A todas y cada una de las personas que creyeron en nosotros hasta en los días más difíciles de la vida.

## RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo analizar las características de una mezcla asfáltica modificada con fibra natural de totora en diferentes dosificaciones de adición, e identificar qué porcentaje presenta una mejora sustancial en la mezcla resultante; además, de compararla con una mezcla asfáltica convencional.

Para este proyecto de grado se realizó mezclas asfálticas utilizando la metodología Marshall para poder emplear esta metodología es necesario conocer las características de los componentes de la mezcla, los agregados y el cemento asfáltico que son analizados en laboratorio utilizando los ensayos propuestos por las normas de la ABC Y AASHTO.

La fibra natural de totora es un material nuevo que por medio de experimentación se determinó los diámetros y longitudes y proporciones que se debe introducir a la mezcla asfáltica para que tenga un buen funcionamiento.

La mezcla asfáltica convencional es comparada con mezclas asfálticas con 0,15%, 0,25% y 0,35% de fibra natural de totora para comparar las mezclas utilizamos los siguientes parámetros, vacíos en la mezcla, densidad, estabilidad y fluencia.

Después de los resultados tomados en laboratorio de las mezclas asfálticas con fibra natural de totora, se llega a la conclusión que es un buen material para emplearse en mezclas asfálticas en caliente mediante el método Marshall debido a que cumple los parámetros a evaluar, es decir las especificaciones, como ser; el porcentaje de vacíos en el agregado mineral, porcentaje de vacíos llenos de asfalto, estabilidad y flujo.

## **RESUME**

The objective of this project is to analyze the characteristics of a modified asphalt mixture with natural totora fiber in different addition dosages, and to identify what percentage presents a substantial improvement in the resulting mixture; in addition, to compare it with a conventional asphalt mix.

For this degree project, asphalt mixtures were made using the Marshall methodology. In order to use this methodology, it is necessary to know the characteristics of the components of the mixture, the aggregates and the asphalt cement that are analyzed in the laboratory using the tests proposed by the standards of the ABC AND AASHTO.

The natural fiber of totora is a new material that through experimentation determined the diameters and lengths and proportions that must be introduced into the asphalt mix so that it works well.

The conventional asphalt mixture is compared with asphalt mixtures with 0.15%, 0.25% and 0.35% of natural totora fiber to compare the mixtures we use the following parameters, voids in the mixture, density, stability and creep.

After the results taken in the laboratory of the asphalt mixtures with natural fiber of totora, it is concluded that it is a good material to be used in hot asphalt mixtures by means of the Marshall method because it meets the parameters to be evaluated, that is, the specifications, such as; the percentage of voids in the mineral aggregate, percentage of voids filled with asphalt, stability and flow.

## INDICE

<b>1. INTRODUCCION .....</b>	<b>21</b>
<b>1.1. Justificación general. ....</b>	<b>21</b>
<b>1.2. Fines.....</b>	<b>21</b>
<b>1.3. Estado del arte.....</b>	<b>21</b>
1.3.1. Antecedentes de mezclas con adiciones de fibras. ....	22
<b>1.4. Objetivos: .....</b>	<b>25</b>
1.4.1. Objetivo general. ....	25
1.4.2. Objetivos específicos.....	26
<b>1.5. Alcance.....</b>	<b>26</b>
<b>1.6. Metodología.....</b>	<b>29</b>
<b>2. MARCO TEORICO .....</b>	<b>35</b>
<b>2.1. AGREGADOS.....</b>	<b>35</b>
2.1.1. Generalidades.....	35
2.1.2. Definición.....	35
2.1.3. Clasificación de los agregados.....	35
2.1.3.1. Clasificación de acuerdo a su tamaño.....	36
2.1.3.2. Clasificación respecto a la fuente de origen.....	38
2.1.4. Propiedades de los agregados.....	39
2.1.4.1. Angularidad y textura superficial de las partículas.....	39
2.1.4.2. Granulometría de los agregados.....	39
2.1.4.3. Capacidad de absorción y pesos específicos del agregado.....	41
2.1.4.4. Resistencia a la abrasión.....	43
2.1.4.5. Resistencia al corte.....	43
2.1.5. Ensayos y especificaciones técnicas del Agregado.....	43
2.1.5.1. Cuarteo de la muestra (ASTM C-702; ABC A0505).....	43
2.1.5.2. Análisis granulométrico (ASTM E-40; AASHTO T11-96; ABC A0506) ....	45
2.1.5.3. Propiedades de consenso y origen.....	47
2.1.5.3.1. Porcentaje de caras Fracturadas y Angularidad (ASTM D-5821).....	47
2.1.5.3.2. Porcentaje de partículas planas y alargadas (ASTM D-4791) .....	48
2.1.5.3.3. Equivalente arena del agregado fino (ASTM D-2419; AASHTO T176-00; ABC A0509).....	49

2.1.5.3.4.	Resistencia a la degradación del agregado grueso, por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles (ASTM E-131; AASHTO T96-99; ABC A0511).	51
2.1.5.4.	Propiedades gravimétricas.	53
2.1.5.4.1.	Peso específico y absorción del agregado grueso (ASTM E-127; AASHTO T85-91; ABC A0519).	53
2.1.5.4.2.	Peso específico y absorción del agregado fino (ASTM E-128; AASHTO T84-00; ABC A0520).	54
2.1.5.4.3.	Densidad de masa (peso unitario) y vacíos del agregado (ASTM C-29).	55
<b>2.2.</b>	<b>CEMENTO ASFALTICO.</b>	<b>56</b>
2.2.1.	Generalidades.	56
2.2.2.	Definición.	57
2.2.3.	Proceso para la obtención de cemento asfáltico.	58
2.2.4.	Composición química del asfalto.	61
2.2.5.	Clasificación del asfalto según su uso en pavimentos.	61
2.2.5.1.	Asfalto proveniente del petróleo.	61
2.2.5.2.	Asfaltos líquidos.	62
2.2.5.3.	Emulsiones asfálticas.	63
2.2.5.4.	Asfaltos oxidados o sopladados.	64
2.2.5.5.	Cementos asfálticos polimerizados.	65
2.2.6.	Propiedades del cemento asfáltico.	67
2.2.7.	Ensayos y especificaciones técnicas del cemento asfáltico.	69
2.2.7.1.	Propiedades de origen.	69
2.2.7.1.1.	Ensayo de peso específico (ASTM D71-94; AASHTO T229-97; ABC A0102)	69
2.2.7.2.	Propiedades de consistencia.	71
2.2.7.2.1.	Ensayo de penetración (ASTM D-5; AASHTO T49-97; ABC A0103).	71
2.2.7.2.2.	Ensayo de viscosidad cinemática a 135 °C (ASTM D 2170; AASHTO T201-01; ABC A0108)	72
2.2.7.2.3.	Ensayo de viscosidad dinámica a 60 °C (ASTM D-2171; AASHTO T202-91; ABC A0109).	74
2.2.7.2.4.	Ensayo de viscosidad rotacional brookfield (ASTM D 4402; AASTHO TP-48; ABC A0115).	75
2.2.7.2.5.	Ensayo de punto de ablandamiento (ASTM D 36; AASHTO T53-96; ABC A0110).	76
2.2.7.2.6.	Ensayo de ductilidad (ASTM D-113; AASHTO T51-00; ABC A0105).	78
2.2.7.2.7.	Método para determinar el índice de penetración (UNE 104-281; ABC A0112)	79
2.2.7.3.	Propiedades de seguridad del cemento asfáltico.	81

2.2.7.3.1.	Ensayo de punto de inflamación y combustión (vaso abierto de Cleveland) (ASTM D1310-01; AASHTO T79-96; ABC A0106).	81
2.2.7.3.2.	Ensayo de la mancha (AASHTO T102-83; ABC A0104).	82
2.2.7.3.3.	Ensayo de solubilidad de materiales bituminosos (ASTM D 2042; AASHTO T44-97; ABC A0107).	83
2.2.7.4.	Propiedades de durabilidad del cemento asfáltico.	85
2.2.7.4.1.	Ensayo de película delgada (ASTM D1754 y AASHTO T179-05).	85
2.2.7.4.2.	Ensayo de ductilidad sobre el residuo de película delgada.	86
2.2.7.4.3.	Ensayo de penetración sobre el residuo de película delgada	87
<b>2.3.</b>	<b>Investigación de la fibra natural de la totora (Schoenoplectus Tatora)</b>	<b>88</b>
2.3.1.	Introducción	88
2.3.2.	Clasificación de fibras.	89
2.3.3.	Fibra natural de totora (Schoenoplectus Tatora).	89
2.3.4.	Morfología de la totora (Schoenoplectus totaro).	91
2.3.5.	Obtención de la planta totora (Schoenoplectus tatora).	93
2.3.6.	Aplicación de la totora (Schoenoplectus tatora)	95
<b>2.4.</b>	<b>Mezclas asfálticas.</b>	<b>95</b>
2.4.1.	Introducción.	95
2.4.2.	Clasificación y tipología de mezclas asfálticas.	97
2.4.3.	Propiedades de las mezclas asfálticas.	100
2.4.4.	Relaciones volumétricas y gravimétricas en el diseño de las mezclas asfálticas.	102
2.4.5.	Análisis de pesos específicos en el agregado pétreo.	103
2.4.6.	Análisis de los componentes en la mezcla asfáltica compactada.	104
2.4.6.1.	Peso específico neto de la mezcla asfáltica compactada Bulk (ASTM D1188 - D2726).	105
2.4.6.2.	Peso específico teórico máximo "RICE" (Gmm) (ASTM D2041).	106
2.4.6.3.	Contenido de asfalto "Pb".	106
2.4.6.4.	Porcentaje de asfalto efectivo de la mezcla.	106
2.4.6.5.	Porcentaje de vacíos de aire "VA".	106
2.4.6.6.	Cálculo de vacíos en el agregado mineral "VAM".	107
2.4.6.7.	Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA).	107
2.4.6.8.	Análisis del método Marshall.	107
2.4.7.	Consideraciones para la selección de una mezcla asfáltica.	111
2.4.8.	Mezclas asfálticas convencionales.	111
2.4.8.1.	Introducción.	111
2.4.8.2.	Ventajas y desventajas.	111

2.4.9.	Mezclas asfálticas con adición de fibras.....	113
2.4.9.1.	Introducción.....	113
2.4.9.2.	Ventajas y desventajas.....	113
2.4.10.	Ensayos y especificaciones técnicas del diseño de mezclas asfálticas.....	114
2.4.10.1.	Procedimiento de diseño de mezclas asfálticas en caliente utilizando el método Marshall (ASTM D-1559; AASTHO T-225).....	114
2.4.10.1.1.	Procedimiento para la preparación de las briquetas.....	115
2.4.10.2.	Pruebas y ensayos relacionados a las briquetas.....	115
2.4.10.2.1.	Determinación del peso específico Bulk (ASTM D-1188; AASHTO T166).....	115
2.4.10.2.2.	Determinación de peso específico teórico máximo de mezcla (ASTM D2041; AASHTO T209).....	117
<b>2.5.</b>	<b>Pruebas de desempeño en mezclas asfálticas.....</b>	<b>118</b>
2.5.1.1.	Deformación plástica en una mezcla asfáltica.....	119
2.5.1.2.	Factores que influyen en el ahuellamiento.....	119
2.5.1.3.	Ensayo para determinar la deformación en mezclas asfálticas utilizando la máquina de ahuellamiento (AASHTO TP6307; ABC A0610).....	120
2.5.1.3.1.	Cálculos del ensayo de ahuellamiento.....	125
<b>3.</b>	<b>ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL AGREGADO.....</b>	<b>127</b>
<b>3.1.</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>127</b>
<b>3.2.</b>	<b>Fuente de provisión de los agregados.....</b>	<b>127</b>
<b>3.3.</b>	<b>Elección del agregado.....</b>	<b>128</b>
3.3.1.	Tamaño.....	129
<b>3.4.</b>	<b>Cálculos de los ensayos realizados a los agregados.....</b>	<b>129</b>
3.4.1.	Cuarteo de la muestra (ASTM C-702; ABC A0505).....	129
3.4.2.	Análisis de granulometría (ASTM E-40; AASHTO T11-96; ABC A0506).....	130
3.4.2.1.	Cálculos.....	130
3.4.3.	Porcentaje de caras fracturadas y angularidad (ASTM D – 5821).....	134
3.4.3.1.	Cálculos.....	135
3.4.4.	Porcentaje de partículas planas y alargadas (ASTM D – 4791).....	136
3.4.4.1.	Cálculos.....	136
3.4.5.	Equivalente arena del agregado fino (ASTM D2419; AASHTO T176; ABC A0509).....	138
3.4.5.1.	Cálculos.....	138

3.4.6.	Ensayo de abrasión por medio de la máquina de los ángeles (ASTM E131; AASHTO T96, ABC A0511).	139
3.4.6.1.	Cálculos	139
3.4.7.	Peso específico de agregado grueso (ASTM E127; AASHTO T85-91; ABC A0519).	142
3.4.7.1.	Cálculos	142
3.4.8.	Peso específico y absorción del agregado fino (ASTM E128; AASHTO T84; ABC A0520).	144
3.4.8.1.	Cálculos	145
3.4.9.	Resultados finales de la caracterización del agregado.	146
<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL CEMENTO ASFALTICO.</b>	<b>149</b>
<b>4.1.</b>	<b>Introducción.</b>	<b>149</b>
<b>4.2.</b>	<b>Fuente de provisión del cemento asfáltico.</b>	<b>149</b>
<b>4.3.</b>	<b>Clasificación del cemento asfáltico.</b>	<b>150</b>
<b>4.4.</b>	<b>Cálculo de los ensayos realizados a los cementos asfálticos.</b>	<b>152</b>
4.4.1.	Propiedades de origen	152
4.4.1.1.	Ensayo de peso específico (ASTM D71-94; AASHTO T229-97; ABC A0102).	152
4.4.1.1.1.	Calculo	152
4.4.2.	Propiedades de consistencia	153
4.4.2.1.	Ensayo de penetración (ASTM D-5; AASHTO T49-94; ABC A0103)	153
4.4.2.1.1.	Cálculos	153
4.4.2.2.	Ensayo de viscosidad cinemática a 135°C (ASTM D 2170; AASHTO T201; ABC A0108)	154
4.4.2.2.1.	Calculo	155
4.4.2.3.	Ensayo de viscosidad dinámica a 60°C (ASTM D-2171; AASHTO T202-91; ABC A0109)	155
4.4.2.3.1.	Cálculos	156
4.4.2.4.	Ensayo de viscosidad rotacional Brookfield (ASTM D-4402; AASTHO TP-48; ABC A0115)	156
4.4.2.4.1.	Calculo	157
4.4.2.5.	Ensayo de punto de ablandamiento (ASTM D36; AASHTO T53-96; ABC A0110)	158
4.4.2.5.1.	Calculo	158
4.4.2.6.	Ensayo de ductilidad (ASTM D-113; AASHTO T51-00; ABC A0105)	158
4.4.2.6.1.	Calculo	159

4.4.3.	Propiedades de seguridad. ....	159
4.4.3.1.	Ensayo de punto de inflamación y combustión (Vaso abierto de Cleveland) (ASTM D-1310-01; AASHTO T79-96; ABC A0106). ....	159
4.4.3.1.1.	Cálculos. ....	160
4.4.3.2.	Ensayo de la mancha (AASHTO T 102-83; ABC A0104). ....	160
4.4.3.2.1.	Cálculos. ....	161
4.4.3.3.	Solubilidad de materiales bituminosos (ASTM D-2042; AASHTO T44-97; ABC A0107). ....	161
4.4.3.3.1.	Calculo. ....	162
4.4.4.	Propiedades de durabilidad. ....	162
4.4.4.1.	Ensayo de película delgada (ASTM D-1754; AASHTO T179-05). ....	162
4.4.4.1.1.	Calculo. ....	163
4.4.4.1.2.	Ensayo de ductilidad sobre el residuo de película delgada. ....	164
4.4.4.1.3.	Ensayo de penetración sobre el residuo de película delgada. ....	164
4.4.5.	Resultados finales de la caracterización del cemento asfáltico “CA 85-100”. ....	164
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS Y EVALUACION DE LA FIBRA DE TOTORA</b> .....	<b>167</b>
<b>5.1.</b>	<b>Corte y secado de la totora</b> .....	<b>167</b>
5.1.1.	Corte de la totora. ....	167
5.1.2.	Secado de la totora. ....	167
<b>5.2.</b>	<b>Análisis de la fibra natural de totora</b> .....	<b>168</b>
5.2.1.	Propiedades físicas. ....	168
5.2.1.1.	Densidad.....	168
5.2.1.2.	Absorción. ....	168
5.2.1.3.	Temperatura. ....	168
5.2.2.	Propiedades mecánicas. ....	169
5.2.2.1.	Tracción.....	169
<b>5.3.</b>	<b>Criterios de la selección de la fibra natural de totora</b> .....	<b>170</b>
<b>6.</b>	<b>DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON Y SIN ADICION DE FIBRA NATURAL DE TOTORA</b> .....	<b>173</b>
<b>6.1.</b>	<b>Introducción</b> .....	<b>173</b>
<b>6.2.</b>	<b>Dosificación</b> .....	<b>173</b>
6.2.1.	Método del tanteo.....	173
6.2.2.	Granulometría del proyecto.....	174
6.2.3.	Combinación de agregados.....	175

6.2.4.	Combinación de la mezcla asfáltica.....	176
<b>6.3.</b>	<b>Numero de probetas.....</b>	<b>181</b>
<b>6.4.</b>	<b>Temperatura de mezclado y compactado.....</b>	<b>182</b>
<b>6.5.</b>	<b>Procedimiento de diseño de mezclas asfálticas en caliente utilizando el método Marshall (ASTM D-1559; AASHTO T-245-97; ABC A0608). .....</b>	<b>183</b>
6.5.1.	Elaboración de probetas. ....	183
6.5.2.	Determinación de la densidad y vacíos.....	186
6.5.2.1.	Peso específico Neta del agregado total.....	186
6.5.2.2.	Peso específico Bulk (ASTM D-1188 / AASHTO T166).....	187
6.5.2.3.	Peso específico máximo de la mezcla asfáltica (ASTM D2041; AASHTO T209). 188	
6.5.2.4.	Peso específico efectivo del agregado. ....	190
6.5.2.5.	Asfalto absorbido por el agregado. ....	191
6.5.2.6.	Peso específico máximo teórico de la mezcla asfáltica. ....	191
6.5.2.7.	Porcentaje de vacíos de aire en la mezcla: .....	192
6.5.2.8.	Porcentaje de vacíos en el agregado mineral. ....	192
6.5.2.9.	Porcentaje de vacíos llenos de asfalto.....	192
6.5.2.10.	Factores de corrección de la estabilidad. ....	193
6.5.2.11.	Ensayo de estabilidad y flujo. ....	195
6.5.2.12.	Especificaciones para el diseño de la mezcla. ....	195
6.5.2.13.	Diseño de mezclas asfálticas en caliente método MARSHALL. ....	197
6.5.2.14.	Selección del diseño final. ....	209
<b>7.</b>	<b>EVALUACION DE LA DEFORMACION LONGITUDINAL. ....</b>	<b>211</b>
<b>7.1.</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>211</b>
<b>7.2.</b>	<b>Dosificaciones de las probetas de mezclas asfálticas.....</b>	<b>211</b>
<b>7.3.</b>	<b>Elaboración de las probetas. ....</b>	<b>213</b>
<b>7.4.</b>	<b>Resultados de las probetas de ensayo de ahuellamiento para las mezclas asfálticas. ....</b>	<b>215</b>
7.4.1.	Probeta de mezcla asfáltica 85-100 sin fibra natural de totora.....	215
7.4.2.	Probeta de mezcla asfáltica 85-100 con 0,15% de fibra natural de totora.....	216
<b>8.</b>	<b>ANALISIS DE COSTOS.....</b>	<b>219</b>
<b>8.1.</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>219</b>
8.1.1.	Materiales.....	219

8.1.2.	Maquinaria y Equipo.....	219
<b>8.2.</b>	<b>Dosificación de la mezcla asfáltica.....</b>	<b>220</b>
8.2.1.	Dosificación de la mezcla asfáltica con adición de bagazo para carpeta de 7 cm de espesor. 220	
8.2.2.	Dosificación de la mezcla asfáltica sin adición de bagazo para carpeta de 7 cm de espesor. 221	
<b>8.3.</b>	<b>Precios Unitarios.....</b>	<b>221</b>
8.3.1.	Precio Unitario Mezcla Asfáltica Con Adición De Fibras .....	221
8.3.2.	Precio Unitario Mezcla Asfáltica Sin Adición De Fibras .....	224
<b>8.4.</b>	<b>Comparación De Costos .....</b>	<b>225</b>
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>227</b>
9.1.	Conclusiones.....	227
9.2.	Recomendaciones.....	232
<b>10.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>235</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla1.</b> Especificación AASHTO M20 por grado de penetración para Cementos Asfálticos .....	27
<b>Tabla2.</b> Especificación AASHTO M226-80 por grado de viscosidad para Cementos Asfálticos a 60°C .....	28
<b>Tabla3.</b> Especificaciones de uso para el diseño granulométrico.....	32
<b>Tabla4.</b> Clasificación por tamaño de los agregados.....	38
<b>Tabla5.</b> Tamices para utilizar en la gradación del agregado grueso y fino.....	46
<b>Tabla6.</b> Preparación de la muestra. ....	48
<b>Tabla7.</b> Gradación y peso de la muestra. ....	51
<b>Tabla8.</b> Fuentes de Asfaltos Naturales.....	58
<b>Tabla9</b> Clasificación de Fibras.....	89
<b>Tabla10</b> Morfología de la Totora ( <i>Schoenoplectus tatora</i> ). ....	92
<b>Tabla11</b> Clasificación de las mezclas. ....	97
<b>Tabla12</b> Descripción del agregado.....	128
<b>Tabla13</b> Descripción del filler.....	129
<b>Tabla14</b> Análisis granulométrico Agregado Grueso – Grava.....	131
<b>Tabla15</b> Análisis granulométrico Agregado Grueso – Gravilla.....	132
<b>Tabla16</b> Análisis granulométrico Agregado Fino - Arena.....	133
<b>Tabla17</b> Análisis granulométrico Agregado Fino – Filler. ....	134
<b>Tabla18</b> Análisis de caras fracturadas.....	135
<b>Tabla19</b> Índice de aplanamiento Agregado Grueso – Grava. ....	137
<b>Tabla20</b> Índice de aplanamiento Agregado Grueso – Gravilla.....	137
<b>Tabla21</b> Resumen ensayo de Equivalente Arena. ....	138
<b>Tabla22</b> Grados de ensayo (Definidos por sus rangos de tamaño, en mm).....	139
<b>Tabla23</b> Numero de esferas en función a la gradación. ....	140
<b>Tabla24</b> Resumen del ensayo de desgaste para el agregado Grueso – Grava.....	141
<b>Tabla25</b> Resumen del ensayo de desgaste para el agregado Grueso – Gravilla. ....	142
<b>Tabla26</b> Resumen peso específico del Agregado Grueso – Grava. ....	143
<b>Tabla27</b> Resumen peso específico del Agregado Grueso – Gravilla.....	144

<b>Tabla28</b> Ensayo de Peso Específico y Absorción Agregado Fino. ....	145
<b>Tabla29</b> Ensayo de Peso Específico Fino - filler. ....	145
<b>Tabla 30</b> Absorción del Filler. ....	146
<b>Tabla31</b> Tabla Resumen Caracterización del Agregado. ....	147
<b>Tabla32</b> Equivalencias entre grado de penetración y grado de viscosidad. ....	151
<b>Tabla33</b> Ensayo peso específico del CA. ....	153
<b>Tabla34</b> Ensayo de penetración. ....	154
<b>Tabla35</b> Resumen ensayo de penetración. ....	154
<b>Tabla36</b> Viscosidad cinemática a 135 °C. ....	155
<b>Tabla37</b> Viscosidad dinámica a 60°C. ....	156
<b>Tabla38</b> Viscosidad Brookfield. ....	157
<b>Tabla39</b> Punto de ablandamiento. ....	158
<b>Tabla40</b> Ductilidad del CA. ....	159
<b>Tabla41</b> Punto de combustión. ....	160
<b>Tabla42</b> Ensayo de la mancha. ....	161
<b>Tabla43</b> Solubilidad del CA. ....	162
<b>Tabla44</b> Película Delgada. ....	163
<b>Tabla45</b> Ductilidad del Residuo. ....	164
<b>Tabla46</b> Penetración del Residuo. ....	164
<b>Tabla47</b> Resumen de la Caracterización del Cemento Asfáltico 85-100. ....	165
<b>Tabla 48</b> Datos de la fibra de caña de azúcar. ....	170
<b>Tabla49</b> Datos de la fibra natural de totora. ....	171
<b>Tabla50</b> Porcentaje que pasa por el agregado. ....	174
<b>Tabla51</b> Gradaciones propuestas por la ABC para mezclas cerradas. ....	174
<b>Tabla52</b> Combinación de agregado. ....	176
<b>Tabla53</b> Dosificación de las mezclas asfálticas con 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5% y 7% de cemento asfáltico. ....	178
<b>Tabla54</b> Dosificación de las mezclas asfálticas con 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5% y 7% de cemento asfáltico y 0,15% de fibra natural de totora. ....	180
<b>Tabla55</b> Dosificación de las mezclas asfálticas con 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5% y 7% de cemento asfáltico y 0,25% de fibra natural de totora. ....	180

<b>Tabla56</b> Dosificación de las mezclas asfálticas con 4,5%, 5% 5,5%, 6% 6,5% y 7% de cemento asfáltico y 0,35% de fibra natural de totora.....	181
<b>Tabla57</b> Peso específico máximo de la mezcla asfáltica sin fibra natural de totora. ....	189
<b>Tabla58</b> Peso específico máximo de la mezcla asfáltica con 0.15% de fibra natural de totora. ....	189
<b>Tabla59</b> Peso específico máximo de la mezcla asfáltica con 0.25% de fibra natural de totora. ....	189
<b>Tabla60</b> Peso específico máximo de la mezcla asfáltica con 0.35% de fibra natural de totora. ....	189
<b>Tabla61</b> Peso específico efectivo del agregado sin fibra natural de totora. ....	190
<b>Tabla 62</b> Factores de corrección de la estabilidad. ....	194
<b>Tabla63</b> Especificaciones en zonas convencionales. ....	196
<b>Tabla64</b> Diseño de mezclas asfálticas en caliente sin fibra natural de totora. ....	197
<b>Tabla 65</b> Datos para las gráficas MARSHALL .....	199
<b>Tabla66</b> Diseño de mezcla asfáltica en caliente con 0.15% de fibra natural de totora. .	200
<b>Tabla 67</b> Datos para las gráficas MARSHALL. ....	202
<b>Tabla 68</b> Diseño de mezcla asfáltica en caliente con 0,25% de fibra natural de totora. .	203
<b>Tabla 69</b> Datos para las gráficas MARSHALL. ....	205
<b>Tabla 70</b> Diseño de mezcla asfáltica en caliente con 0,35% de fibra natural de totora. .	206
<b>Tabla 71</b> Datos para las gráficas MARSHALL. ....	208
<b>Tabla72</b> Pesos de los materiales a utilizar en la mezcla asfáltica convencional 85-100. ....	212
<b>Tabla73</b> Pesos de los materiales a utilizar en la Mezcla Asfáltica convencional 85-100 con 0,15 de fibra natural de totora .....	212
<b>Tabla74</b> Ahuellamiento mezcla asfáltica 85-100 sin fibra natural de totora. ....	215
<b>Tabla75</b> Ahuellamiento mezcla asfáltica 85-100 con 0,15% de fibra natural de totora .	216
<b>Tabla 76</b> Dosificación de la mezcla Asfáltica con adición de fibra de totora.....	220
<b>Tabla 77</b> Dosificación de la mezcla Asfáltica sin adición de fibra de totora. ....	221
<b>Tabla78</b> Determinación de costos de producción de totora en una hectárea. ....	222
<b>Tabla79</b> Precio unitario de la mezcla con adición de las fibras. ....	223
<b>Tabla 80</b> Precio unitario de la mezcla sin adición de las fibras. ....	224

<b>Tabla 81</b> Cuadro comparativo de costos.....	225
<b>Tabla 82</b> Resultados del ensayo Marshall.....	229
<b>Tabla83</b> Resultado del ensayo de ahuellamiento. ....	230

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Lago de Asfalto en Bermúdez Venezuela .....	59
<b>Figura 2</b> Pozo de Brea en Los Ángeles California.....	59
<b>Figura 3.</b> Asfalto liquido usado en un Riego de Liga. ....	63
<b>Figura4</b> Planta de la totora “Schoenoplectus tatora” en el lago Titicaca.....	90
<b>Figura 5</b> Fibra natural de Tatora. ....	91
<b>Figura 6</b> Totorales en el lago Titicaca y rio desaguadero sector boliviano .....	93
<b>Figura 7</b> Alcaldía de la Localidad de Huatajata La Paz Bolivia .....	94
<b>Figura 8</b> Recolección de la planta de Tatora .....	94
<b>Figura 9</b> Recolección del agregado fino. ....	127
<b>Figura 10</b> Recolección de agregado grueso. ....	128
<b>Figura 11</b> Cuarteo de la gravilla. ....	129
<b>Figura 12</b> Ensayo de granulometría. ....	130
<b>Figura 13</b> Porcentaje de acaras fracturadas y angularidad.....	135
<b>Figura 14</b> Porcentaje de partículas planas y alargadas. ....	136
<b>Figura 15</b> Equivalente arena. ....	138
<b>Figura 16</b> Muestra húmeda de agregado fino, Picnómetro mas muestra.....	144
<b>Figura 17</b> Barril del CA 85-100.....	149
<b>Figura 18</b> Toma de muestra del CA 85-100. ....	150
<b>Figura 19</b> Comparación de sistemas de clasificación por Penetración y Viscosidad. ...	151
<b>Figura 20</b> Ensayo peso específico.....	152
<b>Figura 21</b> Ensayo de penetración.....	153
<b>Figura 22</b> Ensayo de viscosidad Cinemática, 135°C. ....	154

<b>Figura 23</b> Ensayo de viscosidad dinámica a 60°C.....	155
<b>Figura 24</b> Equipo Brookfield.....	157
<b>Figura 25</b> Ensayo punto de ablandamiento.....	158
<b>Figura 26</b> Ensayo de Ductilidad.....	159
<b>Figura 27</b> Punto de inflamación.....	160
<b>Figura 28</b> Ensayo de la mancha.....	161
<b>Figura 29</b> Solubilidad de materiales bituminosos.....	161
<b>Figura 30</b> Ensayo de película delgada.....	163
<b>Figura 31</b> Cortado y secado de la totora.....	168
<b>Figura 32</b> Ensayos a tracción de la totora.....	169
<b>Figura33</b> Porcentajes de fibra de totora.....	171
<b>Figura 34</b> Mezclado de agregado y cemento asfáltico, compactación de briquetas.....	185
<b>Figura 35</b> Briquetas con CA sin totora, Briqueta con CA y la adición de la fibra de totora.....	185
<b>Figura 36</b> Peso de la probeta sumergido.....	187
<b>Figura37</b> Picnómetro de vacío.....	188
<b>Figura38</b> Mezclas asfálticas sin compactar.....	188
<b>Figura39</b> Probetas en agua a 60°C.....	195
<b>Figura40</b> Mordaza y aparato de carga.....	195
<b>Figura41</b> Elaboración de probetas para mezclas asfálticas con fibra natural de totora.....	214
<b>Figura42</b> Compactado, preparación de la maquina y colocado de la probeta en la máquina de ahuellamiento.....	214
<b>Figura 43</b> Mezcla asfáltica con 0,5% de totora.....	232

## INDICE DE GRAFICAS

<b>Grafica1</b> Curva Granulométrica.....	176
<b>Grafica2</b> Nomograma de Heukelom.....	183
<b>Grafica 3</b> Mezclas asfálticas sin la adición de fibra natural de totora .....	198
<b>Grafica 4</b> Mezclas asfálticas con 0.15% de fibra natural de totora; <b>Error! Marcador no definido.</b>	
<b>Grafica 5</b> Mezclas asfálticas con 0.25% de fibra natural de totora; <b>Error! Marcador no definido.</b>	
<b>Grafica 6</b> Mezclas asfálticas con 0.35% de fibra natural de totora; <b>Error! Marcador no definido.</b>	
<b>Grafica7</b> “Deformación vs Tiempo”, CA 85-100.....	216
<b>Grafica 8</b> “Deformación vs Tiempo”, CA 85-100 con fibra natural de totora. ....	217
<b>Grafica 9</b> Comparación de la estabilidad en mezclas asfálticas sin fibra de totora y con 0,15%, 0,25% y 0,35% de fibra de totora .....	227
<b>Grafica 10</b> Comparación de flujo en mezclas asfálticas sin fibra de totora y con 0,15%, 0,25% y 0,35% de fibra de totora .....	228
<b>Grafica 11</b> Deformación de mezcla asfáltica convencional y mezcla asfáltica con 0,15% de totora .....	230

## INDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1</b> Proceso de destilación del petróleo .....	60
<b>Ilustración 2</b> Producción de una Emulsión Asfáltica. ....	64
<b>Ilustración 3</b> Nomograma de Heukelom .....	80
<b>Ilustración4</b> Ilustración de volumen en el agregado mineral. ....	104
<b>Ilustración5</b> Diagrama de volúmenes de los componentes de una mezcla asfáltica. ....	105
<b>Ilustración 6</b> Distintos tipos de ahuellamiento .....	119
<b>Ilustración7</b> Ilustración del VMA en una Probeta de Mezcla Compactada .....	186

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCION**

“ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO FISICO-MECANICO DE LA  
MEZCLA ASFALTICA CON CEMENTO ASFALTICO 85-100  
IMPLEMENTANDO FIBRA NATURAL DE TOTORA  
(SCHOENOPLECTUS TATORA)”

## INTRODUCCION

### 1.1. Justificación general.

Se plantea el estudio de la Totora que es una planta acuática de rápido crecimiento que ha sido utilizada principalmente en América desde tiempos ancestrales para la elaboración de una amplia variedad de objetos que demuestran su versatilidad y potencial para ser utilizada en sistemas constructivos contemporáneos que pueden generar beneficios en el campo de la construcción sostenible.

Esta investigación nos permitirá ampliar más nuestro conocimiento en la implementación de fibras naturales en mezclas asfálticas, en los últimos años el uso de las fibras como refuerzo ha tenido un crecimiento importante en los diseños y producción de mezclas asfálticas.

El avance de la tecnología ha determinado desarrollar fibras de diversos materiales para emplear en mezclas asfálticas, para esta investigación se utilizará la fibra natural de la totora.

### 1.2. Fines

Este proyecto de implementación de fibra de totora en mezclas asfálticas se realizará para analizar las mejoras en las propiedades físico-mecánicas de una mezcla asfáltica con totora en comparación de una mezcla asfáltica convencional.

### 1.3. Estado del arte

El incremento del volumen de tránsito, así como las cargas han hecho que existan investigaciones donde se utilizan nuevas mezclas asfálticas con la finalidad de disminuir los siguientes deterioros importantes como ser:

- Las deformaciones plásticas permanentes
- Agrietamientos por fatiga térmica
- Envejecimiento

El objetivo de este trabajo es proponer nuevas mezclas asfálticas que, mediante el empleo de fibras, presentan un buen comportamiento frente a los deterioros mencionados.

Estas mezclas proporcionan superficies de rodamiento con texturas que disminuyen el problema de deslizamientos de los vehículos al inicio de las lluvias, evitando accidentes en las calles y carreteras, siendo estas más seguras y cómodas.

En la actualidad se sigue investigando los distintos trabajos experimentales con adición de distintos tipos de fibras, naturales, artificiales o sintéticas nivel mundial.

Se encontraron varias investigaciones de mezclas asfálticas con adiciones de fibras naturales en países como Colombia, Ecuador y también se pudo encontrar una investigación en Bolivia.

### *1.3.1. Antecedentes de mezclas con adiciones de fibras.*

Tanto en países como Colombia, Ecuador y Bolivia se tienen antecedentes del tema:

**Título:** “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO- MECÁNICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA TIPO MDC.19 CON FIBRA NATURAL DE CAÑA DE AZUCAR” (Bejarano & Caicedo, 2017).

**Resumen:** Este trabajo mostró una mejora considerable en las características y comportamiento de la mezcla asfáltica MDC-19, la cual tuvo una mejora en la resistencia a tracción, y un menor desgaste en el ensayo de cántabro (Este ensayo consiste en compactar las muestras con el martillo Marshal a 50 golpes por cara, con una granulometría

específica y a temperaturas de 0, 10, 20, 30, y 40 °C, para después someterlas a la abrasión de la Máquina de Los Ángeles, a 300 revoluciones sin las bolas de acero).

Para la elaboración de esta mezcla asfáltica modificada primero se realizó la caracterización de los materiales (agregado pétreo, cemento asfáltico, y bagazo de caña de azúcar), a continuación, se realizó el ensayo de estabilidad y flujo para la mezcla convencional mediante el aparato Marshall para obtener la cantidad de cemento óptimo para la mezcla convencional.

Seguidamente se realizó una mezcla usando cuatro dosificaciones el 0,25%, 0,5%, 1% y el 3%, con estos porcentajes se ejecutaron los ensayos de estabilidad y flujo, densidad bulk y desgaste de cántabro.

Los resultados obtenidos nos muestran unas mejoras un tanto considerables en la estabilidad de la mezcla especialmente en la dosificación del 0.5%, que valen la pena tener en cuenta y que de una u otra forma mejoran las propiedades físico mecánicas del producto resultante.

**Título: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD Y LA DEFORMACIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO CON FIBRAS CELULOSAS Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL” (Moreira & Jimenez, 2016).**

**Resumen:** El trabajo, se realizó con el objetivo de proporcionar un pavimento asfáltico con características adecuadas y capaces de disminuir las presencias de fisuras, esta investigación se aplicó en la ciudad de Ambato sector La Península, como también fue necesario recolectar la cascara de coco para su posterior extracción de la fibra de coco.

En primera, se determinó si los agregados tanto fino como grueso cumplían con las normas INEN Y ASTM, establecidas para la realización de un pavimento asfáltico, una

vez comprobado se procedió a realizar la granulometría correspondiente al tipo de agregado comprobando que se encuentren dentro de los límites establecido por MOP – 001 – F 2002.

Concluido y determinado éste, se procedió a realizar las probetas mediante el método Marshall que recomienda realizar 3 briquetas por cada contenido de asfalto empezando desde un porcentaje igual a 5% hasta 7% con intervalos de 0,5%, así mismo para posterior comparación se realizaron 3 briquetas para cada porcentaje de cemento asfáltico utilizado y adicionalmente en estas briquetas fue añadida la fibra en un porcentaje igual a 0,3% en peso calculado sobre la mezcla total. Las briquetas ensayadas mediante el procedimiento Marshall, el cual permitió tabular los datos de forma correcta para su posterior representación mediante gráficas de cada una de sus propiedades, determinando así los porcentajes óptimos de cada uno de los pavimentos asfálticos.

Durante el análisis de resultados se observó que los cambios, producto de la incorporación de fibras de coco en el asfalto influyeron directamente en la deformación, tal es el caso que a un porcentaje de asfalto de 5% la deformación del pavimento tradicional es 10,69, entre tanto que el pavimento con fibras posee un valor de 12,20, mientras que si aumentamos el porcentaje de asfalto a 7% el pavimento el pavimento asfaltico tradicional sufre un aumento en la deformación igual a 12,75, mientras que el pavimento asfaltico con fibras disminuye su capacidad de deformarse obteniendo así un valor igual a 11,43, produciendo una reducción en la capacidad estructural del pavimento.

**Título: “Comportamiento Físico - mecánico de mezclas asfálticas con la adición de fibra natural de caña de azúcar” (Apaza & Landivar, 2019).**

**Resumen:** El presente trabajo investigativo, se fundamenta en la experiencia de esta investigación realizado en la carrera de ingeniería civil, el cual mostro que para un determinado porcentaje de fibras que se agregó a una mezcla asfáltica (85-100) llega a cumplir con todos los parámetros de diseño para zonas de altura, en cambio para una mezcla convencional (60-70) no se cumplieron las expectativas de criterios de diseño, ya que para estos cementos asfálticos se obtuvo estabilidades relativamente bajas las cuales no ayuda para nada en mejorar este tipo de mezclas asfálticas.

Este trabajo utilizó una metodología experimental, llevándose a cabo en las instalaciones del laboratorio de Asfaltos del Instituto de Ensayo de Materiales de la Universidad Mayor de San Andrés.

Para la incorporación de la fibra de bagazo en este trabajo utilizaron dosificaciones de 0,5% y 1,0% para el CA 60-70 en zonas convencionales, además de 0,25% y 0,5% para el CA 85-100 en zonas de altura. Con estos dos tipos de CA se elaboraron briquetas y se lo llevaron al equipo Marshall. Principalmente este proyecto se enfocó en la comparación de los parámetros del criterio de diseño, de mezclas asfálticas convencionales y zonas de altura.

## **1.4. Objetivos:**

### ***1.4.1. Objetivo general.***

Analizar las características de una mezcla asfáltica modificada con fibra natural de totora en diferentes dosificaciones de adición, e identificar qué porcentaje presenta una mejora sustancial en la mezcla resultante; además, de compararla con una mezcla asfáltica convencional.

#### 1.4.2. *Objetivos específicos.*

- Realizar mezclas asfálticas convencionales que cumplan las especificaciones técnicas de tráfico pesado empleado las especificaciones del Instituto del Asfalto.
- Realizar mezclas asfálticas convencionales implementando fibra natural de totora que cumplan las especificaciones técnicas de tráfico pesado empleado las especificaciones del Instituto del Asfalto.
- Realizar una especificación técnica de la implementación de totora en mezclas asfálticas.
- Realizar mezclas asfálticas con totora utilizando los siguientes porcentajes 0,15%, 0,25% y 0,35%.
- Comparar las propiedades físico-mecánicas de una mezcla de cemento asfáltico implementando fibra de totora, con otra mezcla asfáltica sin la implementación de fibra de totora.
- Analizar las ventajas y desventajas de las mezclas asfálticas con fibra de totora frente a las mezclas convencionales.

#### 1.5. Alcance

Para la realización de los análisis y conclusiones de los resultados de laboratorio utilizamos las normas vigentes.

Se tomó como base de comparación el cemento asfáltico 85/100; para analizar el comportamiento físico-mecánico de la mezcla asfáltica con diferentes porcentajes de adición de totora.

Para realizar la caracterización del cemento asfáltico se utilizó las normas por penetración AASHTO M20 y viscosidad AASHTO M226-80 los parámetros se encuentran en las tablas 1 y tabla 2.

**Tabla1.**

*Especificación AASHTO M20 por grado de penetración para Cementos Asfálticos*

	40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Penetración, 25° C 100g., 5 segundos	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto inflamador, Cleveland, °C	232	-	232	-	232	-	218	-	177	-
Ductilidad 25° C, 5 cm por minuto	100	-	100	-	100	-	100	-	-	-
Solubilidad de tricloroetileno, por ciento	99	-	99	-	99	-	99	-	99	-
TFO 3.2 mm, 63° C, 5 horas										
Perdida por calentamiento, Por ciento	-	0,8	-	0,8	-	1,0	-	1,3	-	1,5
Penetración del residuo, Por ciento del original	58	-	54	-	50	-	46	-	40	-
Ductilidad del residuo a 25° C. 5 cm por min., cm	-	-	50	-	75	-	100	-	100	-
Prueba de la mancha (cuando y como se especifica) (ver nota):										
Solvente normal de la nafta	Negativo para todos los grados									
Solvente de nafta – xileno. % xileno	Negativo para todos los grados									
Solvente de heptano – xileno. % xileno	Negativo para todos los grados									

Fuente: Tomada de Normas AASHTO, Parte I Especificaciones, 2004.

Tabla2.

*Especificación AASHTO M226-80 por grado de viscosidad para Cementos*

*Asfálticos a 60°C*

	<b>AC-2,5</b>	<b>AC-5</b>	<b>AC-10</b>	<b>AC-20</b>	<b>AC-40</b>
<i>Viscosidad, 60º poises</i>	250-50	500±100	1000±200	2000±400	4000±800
<i>Viscosidad 135º Cs-mínima</i>	125	175	250	300	400
<i>Penetración, 25º C 100 g.,5 segundos– mínimo</i>	220	140	80	60	40
<i>Punto inflamador, cleveland. ºC(ºF)-mínimo</i>	163(325)	177(350)	219(425)	232(450)	232(450)
<i>Solubilidad en tricloroetileno, por cierto-mínimo</i>	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0
<i>Pruebas sobre el residuo del ensayo TFO:</i>					
<i>Perdida por calentamiento, porciento maximo (opcional)3</i>		1	0,5	0,5	0,5
<i>Viscosidad, 60º C, poises – máximos</i>	1000	2000	4000	8000	16000
<i>Ductilidad, 25º C, 5 cm por minuto, cm mínimo</i>	100	100	75	50	25
<i>Prueba de mancha (cuando y como se especifica)2 con:</i>					
<i>Solvente normal de nafta</i>	Negativo para todos los grados				
<i>Solvente de nafta –xileno, % xileno</i>	Negativo para todos los grados				
<i>Solvente de heptano-xileno, % xileno</i>	Negativo para todos los grados				

Fuente: Tomada de Normas AASHTO, Parte I Especificaciones, 2004.

Para la implementación de la fibra natural de totora en la mezcla asfáltica se utilizó los siguientes porcentajes, 0,15%, 0,25% y 0,35 %.

Para el diseño de las mezclas asfálticas, los requerimientos de seguridad vial son amplios y exige un grado de seguridad del pavimento asfáltico. Por lo que se tomará en consideración el método de diseño más conocido MASHALL.

El método MARSHALL determina el contenido óptimo de asfalto mediante una combinación específica de agregados, también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, establece densidades y contenidos óptimos de vacíos que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

Con el método MARSHALL se analizó:

- Estabilidad
- Peso específico
- % Vacíos en la mezcla
- % Vacíos en el agregado
- % Vacíos en el asfalto
- Flujo

Planteamos como hipótesis: ***“La incorporación de la fibra de totora en las mezclas asfálticas mejorara la estabilidad y la deformación del pavimento asfáltico.”***

Para esta investigación se tomaron tres porcentajes de fibra de totora, que se incorporaron a la mezcla asfáltica de los cuales se escogió el porcentaje óptimo de totora.

#### **1.6. Metodología.**

Este proyecto de investigación se realizó empleando la metodología experimental, todos los ensayos correspondientes se realizaron en el laboratorio de Asfalto del Instituto de Ensayo de Materiales de la Universidad Mayor de San Andrés, en el campus de Cota Cota.

Se dividió en seis etapas que son:

- *Primera etapa. Aprovechamiento de materiales:*

Se identificará la fuente de provisión del cemento asfáltico como también la fuente de provisión de los agregados a utilizarse para este proyecto.

- *Segunda etapa. Caracterización del cemento asfáltico y los agregados:*

1. Para la caracterización del cemento asfáltico utilizaremos los siguientes ensayos:

- Ensayo de peso específico (ASTM D71-94; AASHTO T229-97; ABC A0102).

- **Caracterización por penetración AASHTO M20**

- Ensayo de penetración (ASTM D-5; AASHTO T49-97; ABC A0103).
- Ensayo de punto de inflamación y combustión (vaso abierto de cleveland) (ASTM D1310-01; AASHTO T79-96; ABC A0106).
- Ensayo de ductilidad (ASTM D-113; AASHTO T51-00; ABC A0105).
- Ensayo de solubilidad de materiales bituminosos (ASTM D 2042; AASHTO T44-97; ABC A0107).
- Ensayo de película delgada (ASTM D1754 Y AASHTO T179-05).
- Pérdida por calentamiento.
- Ensayo de ductilidad sobre el residuo de película delgada.
- Ensayo de penetración sobre el residuo de película delgada.
- Ensayo de la mancha (AASHTOT 102-83; ABC A0104).

- **Caracterización por viscosidad AASHTO M226-80**

- Ensayo de viscosidad cinemática A 135°C (ASTM D 2170; AASHTO T201-01; ABC A0108).
- Ensayo de viscosidad dinámica a 60°C (ASTM D-2171; AASHTO T202-91; ABC A0109).
- Ensayo de penetración (ASTM D-5; AASHTO T49-97; ABC A0103).
- Ensayo de punto de inflamación y combustión (vaso abierto de cleveland) (ASTM D1310-01; AASHTO T79-96; ABC A0106).

- Pérdida por calentamiento.
  - Ensayo de viscosidad dinámica a 60°C sobre el residuo (ASTM D-2171; AASHTO T202-91; ABC A0109).
  - Ensayo de ductilidad sobre el residuo de película delgada
  - Ensayo de la mancha (AASHTO T 102-83; ABC A0104).
2. Para la caracterización del agregado, utilizamos los siguientes ensayos:
- **Ensayo y especificaciones técnicas del agregado.**
    - Cuarteo de la muestra (ASTM C-702; ABC A0505).
    - Análisis de granulometría (ASTM E-40; AASHTO T11-96; ABC A0506).
    - Equivalente arena del agregado fino (ASTM D – 2419; AASHTO T176-00; ABC A0509).
    - Resistencia a la degradación del agregado grueso, por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles. (ASTM E-131; AASHTO T96-99, ABC A0511)
  - **Propiedades gravimétricas.**
    - Peso específico y absorción del agregado grueso (ASTM E – 127; AASHTO T85-91; ABC A0519).
    - Peso específico y absorción del agregado fino (ASTM E– 128; AASHTO T84-00; ABC A0520).
    - Densidad de masa (peso unitario) y vacíos del agregado (ASTM C -29).

- Tercera etapa. Adecuar la granulometría de la mezcla asfáltica cumpliendo las franjas granulométricas especificadas en la Tabla 3:

**Tabla3.**

*Especificaciones de uso para el diseño granulométrico*

MALLA [Plg.]	NORMA: ABC		NORMA: ASTM		NORMA: AASHTO	
	Especificaciones		Especificaciones		Especificaciones	
	P mín.	P máx.	P mín.	P máx.	P mín.	P máx.
1''						
3/4''	97	100	90	100	97	100
1/2''	76	88			76	88
3/8''			56	80		
N4	49	59	35	65	49	59
N8	36	45	23	49	36	45
N10						
N30						
N40	14	22			14	22
N50			5	19		
N80						
N200	3	7	2	8	3	7

Fuente: Tomada de ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS, Manual de ensayos de suelos y materiales asfaltos vol. 4, 2010.

- Cuarta etapa. Realizar los ensayos de la mezcla asfáltica:

1. Diseño de las mezclas asfálticas en caliente por el método Marshall (ASTM D-1559; AASHTO T-225; ABC A0613), utilizando cemento asfáltico convencional CA 85-100 de producción en Perú.
2. Hallar la dosificación óptima para el asfalto convencional CA 85-100 de producción en Perú.
3. Realizar el ensayo de ahuellamiento con rueda cargada (AASHTO TP6307; ABC A0610)

➤ Quinta etapa:

1. Obtención de la planta de totora (*Schoenoplectus Tatora*).
2. Realización del tratamiento previo para la obtención de la fibra natural de la planta de totora antes de introducirla a la mezcla asfáltica.

➤ Sexta etapa:

Una vez obtenida la fibra natural de totora se procederá a introducirla en la mezcla asfáltica en los porcentajes 0.15%, 0.25% y 35%.

➤ Séptima etapa:

Efectuar la evaluación y comparación de los resultados obtenidos entre la mezcla de cementos asfáltico convencional CA 85-100 sin fibra natural de totora con la mezcla asfáltica con la fibra natural de totora.

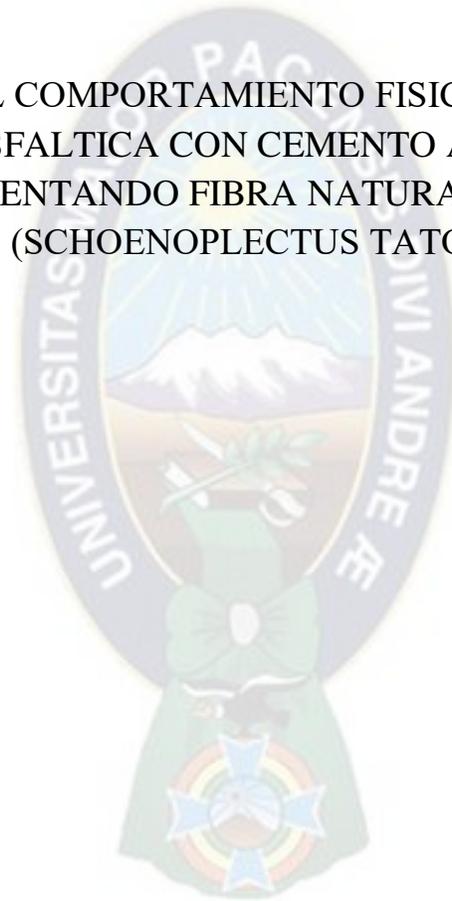
➤ Octava etapa:

1. Concluir el trabajo de laboratorio.
2. Concluir con los objetivos planteados.
3. Presentación del informe final.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

“ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO FISICO-MECANICO DE LA  
MEZCLA ASFALTICA CON CEMENTO ASFALTICO 85-100  
IMPLEMENTANDO FIBRA NATURAL DE TOTORA  
(SCHOENOPLECTUS TATORA)”



## MARCO TEORICO

### 2.1. AGREGADOS.

#### 2.1.1. *Generalidades.*

Los agregados minerales son definidos como cualquier material inerte y duro con partículas y fragmentos graduados usados en la mezcla. Ello incluye arena, grava, piedra partida, escoria, desechos o polvos de roca.

El agregado mineral en las mezclas asfálticas para pavimentaciones generalmente representa del 90 al 95% en peso y del 75 a 85% en volumen. Los agregados minerales son los principales responsables de la capacidad de carga del pavimento además de influir notablemente en el comportamiento del mismo.

De acuerdo con su tamaño, esta se divide en gravas, arenas y relleno mineral (filler). La grava es definida como un agregado de partículas de 75mm (3”) a 4,75  $\mu$ m (Nro. 4). La arena está constituida por partículas de 4,75  $\mu$ m (Nro. 4) a 75  $\mu$ m (Nro. 200). Los tamaños menores de 75  $\mu$ m (Nro. 200) incluyen las fracciones limosas.

#### 2.1.2. *Definición.*

La designación ASTM D8 define al agregado como “un material granular de composición mineral tal como la arena, escoria, o piedra partida, usando con un medio cementante para formar morteros o concretos o solo como capas de bases, balastos de ferrocarriles, etc.”

#### 2.1.3. *Clasificación de los agregados.*

Como agregado mineral para la elaboración de mezclas asfálticas se puede utilizar arenas y gravas naturales procedentes de chancado o trituración. Deben elegirse de acuerdo a su naturaleza, resistencia, forma, absorción del agua, durabilidad, granulometría y otros.

Sin embargo, esta dependerá de la ubicación de la obra, ya que se tendrá que utilizar el agregado que se encuentra por la zona. Las propiedades del agregado dependerán de las rocas de las que proceden, su composición química, resistencia, dureza, densidad y otros.

Otras propiedades que podemos mencionar como el tamaño, absorción, textura superficial y otros, van a ser consecuencia de la formación del agregado.

Los agregados pueden ser de naturaleza caliza, silícea o ígneos y metamórficos: Desde el punto de vista de durabilidad, se prefiere los áridos de tipo silíceo (gravas y arenas de río o cantera) y las que provienen de machaqueo de rocas volcánicas (basalto, andesita y otros) o de calizas sólidas y densas. Las rocas sedimentarias en general (calizas, dolomitas y otros) y vulcanitas sueltas (pómez, toba y otros) deberán ser analizadas previamente.

Las proporciones de agregado que se seleccione tiene el objetivo de obtener una mezcla en la que, con un mínimo de contenido asfáltico se pueda conseguir las propiedades deseadas en la mezcla asfáltica.

Los agregados se pueden clasificar según su tamaño y el origen de su procedencia.

#### **2.1.3.1. Clasificación de acuerdo a su tamaño.**

Genéricamente se los clasifica en agregado grueso y agregado fino, donde:

- **Agregado grueso:** En el sistema de clasificación de suelos SUCS, el agregado grueso es el que queda retenido en el tamiz N°4. La resistencia de la grava viene atada a su dureza, densidad y módulo de elasticidad. Sus partículas deben soportar y resistir las condiciones de intemperie, por lo tanto, deben ser limpios, de preferencia angular con tendencia a la forma cubica, resistentes, compactas, duras, y de textura rugosa.

- **Gravilla:** Está formado por cualquier grava libre de impurezas con un diámetro aproximado entre  $\frac{1}{4}$ " y  $\frac{1}{2}$ ", puede ser de banco o de río.
- **Agregado fino:** En el sistema de clasificación de los suelos SUCS, el agregado fino es la parte del agregado que pasa por el tamiz N°4 y queda retenido hasta el tamiz N° 200. Las partículas deben de ser resistentes, duras, compactas, limpias y libres de partículas perjudiciales de polvo, terrones, sales álcalis u otras sustancias perjudiciales. Las arenas que proceden del chancado son las preferidas siempre y cuando no tengan exceso de finos.
- **Polvo mineral o filler:** En el sistema de clasificaciones de suelos SUCS, es el agregado que pasa por el tamiz #200. Al añadir este material en la mezcla se mejora la estabilidad y la trabajabilidad hasta un cierto punto, en consecuencia, si el porcentaje de material que pasa el tamiz N° 200 es mayor al necesario, el porcentaje de fino será muy alto provocando así el distanciamiento desproporcionado del agregado grueso variando la capacidad de compactación.

Los agregados se clasifican genéricamente en agregado grueso y agregado fino. No obstante, una clasificación más amplia se la muestra en la siguiente tabla:

**Tabla4.***Clasificación por tamaño de los agregados*

Tamaño, pulg (mm)	Nombre	Nombre Genérico	Observaciones
Mayor que 2 1/2	Piedra	Agregado grueso	Agregado para utilizar
2 1/2 a 3/4 (63 a 19)	Grava		
3/4 a N°4 (19 a 4,75)	Gravilla		
N°4 a N°10 (4,75 a 2,00)	Arena gruesa	Agregado fino	
N°10 a N°40 (2,00 a 0,425)	Arena media		
N°40 a N°200 (0,425 a 0,075)	Arena fina		
N°200 a 0.002 (0,075 a 0,002) Menor a 0,002 mm	Limo Arcilla	Fracción muy fina	Fracción no recomendable

Fuente: Tomada de Introducción al diseño de mezclas de hormigón, Fernando Cerruto A. 2015.

### 2.1.3.2. Clasificación respecto a la fuente de origen.

Estos agregados pueden ser provenientes de fuentes naturales o artificiales; son el producto de la desintegración y erosión natural de rocas, del arrastre de agua. También pueden obtenerse de las siguientes fuentes:

- **Agregado de canto natural:** Son aquellos materiales inorgánicos, naturales o explotados desde lechos de ríos, se los utiliza con su graduación natural. Son redondeados con superficies lisas sin aristas.
- **Agregados de trituración o chancado:** Son aquellos materiales que se obtiene mediante trituración o chancado y tamizado de rocas naturales de

mayor tamaño, provienen de río o de canteras de explotación. Son de superficie rugosa y aristas vivas.

- **Agregados artificiales:** Son aquellos que se obtienen mediante procesos industriales a partir de materiales orgánicos o inorgánicos. Pueden ser escorias o materiales procedentes de demoliciones, utilizables o reciclables.
- **Agregados marginales:** Engloban a todos los materiales que no cumplen alguna de las especificaciones vigentes.

#### *2.1.4. Propiedades de los agregados.*

##### **2.1.4.1. Angularidad y textura superficial de las partículas.**

Los agregados pueden ser rodados o chancados, los primeros proporcionan mezclas más dóciles y trabajables, mientras que los segundos proporcionan cierta aspereza a la mezcla lo que dificulta su puesta en obra. La arena influye más que la grava en ambos casos. Los agregados chancados proporcionan una mejor trabajabilidad lo que se muestra en una mayor resistencia a la tracción.

Las partículas de los agregados deben ser cortas y gruesas libres de cantidades excesivas de piezas en forma de placas o alargadas. Las piezas en forma de astillas, largas, se deben evitar o limitarse a un máximo de 15% en peso del agregado total. Los ensayos de “Angularidad del agregado grueso, caras fracturadas” y “Partículas planas y alargadas” nos permiten observar estas propiedades de origen.

##### **2.1.4.2. Granulometría de los agregados.**

Indica las cantidades de los distintos tamaños por los que está compuesto el agregado. Este ensayo se lo realiza haciendo pasar una cantidad de agregado por una serie de tamices

ordenados por aberturas decrecientes. Los tamices son mallas de abertura cuadrada y se encuentran normalizados por la ASTM E-11 (Sistema Internacional, en mm.)

Es la distribución por tamaños de las partículas que lo conforman, por consiguiente, es la separación del agregado en diferentes cortes de partículas del mismo tamaño determinados bajo ciertos límites, para hallar el porcentaje que entra de cada uno de estos. Los resultados se presentan tabulados y en forma gráfica, llamándose estas curvas granulométricas.

Si en el agregado existen cortes de todos los tamaños del mayor al más pequeño, se dice que el agregado posee una granulometría continua. Pero si la continuidad de tamaños desaparece, faltando agregados que no tienen una gran deficiencia o exceso de cualquier tamaño y dan una curva granulométrica pareja son los que obtienen mejores resultados.

- **Tamaño del agregado:** Debido a que en las especificaciones nos proporcionan un tamaño de partículas para cada grupo usado. Existen dos formas para designar estos tamaños:
  - **Tamaño máximo nominal (TMN):** Se designa como el tamiz más grande que el primer tamiz que retiene más del 10% de las partículas de agregado, en una serie normal de tamices.
  - **Tamaño máximo del agregado (TM):** Se designa como el tamiz más grande que el tamaño máximo nominal de partícula. Es el tamiz más pequeño por el cual pasa el 100 por ciento de las partículas de agregado. El TMN del agregado debe estar entre  $1/5$  y  $2/3$  del espesor de la capa de rodadura terminada, fijándose el promedio de estos límites para evitar el riesgo de que en algún punto de la capa de rodadura exista una piedra ocupado todo el

espesor en perjuicio de la impermeabilidad y resistencia. El límite mínimo se fija en función de la estabilidad.

- **Módulo de finura:** Es la suma de los porcentajes retenidos acumulados en tamices de la serie estándar y dividida por 100. Nos da la idea del tamaño medio del agregado utilizando para la mezcla asfáltica.

#### 2.1.4.3. Capacidad de absorción y pesos específicos del agregado.

Es la capacidad de absorber agua o asfalto en un agregado, pues un árido poroso requiere mayores cantidades de asfalto que las que requieren un agregado menos poroso. Si el agregado es altamente absorbente continuará absorbiendo asfalto después del mezclado inicial, reduciendo la cantidad de asfalto para ligar las demás partículas y reducirá los vacíos con asfalto, necesario para el diseño de mezclas asfálticas.

El peso específico del agregado, nos permite conocer los volúmenes compactados del agregado, relacionado con el peso unitario permite conocer la capacidad del agregado (contenido de vacíos). Los agregados tienen poros que pueden ser accesibles o inaccesibles. Por lo que no se puede hablar de un solo peso específico del agregado sino de varios.

- **Porosidad:** La porosidad y la absorción ejercen una gran influencia en la adherencia con el asfalto, por ende, en la durabilidad (congelamiento, deshielo, humedecimiento, secado y otros) así como la resistencia al desgaste o abrasión.
- **Peso específico:** Es la relación de la masa o peso en el aire, de un volumen unitario de un material a la masa, del mismo volumen de agua a temperatura ambiente, los valores obtenidos son adimensionales.

- **Peso específico en estado seco:** Se obtiene dividiendo el peso seco de las partículas entre su volumen, tomando en cuenta en este volumen los huecos accesibles e inaccesibles, pero no los huecos entre partículas.
- **Peso específico saturado superficialmente seco (SSS):** Se obtiene dividiendo el peso en estado sss de las partículas entre su volumen, tomando en cuenta en este volumen los huecos accesibles e inaccesibles, pero no los huecos entre las partículas.
- **Mínimo de huecos o vacíos entre partículas:** Cuando se combinan agregados, los huecos disminuyen, al añadirse partículas de varios tamaños se reduce el volumen de los huecos. Es conveniente mantener al mínimo el volumen de huecos.

Los ensayos de “peso específico y absorción de agregado grueso” y “peso específico y absorción de agregado fino” nos permiten conocer estas propiedades.

El peso unitario, nos indica el grado de ajuste de las partículas y entre menor sea este, menor es el volumen de vacíos entre partículas (volumen aparente). El peso unitario en determinado estado de compactación permite transformar el peso a volumen o viceversa, existen dos tipos de peso unitario:

- **Peso unitario suelto:** Se coloca en estado seco, en un recipiente hasta el tope luego se nivela sin ejercer presión alguna.
- **Peso unitario compactado:** El material es sometido a compactación modificando el grado de ajuste de las partículas y por

ende el peso unitario. Con este valor se determina el volumen absoluto de los agregados.

#### **2.1.4.4. Resistencia a la abrasión.**

La resistencia a la abrasión depende de las características de la roca madre, es importante cuando la mezcla está sujeta a desgaste continuo. Los agregados sufren desgaste abrasivo durante su construcción, colocación y compactación de mezclas asfálticas para pavimentos. Si los agregados están en la capa de rodadura requieren una mayor tenacidad que los agregados de las capas inferiores, debido a que reciben las cargas por efecto del tránsito. Por lo tanto, deben tener la capacidad de resistir trituración, degradación y desintegración. El ensayo de “Desgaste Los Ángeles” nos permite ver la resistencia del agregado al desgaste y a la abrasión.

#### **2.1.4.5. Resistencia al corte.**

Cuando una masa de agregados es cargada, puede generarse dentro de la masa un plano por el que las partículas se han deslizado o cizalladas unas respecto a otras, lo cual resulta en una deformación permanente de la masa. En este plano donde las tensiones de corte exceden a la resistencia de corte de la masa de agregados como la resistencia al corte del agregado es de crítica importancia en las mezclas asfálticas en caliente.

### ***2.1.5. Ensayos y especificaciones técnicas del Agregado***

#### **2.1.5.1. Cuarteo de la muestra (ASTM C-702; ABC A0505)**

Debido a los diferentes tamaños existente en la muestra es necesario reducir su tamaño o volumen, a una muestra representativa para los diferentes ensayos a los que será sometido.

Debido a que este proceso de reducción puede causar segregación, es necesario tener mucho cuidado para poder preservar la integridad de la muestra.

Este método establece 2 procedimientos, uno manual y otro mecánico, para la reducción de muestras de suelo, áridos y agregados minerales en general.

Los mejores resultados se obtienen usando un cuarteador metálico.

- **Material y equipo**

- Cuarteador metálico.
- Pala.
- Muestra de agregado.

- **Procedimiento:**

Para el proyecto se utilizó el cuarteador metálico que consiste en una especie de cajón metálico con ranuras en la parte superior separados entre sí; estas descienden por las aberturas en forma de canal hacia los lados del cajón y están diseñadas de un modo alternado.

1. Se coloca la muestra en un recipiente del cuarteador.
2. Se vacía la muestra en el cuarteador.
3. Se pesa el material correspondiente a un recipiente.
4. Se repite el proceso hasta obtener el peso necesario para el ensayo correspondiente.
5. Si realiza el mismo procedimiento tanto para el agregado fino como grueso.

### 2.1.5.2. Análisis granulométrico (ASTM E-40; AASHTO T11-96; ABC A0506)

Este ensayo establece el método para tamizar y determinar la granulometría de los agregados tanto finos como gruesos. El análisis de tamices consiste en pasar la muestra por una serie de tamices, cada uno de los cuales tiene aberturas de un tamaño específico. Los tamices están denominados de acuerdo al tamaño de sus aberturas. Las partículas gruesas quedan atrapadas en los tamices superiores; las partículas de tamaño medio pasan a través de los tamices medianos; y las partículas finas pasan a través de los tamices inferiores.

La granulometría del agregado es la distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas existentes en el agregado. El porcentaje parcial retenido en un tamiz es el porcentaje en masa correspondiente a la fracción directamente retenida en un determinado tamiz. El porcentaje acumulado retenido en el tamiz es el porcentaje en masa de todas las partículas de mayor tamaño que la abertura de un determinado tamiz; Se calcula como la suma del porcentaje parcial retenido en ese tamiz más todos los porcentajes parciales retenidos en los tamices de mayor abertura. El porcentaje acumulado que pasa por un tamiz es el porcentaje en masa de todas las partículas de menor tamaño que la abertura de un determinado tamiz; se calcula la diferencia entre 100% y el porcentaje acumulado retenido en ese tamiz.

Los tamices que se utilizaron en la gradación del agregado grueso y fino son:

Tabla5.

*Tamices para utilizar en la gradación del agregado grueso y fino.*

Agregado grueso.		Agregado fino	
Tamiz (plg)	Abertura (mm)	Tamiz (plg)	Abertura (mm)
1"	25	N°4	4,75
3/4"	19	N°8	2,36
1/2"	12,5	N°10	2
3/8"	9,5	N°30	0,6
N°4	4,75	N°40	0,425
N°8	2,36	N°50	0,3
N°10	2	N°80	0,18
N°30	0,6	N°200	0,075
N°40	0,425	CHAROLA	
N°50	0,3		
N°80	0,18		
N°200	0,075		
CHAROLA			

Fuente: elaboración propia

- **Material y equipo**

- Tamices.
- Recipientes.
- Balanza.
- Brocha.
- Espátula.

- **Procedimiento:**

La muestra cuarteada es lavada y secada a peso constante de 110 +/- 5 °C coma se deja enfriar hasta que sea manipulable.

1. Se selecciona un juego de tamices, se ordenan en orden decreciente montados sobre el depósito receptor y provista de su tapa; las muestras finas y gruesas son tamizadas separadamente.
2. Se determina la masa de la muestra a ensayar en estado seco, la vaciamos sobre el tamiz superior y cubrimos con la tapa.
3. Agitamos y movemos cuidadosamente los tamices.
4. Se retira uno por uno los tamices y se coloca el contenido en recipientes cuidándose que no se quede ni una partícula atrapada en los tamices.
5. Se obtiene el peso del contenido en cada tamiz y se procede a registrar los datos.

### **2.1.5.3. Propiedades de consenso y origen.**

#### **2.1.5.3.1. Porcentaje de caras Fracturadas y Angularidad (ASTM D-5821).**

Este ensayo cubre la determinación del porcentaje de agregados que presentan una o más caras producidas por fractura puede ser por chancado o machaqueo.

El ensayo considera caras por fracturas las partículas que presentan aristas vivas y caras irregulares producto del rompimiento natural o artificial de partículas más grandes, de ser necesario por irregularidades de este. Se toma un promedio de las tres mediciones.

- **Material y equipo**

- Balanza.
- Tamices.
- Recipientes.
- Muestra de agregado.

- **Procedimiento:**

El agregado con fracturas producidas por la chancadora debe tener un 25% o más del área de superficie para ser Clasificada de esta forma.

1. Se separa la muestra será ensayada.
2. Se extiende el contenido en un recipiente como por inspección visual se separan las partículas con caras fracturadas que no ofrezcan dudas de su apariencia de las que no presentan caras fracturadas, en otro sector se colocan las partículas que presentan dudas.

#### 2.1.5.3.2. *Porcentaje de partículas planas y alargadas (ASTM D-4791)*

Este ensayo cubre la determinación del contenido de partículas planas y alargadas en los agregados gruesos, limitándose a un máximo de 15%.

El ensayo se basa en considerar como planas y alargadas las partículas cuya longitud excederá en 3 veces su espesor y cuando sea necesario por irregularidad de este, se tomará el promedio de 3 mediciones.

**Tabla6.**

*Preparación de la muestra.*

Tamiz de abertura, (mm) (plg)		Pesos de las Fracciones (kg)
Que pasa	Retenido	
50 (2")	38,1 (1 ½")	5
38,1 (1 ½")	25,00 (1")	4
25,0 (1")	19,00 (¾")	1
19,0 (¾")	12,50 (½")	0,7
12,5 (½")	9,50 (⅜")	0,3
9,5 (⅜")	4,75 (Nº4)	0,25
en caso de mezclas de agregados grueso y fino, el material será separado por el tamiz Nº4		

Fuente: Tomada de Guía de ensayos, Cerruto 2015.

- **Material y equipo**

- Balanza.
- Tamices.
- Recipientes.
- Vernier
- Horno

- **Procedimiento:**

1. Se pesa una muestra seca y se registra el peso inicial ( $P_i$ ).
2. Se extiende el contenido en un recipiente, por inspección visual se separan las partículas planas y alargadas en un sector, de las que no tienen forma de partículas planas y alargadas y en otro sector se colocan las partículas que se tengan dudas.
3. Se mide con el vernier las partículas que fueron seleccionadas como planas y alargadas, para sacar dudas.
4. Pesamos el total de las partículas de cada grupo, registramos datos.

**2.1.5.3.3. *Equivalente arena del agregado fino (ASTM D-2419; AASHTO T176-00; ABC A0509).***

Este ensayo sirve como un método rápido de campo, para investigar la presencia o ausencia de finos, que pueden ser perjudiciales para los agregados pétreos dentro de la estructura de un pavimento.

- **Material y equipo**

- Muestra de arena (2.0 kg).
- Probeta graduada.

- Solución dispersante (cloruro de calcio anhidrido diluida con agua destilada).
- Embudo.
- Irrigador.
- Tapón o corcho.

- **Procedimiento:**

1. Se coloca la solución disgregante en una probeta hasta el nivel de 100 +/- 5mm.
2. Se llena una medida; se deja que asiente el material golpeando el fondo de la medida contra la mesa de trabajo cuatro veces, enrase y vierta en la probeta.
3. Se golpea firmemente el fondo de la probeta contra la palma de la mano para que salgan todas las burbujas. Dejar en reposo la probeta por 10 minutos.
4. Se coloca el tapón y agitamos la probeta para que suelte la arena. Para agitar la probeta debe estar en posición horizontal y se agita moviendo de forma lineal de un lado al otro durante 30 segundos.
5. Colocamos la probeta en la mesa y lavamos las paredes.
6. Con el irrigador movemos todo el material del fondo de la probeta.
7. Llenamos con la solución a este nivel final de la probeta. Dejamos reposar durante 20 minutos.
8. Se registra el nivel superior de arcilla (Nt) y el nivel superior de arena (Na).

**2.1.5.3.4. Resistencia a la degradación del agregado grueso, por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles (ASTM E-131; AASHTO T96-99; ABC A0511).**

Este ensayo es la medida de la degradación de los agregados minerales de graduación normal resultado de una combinación de acciones que incluye la abrasión o el desgaste, impacto, y trituración en un tambor de acero rotatorio que contiene un número especificado de esferas de acero, el número de esferas depende de la graduación de la muestra de ensayo.

La pérdida de material o desgaste, se expresa como el porcentaje de pérdida del peso de la muestra respecto al peso inicial. Este ensayo nos da una indicación de la resistencia estructural del agregado, su dureza y tenacidad.

El procedimiento consiste en colocar en una máquina rotatoria la muestra de agregado preparada de acuerdo a su composición granulométrica, esferas de acero en función a la carga abrasiva requerida y someterla a giro por 500 revoluciones. La muestra es seleccionada de acuerdo a la siguiente tabla;

**Tabla7.**  
*Gradación y peso de la muestra.*

Tamaño de tamiz				Gradación y peso de la muestra			
Pasa		Retenido		A	B	C	D
38,10 mm	1 1/2 "	25,0 mm	1"	1250+/-25			
25,0 mm	1"	19,0 mm	3/4"	1250+/-25			
19,0 mm	3/4"	12,50 mm	1/2"	1250+/-10	2500+/-10		
12,50 mm	1/2"	9,50 mm	3/8"	1250+/-10	2500+/-10		
9,50 mm	3/8"	6,30 mm	1/4"			2500+/-10	
6,30 mm	1/4"	4,75 mm	N° 4			2500+/-10	
4,75 mm	N° 4	2,36 mm	N° 8				5000+/-10
<b>TOTAL, gramos</b>				5000+/-10	5000+/-10	5000+/-10	5000+/-10
<b>Numero de Esferas</b>				12	11	8	6
<b>N° revoluciones</b>				500	500	500	500
<b>Peso de la Carga</b>				5000	4584	3330	2500

Fuente: Tomada de Guía de ensayos, Cerruto 2015.

- **Material y equipo**

- Máquina de los ángeles (tambor de acero).
- Tamices.
- Balanza.
- Esferas de acero.
- Horno.
- Muestra de agregado.

- **Procedimiento:**

1. Se pesan los tamaños de las fracciones correspondientes al grado elegido de acuerdo a la tabla 7, anteriormente mostrada.
2. Se coloca la masa inicial en la máquina de Los Ángeles y se ensaya de acuerdo al grado elegido (número de esferas y revoluciones).
3. Una vez completado el número de revoluciones se saca el material de la máquina.
4. Se separa la carga abrasiva del material obtenido en el ensayo.
5. Se tamizar a el material en el tamiz N° 8 y N° 12.
6. Se reunirá todo el material retenido en ambos tamices, si lavará y se secará a peso constante en el horno a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ , se dejará enfriar a temperatura ambiente.
7. Se pesa y se registra los datos obtenidos.

#### 2.1.5.4. Propiedades gravimétricas.

##### 2.1.5.4.1. *Peso específico y absorción del agregado grueso (ASTM E- 127; AASHTO T85-91; ABC A0519).*

Este ensayo establece los procesos para la determinación del peso específico y absorción del agregado grueso, el peso específico puede ser expresado como peso específico de la masa, el peso específico de la masa (saturado -superficie -seca SSS) y la absorción se obtiene con agregados previamente remojados por 24 horas. El peso específico permite conocer los volúmenes compactados del agregado. La absorción está íntimamente relacionada con la porosidad interna de los granos del agregado.

Se determina el peso de una muestra en condiciones seca y SSS, luego se determina su volumen por diferencia entre los pesos al aire ambiente y sumergido en agua. Conocidos el peso y el volumen se calcula los pesos específicos y la absorción de agua.

- **Material y equipo**

- Balanza.
- Canastillo para sumersión.
- Tanque de agua.
- Recipiente.
- Horno.
- Muestra de agregado.

- **Procedimiento:**

1. La muestra limpia seca peso constante el horno a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ , luego se deja enfriar hasta que se pueda manipular.
2. La muestra es sumergida a temperatura ambiente por 24 horas.

3. Se extrae la muestra, y se seca superficialmente con un paño.
4. Se determina el peso, posteriormente la muestra se coloca en el canastillo porta muestra a  $20 \pm 3$  °C durante 3 minutos. Se anota el dato.
5. Se retira la muestra del canastillo y se seca la muestra peso constante en el horno a  $110 \pm 5$  °C.
6. Se deja enfriar entre una y tres horas, se anota el peso final.

***2.1.5.4.2. Peso específico y absorción del agregado fino (ASTM E-128; AASHTO T84-00; ABC A0520).***

Este ensayo establece los procesos para la determinación del peso específico de la masa, el peso específico de la masa (saturado- superficie -seca SSS) o peso específico aparente. El peso específico de la masa SSS y la absorción se obtienen con agregados remojados en agua por 24 horas.

Se determina el peso de una muestra en condiciones seca y SSS, luego se determina su volumen como el peso del agua desplazada por el agregado sumergido en un matraz aforado. Conocidos el peso y el volumen se calculan los pesos específicos y la absorción de agua.

- **Material y equipo**

- Balanza.
- Picnómetro.
- Tamices.
- Recipiente.
- Horno.

- Muestra de agregado.

- **Procedimiento:**

1. Se elimina el exceso de agua con cuidado de no ocasionar pérdidas, revolvemos la muestra para asegurar un secado uniforme.
2. Se llenó parcialmente el picnómetro con agua y se introduce 500 gramos de agregado fino saturado-superficie-seca SSS.
3. Llenar hasta 2/3 del picnómetro con agua y agitar suavemente.
4. Golpear contra la palma de la mano hasta que salgan todas las burbujas de aire. Dejamos reposar por una hora
5. Llenamos con agua hasta la capacidad del picnómetro. determinamos el peso total del picnómetro, muestra y agua.
6. Quitamos el agregado fino del picnómetro evitando pérdidas y secamos hasta un peso constante en el horno a  $110 \pm 5$  °C.
7. Dejamos enfriar a temperatura ambiente de una a 2 horas y se anota el peso final.

**2.1.5.4.3. Densidad de masa (peso unitario) y vacíos del agregado (ASTM C-29).**

Este ensayo determina la densidad de masa en condición compactada o suelta y de los vacíos en los agregados. El peso unitario en determinado estado de compactación permite transformar peso a volumen o viceversa. Relacionando con el peso de la masa permite conocer el grado de compacidad o porcentaje de huecos que posee el agregado.

Se vierte el agregado de un recipiente con capacidad volumétrica conocida, luego se determina el peso del agregado que viene a la medida, se obtiene el peso unitario dividiendo el peso del agregado entre la capacidad volumétrica.

- **Material y equipo**

- Balanza.
- Pisón.
- Pala o cucharón.
- Recipiente.
- Muestra de agregado.

- **Procedimiento:**

1. Llenar el recipiente en 3 capas de espesores aproximadamente iguales, dejando en la última un pequeño exceso.
2. Nivelar la superficie con los dedos y compactar cada capa con 25 golpes.
3. Al apisonar la primera capa debe evitarse golpear el fondo, y las otras capas deben comportarse con la fuerza necesaria para penetrar hasta la primera capa.
4. Se tiene que eliminar el exceso empleando una regla.
5. Se termina y se registra el peso en kilogramos del agregado compactado.

## 2.2. CEMENTO ASFALTICO.

### 2.2.1. Generalidades.

El cemento asfáltico es un material bituminoso de color marrón oscuro o negro que se encuentra en la naturaleza o es producido por destilación del petróleo.

El cemento asfáltico fue utilizado por los sumerios para impermeabilizar sus embarcaciones hace 6000 años A.C. Los hindús lo utilizaron en la construcción de grandes

baños públicos hace 3000 años A.C. Los egipcios también lo utilizaron como impermeabilizante, en la momificación y construcción de edificios. En 1802 D.C. En Francia se emplea roca asfáltica para pavimentación de suelos, puentes y aceras. Luego en 1938 en Filadelfia se emplea roca asfáltica importada en la construcción de aceras. Aproximadamente 1870 se realiza la construcción del primer pavimento asfáltico en Newark, Nueva Jersey por el profesor E.J. de Smedt, químico belga.

A temperatura ambiente el cemento asfáltico negro, pegajoso, semi sólido y altamente viscoso. Este es resistente y durable con excelente adhesividad y características a prueba de agua, altamente resistente a la acción de ácidos, álcalis y sales; puede ser mezclado con agregados para la producción de mezclas asfálticas en caliente, su propiedad de adhesividad facilita la unión con el agregado que después de ponerlo a temperatura ambiente, las mezclas asfálticas en caliente son un muy fuerte material de pavimento que pueden soportar el tráfico pesado.

El asfalto cambia su comportamiento dependiendo de la temperatura y el tiempo de la aplicación de la carga. Es más duro a bajas temperaturas y más blando a altas, por esto, se debe seleccionar el tipo de asfalto más conveniente dependiendo del clima del sitio de colocación.

### **2.2.2. Definición.**

Según la ASTM, el asfalto es un material aglomerante, sólido o semisólido de color oscuro que varía de negro a pardo oscuro, que se licúa gradualmente al calentarse, constituido principalmente por mezclas de hidrocarburos que se dan en la naturaleza en forma sólida o semisólida, o se obtienen de la destilación del petróleo, o combinación de

ambos, frecuentemente acompañado de sus derivados no metálicos, tanto gaseosos, líquidos, semisólidos o sólidos y que son completamente solubles en sulfuro de carbono.

### 2.2.3. *Proceso para la obtención de cemento asfáltico.*

La obtención el cemento asfáltico se hace a través del petróleo crudo que es extraído de los pozos, éste es separado en una refinería; Principalmente esta separación es llevada a cabo por destilación. Después de la separación los constituyentes son refinados más cuidadosamente o procesados en productos que cumplan requerimientos específicos, de esta manera se obtiene el asfalto productos de la refinación del petróleo, dependiendo de la naturaleza del crudo que está siendo procesado. El cemento asfáltico es obtenido como producto residual del petróleo crudo.

Es importante mencionar que existen 2 grandes fuentes que proporcionan asfalto en gran cantidad coma cómo se presenta a continuación:

- **Asfaltos naturales:** depósitos geológicos del lago, asfaltos en roca y arena.

**Tabla8.**

*Fuentes de Asfaltos Naturales.*

Origen Natural	Ubicación
ASFALTO DE LAGO	Lago de arena Isla de Trinidad
	Lago Bermúdez Venezuela
	Lago asfaltites o Mar muerto Palestina
ROCAS ASFALTICAS	Gilsonita Utah, USA
ARENAS ASFALTICAS	Syncrude Fort Memurray Alberta Canada
	Pozos de la Brea Los Angeles California

Fuente: Tomada de Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezcla asfáltica en caliente, (Cortez & Guzman Hugo),

**Figura 1**  
*Lago de Asfalto en Bermúdez Venezuela*



Fuente: Tomada de [www.geologiaymapas.com](http://www.geologiaymapas.com), (marcoah, 2021)

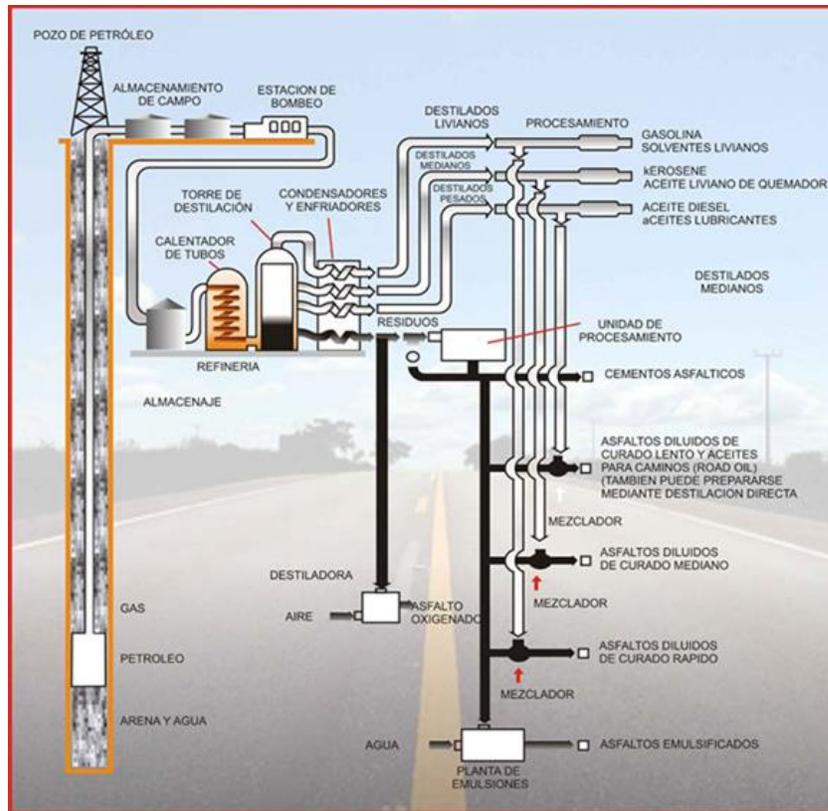
**Figura 2**  
*Pozo de Brea en Los Ángeles California*



Fuente: Tomada de [www.istockphoto.com](http://www.istockphoto.com), (NNehring, 2019)

- **Asfaltos destilados del petróleo:** derivados de la destilación crudos:

**Ilustración 1**  
*Proceso de destilación del petróleo*



Fuente: Tomada de Diagrama de flujo para asfaltos de petróleo, (Petroperu, 2021)

El cemento asfáltico de petróleo compuesto casi enteramente por betún, presenta una buena reacción en mezclas asfálticas, de manera que:

- Proporciona una buena unión y cohesión entre agregados, incrementando por ello la resistencia con la adición de espesores relativamente pequeños.
- Es resistente a la acción mecánica de disgregación producida por las cargas aplicadas, gracias a la flexibilidad dada en la estructura.
- Impermeabiliza la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de las precipitaciones.

#### *2.2.4. Composición química del asfalto.*

El asfalto está compuesto por una mezcla de hidrocarburos de diversos tipos cuyos componentes principales son el carbono (82 -87%), hidrogeno (9 -11%) y en mucha menor proporción oxígeno (0,2 -0,8%), azufre (0,9 -5,5%), nitrógeno (0,2- 1,2%) y metales pesados como el níquel (0,4 -110ppm) y vanadio (4-1400ppm), todos de diferente peso molecular, soluble en sulfuro de carbono.

El cemento asfáltico está compuesto por asfáltenos, resinas, aromáticos y saturados. Los asfáltenos proporcionan la dureza del asfalto las resinas son los que aglutinan los asfáltenos, brindando la capacidad de liga. Los aromáticos y saturados son aceites, que le dan la consistencia para que sean trabajadores.

#### *2.2.5. Clasificación del asfalto según su uso en pavimentos.*

Estos asfaltos se clasifican:

- Cemento asfáltico (CA).
- Asfaltos líquidos.
- Emulsiones asfálticas.
- Asfaltos oxidados o soplados.
- Cemento asfáltico polimerizado.

##### **2.2.5.1. Asfalto proveniente del petróleo**

Estos asfaltos son designados por la letra CA, es un producto homogéneo y refinado, es una combinación de asfalto refinado y aceite fluidificante de consistencia apropiada para trabajos de pavimentación.

Se divide según su dureza o consistencia, que se mide en el ensayo de penetración medidos a 1/10 mm, valor que es inverso a la dureza.

- CA 40-50 (Mastic para sellado de juntas de pavimento en H°).
- CA 60-70 (en concreto asfáltico).
- CA 85-100 (En concreto asfáltico).
- CA 120-150 (Tratamientos superficiales).

#### 2.2.5.2. Asfaltos líquidos

Estos asfaltos están compuestos por una base asfáltica y un fluidificante volátil que puede ser diésel, kerosene, aceite o agua con emulsificador. El emulsificador se agrega con el propósito de dar al asfalto la viscosidad necesaria para mezclarlo y poder trabajar con los áridos a baja temperatura. Luego de ser mezclados el fluidificante se evapora dejando el residuo asfáltico que envuelve y cohesiona las partículas. De acuerdo al fluidificante se tienen las siguientes clasificaciones.

- Asfaltos diluidos de curado rápido (RC)- Rapid curing. A la designación se le agrega un número que indica el grado de viscosidad cinemática medida en centistokes.
- Asfaltos diluidos de curado medio (MC)- Medio curing.
- Asfalto diluido de curado lento (SC)- slow curing. Actualmente su uso se ha discontinuado pues como fluidificante tenía el aceite que es poco volátil.

**Figura 3.**

*Asfalto liquido usado en un Riego de Liga.*



Fuente: Tomada de [www.tiposde.es](http://www.tiposde.es), (Guerrero, 2019)

### **2.2.5.3. Emulsiones asfálticas**

Estas emulsiones asfálticas son asfaltos líquidos compuestos por:

#### **Cemento Asfáltico + Agua + Agente Emulgador**

Este tipo de asfalto diluido difiere de los otros pues no tiene como fluidificante a otros derivados del petróleo sino el agua como ambos componentes.

De acuerdo con el agente emulsificante, estos pueden conferir a las partículas cargas eléctricas positivas o negativas. Las fuerzas de repulsión generadas por las cargas eléctricas mantienen a las partículas dispersas.

Se entiende por ruptura la separación de las dos fases de emulsión. Ocurre cuando la emulsión se deja en reposo, permitiendo que los glóbulos de la fase dispersante entren en contacto, formando partículas mayores, con volumen mayor y superficie de contacto menor. Cuando la emulsión es aplicada sobre la superficie de los agregados, el ligante asfáltico tiende a coagular, en la que parte del agua es absorbida por el agregado y la otra parte restante se evapora por la acción de intemperie y por reacciones químicas,

rompiéndose el equilibrio y dándose así la separación de fases dejando sobre el agregado una película de asfalto.

En cuanto al tiempo de rotura, las mezclas asfálticas se clasifican en: rotura rápida (R R); rotura media (RM) y rotura lenta (RL).

Algunos factores que pueda retardar la ruptura de las emulsiones son: el empleo de un asfalto de alta viscosidad, pequeñas concentraciones de asfalto; empleo de una elevada cantidad de emulsificante; empleo de emulsificante aniónico; uso de agregado húmedo y de pequeña superficie específica; temperatura baja de los agregados y de la emulsión; y ausencia o poca agitación de las mezclas emulsión - agregado.

**Ilustración 2**  
*Producción de una Emulsión Asfáltica.*



Fuente: Tomada de [www.es.slideshare.net](http://www.es.slideshare.net), (Sulca, 2013)

#### 2.2.5.4. Asfaltos oxidados o soplados.

Estos son asfaltos sometidos a un proceso de deshidrogenación y luego a un proceso de polimerización. A elevada temperatura se le hace pasar una corriente de aire con el objetivo de mejorar sus características y adaptarlos a aplicaciones más especializadas. El proceso

de oxidación produce en los asfaltos las siguientes modificaciones físicas: - Aumento del peso específico. Aumento de la viscosidad.

#### 2.2.5.5. Cementos asfálticos polimerizados

Son Cementos asfálticos, que son modificados con; elastómeros o plastómeros.

- **Elastómeros:** son polímeros de respuesta elástica (caucho, SBS, SBR, Isopreno).
- **Plastómeros:** registran el asfalto ofreciendo resistencia, como consecuencia no son deformables elásticamente (PVC, EVA).

#### ➤ **Asfaltos modificados con polímeros tipo elastómeros.**

Se requiere mezclar 3 componentes: asfalto, resina base y un endurecedor, lo que complica la modificación ya que debe existir compatibilidad entre estos.

Los asfaltos modificados tienen una elevada resistencia mecánica, gran resistencia a la tracción como buen poder humectante y adhesión a los agregados. Si el trabajo con este tipo de asfalto y realizado dentro de los parámetros correctos, su tiempo de vida está condicionado por la vida del agregado, no por el asfalto; en otras palabras, el pavimento se deteriora por trituración o abrasión del agregado antes que por la falla del ligante. Su resistencia al envejecimiento es excelente.

- **Látex, hule natural, SBS, SBR:** este tipo de polímero es el más utilizado en la modificación del asfalto, el efecto de la adición de estos al asfalto es aumentar su intervalo de plasticidad y disminuir la susceptibilidad térmica. El punto de ablandamiento puede

aumentar hasta 20 °C, a temperaturas inferiores a 70 °C los asfaltos tienen menor penetración, esto es interesante ya que a estas temperaturas se dan las deformaciones en las superficies de rodamiento.

Los asfaltos son más duros, pero siguen siendo elásticos lo que evita la formación de roderas y el agrietamiento de las mismas. La rigidez de estos asfaltos ayuda a soportar los largos tiempos de carga sin deformaciones.

- **Hule de Llanta:** las propiedades que adquiere el asfalto al añadirse este tipo de hule son similares a las que se obtiene con el polímero SBR o SBS, aunque, se deben utilizar dosificaciones más elevadas. Las llantas para ser utilizadas como agentes modificadores de asfalto requieren de un proceso físico para reducir sus dimensiones, el cual suele ser complejo.

- **Asfaltos modificados con polímeros tipo plastomeros.**

Debido a la forma en que estos polímeros se incorporan al asfalto aumentan de forma considerable su viscosidad, incluso en bajas dosificaciones.

Si se aumenta la concentración del polímero como se llega a un punto en el cual la mayoría de los aceites están asociadas con el polímero y se produce un cambio drástico en las propiedades físicas del asfalto. Estas se acercan más a la propiedad del polímero que a las del asfalto. Esto sucede cuando el contenido del polímero es de 8 a 10%, en este punto

como el asfalto aumenta el intervalo de plasticidad, aumenta la resistencia a la ruptura, disminuye su sensibilidad térmica sobre todo en el intervalo de temperaturas de aplicación.

- **Polietileno:** este polímero no tiene una alta compatibilidad con el asfalto ni le confiere propiedades espectaculares, pero se usa ya que es un componente de bajo costo y soluciona un problema ecológico como al poder disponer de los desechos de este material en las carreteras.
- **PVC:** este polímero tiene baja compatibilidad con el asfalto, no es resistente al calor y se descompone por la acción de la luz solar. Resiste muy bien al agua y/o agentes químicos; es por esto que no es utilizado para la modificación de asfalto.
- **EVA:** los polímeros o resinas, etilo-vinil, son relativamente nuevos en la modificación de asfaltos, son muy compatibles con estos.

#### *2.2.6. Propiedades del cemento asfáltico.*

Las propiedades físicas más importantes de cemento asfáltico, que se tienen en cuenta en el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras son:

- **Durabilidad:**

Indica que tanto permanecen en un cemento asfáltico sus características cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento.

- **Adherencia y cohesión:**

La diferencia es la capacidad del cemento asfáltico para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación. Cohesión es la capacidad del cemento asfáltico de mantener firmemente, en su puesto, las partículas de agregado en el pavimento terminado.

- **Consistencia:**

Para caracterizar a los asfaltos es necesario conocer su consistencia a distintas temperaturas, porque son materiales termoplásticos que se licuan gradualmente al calentarlos. Consistencia es el término usado para describir el grado de fluidez o plasticidad del asfalto a cualquier temperatura dada. Para poder comparar la consistencia del cemento asfáltico con otros Cementos asfálticos, es necesario fijar una temperatura de referencia.

- **Pureza:**

El cemento asfáltico se compone, casi enteramente de betunes, los cuales, por definición, son solubles en bisulfuro de carbono. Los asfaltos refinados son, generalmente como más de 99.5% solubles en bisulfuro de carbono y por lo tanto casi betunes puros.

Normalmente, el cemento asfáltico, cuando deja la refinería está libre de agua o humedad, pero puede haber humedad en los tanques de transporte, si hay agua inadvertida como puede causar espumas asfalto cuando se calienta por encima de los 110 °C.

- **Susceptibilidad térmica:**

Todos los asfaltos son termoplásticos, esto es, que se vuelven más duros (mayor viscosidad) a medida que su temperatura disminuye, y más blandos (menor viscosidad) a medida que su temperatura aumente. Esta característica se conoce como susceptibilidad a la temperatura, y es una de las propiedades más valiosas en un asfalto. La susceptibilidad a la temperatura varía entre asfaltos de petróleo de diferente origen, aún si los asfaltos tienen el mismo grado de consistencia.

- **Seguridad:**

El cemento asfáltico, si se lo somete a temperaturas suficientemente elevadas, desprende vapores que arden en presencia de una chispa o llama. La temperatura a la que esto ocurre es más elevada que la temperatura normalmente usada en las operaciones de pavimentación. Sin embargo, para tener la certeza de que existe un adecuado margen de seguridad, se debe conocer el punto de inflamación del asfalto.

### *2.2.7. Ensayos y especificaciones técnicas del cemento asfáltico.*

#### **2.2.7.1. Propiedades de origen.**

##### *2.2.7.1.1. Ensayo de peso específico (ASTM D71-94; AASHTO T229-97; ABC A0102)*

Por medio distinto a ellos se determina la densidad de los materiales bituminosos.

La densidad de un producto bituminoso es la relación del peso de un volumen determinado del material al peso de igual volumen de agua destilada sin gas, estando ambos materiales a temperaturas especificadas que generalmente es a 25 °C.

- **Material y equipo**

- Picnómetro de vidrio de 24 a 30 ml.
  - Baño de agua capaz de mantener una temperatura constante de ensayo con una tolerancia de 0,1 °C.
  - Termómetro graduado en 8 °C de 32 °C.
  - Balanza.
  - Agua destilada.
  - Muestra bituminosa.
- **Procedimiento:**
    1. Se debe pesar el picnómetro vacío con su tapa teniendo cuidado que esté seco y limpio. Se debe llenar el picnómetro con agua destilada recién hervida, y seguido se sumergió el picnómetro completamente en un baño de agua destilada a una temperatura de 25 °C, por un periodo de 30 minutos, cumplido el tiempo indicado se debe retirar el picnómetro del baño de agua secar superficialmente con un paño y pesarlo.
    2. Se debe tener cuidado de no introducir burbujas al momento de colocar el material bituminoso en el picnómetro donde será llenado hasta la mitad. El tapón debe ser firmemente colocado, se debe esperar un cierto tiempo para que la muestra enfríe a temperatura ambiente, y se lo pesa juntamente con el tapón.
    3. En el espacio restante del picnómetro se introduce agua destilada recién hervida se coloca el tapón. Se sumerge el picnómetro en el baño de agua destilada recién hervida, manteniendo a 25 °C por un

periodo de 30 minutos. Cumplido el tiempo se seca el pino metro para luego ser pesado.

### 2.2.7.2. Propiedades de consistencia.

#### 2.2.7.2.1. Ensayo de penetración (ASTM D-5; AASHTO T49-97; ABC A0103)

Este método es muy empleado para medir la consistencia o dureza relativa de los Cementos asfálticos sólido o semisólido, así como para efectos de clasificación de los Cementos asfálticos.

La penetración de un material bituminoso es la distancia en décimas de milímetros que una aguja patrón penetra en una muestra de material bituminoso, en condiciones específicas de carga, tiempo y temperatura.

La penetración de un betún asfáltico decrece a medida que su peso específico aumenta y endurece al crecer su peso específico, pero la ley que relaciona ambas características, varía para cada tipo de betún.

- **Material y equipo:**

- Penetrómetro, con un peso total con aguja de peso (2,5 g) de 50 g y pesas adicionales de 50 y 100 g, para obtener cargas totales de 100 y 200 gr respectivamente. La tolerancia en los pesos es de más menos 0,05 g.
- Aguja de penetración de acero inoxidable, según AISI 40-C, el extremo inferior tiene el diámetro reducido simétricamente terminado en una punta tronco cónica. El conjunto de aguja más la cubierta metálica debe tener un peso de 2,5 g. De largo tendrá 50 mm y de diámetro 1,00 a 1,02 mm.

- Recipiente metálico de dimensiones definidas.
  - Baño de agua con capacidad de 10 L y una parrilla perforada situada a 5 cm del fondo, con una temperatura de 25 °C.
  - Termómetro graduado.
  - Cronómetro.
  - Muestra bituminosa.
- **Procedimiento:**
    1. Se debe calentar la muestra hasta que se torne fluida, teniendo cuidado de no quemar la muestra. Se debe evitar introducir burbujas al momento de colocar la muestra bituminosa en el recipiente metálico de penetración.
    2. Se debe dejar la muestra a temperatura ambiente para que se enfríe por un tiempo de 90 minutos, una vez cumplido el tiempo se debe colocar en el baño María por un tiempo de 90 minutos, después se debe sacar la muestra para llevarlo al penetrómetro esta debe estar en un recipiente con agua, para que no se enfríe bruscamente, una vez instalado el sistema se debe hacer la primera lectura con la ayuda del cronómetro se controlará el tiempo. Por lo menos se debe hacer 3 lecturas.

**2.2.7.2.2. *Ensayo de viscosidad cinemática a 135 °C (ASTM D 2170; AASHTO T201-01; ABC A0108)***

Este ensayo permite determinar la viscosidad cinemática de materiales bituminosos, todos a 60 °C y de Cementos asfálticos a 135 °C, los resultados de este método pueden usarse

para calcular la viscosidad cuando la densidad del material a la temperatura de ensayo es conocida o puede determinarse.

- **Material y equipo:**

- Viscosímetro.
- Termómetro.
- Baño con líquido viscoso.
- Cronómetro.
- Muestra de cemento asfáltico.

- **Procedimiento:**

1. Se calienta la muestra aproximadamente 20 ml a temperatura de  $135 \pm 5$  °C agitando suavemente.
2. Se seleccionó el viscosímetro, verificamos que esté limpio, precalentamos e introducimos la muestra.
3. Se enciende el baño con el líquido viscoso a 135 °C.
4. Una vez establecida la temperatura, introducimos el disco si m en el baño con el líquido viscoso.
5. Se controla hasta que la muestra llegue al primer menisco y empezamos a cronometrar el tiempo.
6. Ese cronómetro el tiempo que tarda en llegar el primer menisco al segundo, y del segundo al tercer menisco.
7. Se nota los datos de los tiempos medidos.

*2.2.7.2.3. Ensayo de viscosidad dinámica a 60 °C (ASTM D-2171; AASHTO T202-91; ABC A0109)*

Este ensayo permite determinar la viscosidad cinemática de materiales bituminosos mediante viscosímetros capilares de vacío de 60 °C. Debido a que los asfaltos a la temperatura de 60 °C tienen viscosidades elevadas para fluir por gravedad a través de tubos capilares, se hace necesaria la aplicación de vacío, para que en estas condiciones el mismo pueda fluir a través de los capilares.

- **Material y equipo:**

- Viscosímetro.
- Termómetro.
- Baño con líquido viscoso.
- Cronómetro.
- Muestra de cemento asfáltico.
- Sistema de vacío.

- **Procedimiento:**

1. Se calentó la muestra aproximadamente 20 ml a temperatura de 135 + -5 °C agitando suavemente.
2. Se seleccionó el viscosímetro de vacío, verificamos que esté limpio y precalentamos durante 10 minutos.
3. Se coloca la muestra del material bituminoso en el viscosímetro de vacío.
4. Se enciende el baño con el líquido viscoso a 60 °C.

5. Una vez establecida la temperatura, introducimos el viscosímetro de vacío más la muestra y dejamos reposar durante 30 minutos en el baño con líquido viscoso.
6. Se enciende el sistema de vacío y se controla hasta que la muestra llegue al primer menisco. Se empieza a cronometrar el tiempo.
7. Se cronometra el tiempo que tarda en llegar del primer menisco al segundo, y del segundo al tercer menisco.
8. Se anotan los tiempos como datos del ensayo.

**2.2.7.2.4. Ensayo de viscosidad rotacional brookfield (ASTM D 4402; AASTHO TP-48; ABC A0115).**

Este ensayo nos permite medir la viscosidad aparente del material bituminoso desde 60 °C a 200 °C, usando el viscosímetro rotacional equipado con el sistema thermosel. Los valores medidos mediante estos procedimientos se utilizan para desarrollar los diagramas temperatura – viscosidad, los que son utilizados para estimar las temperaturas de mezclado y compactación a utilizar durante el diseño de las mezclas asfálticas en caliente.

El coeficiente de viscosidad es la razón entre el esfuerzo de corte aplicado y la tasa de corte, en una medida de la resistencia del líquido a fluir. El ensayo se realiza a diferentes temperaturas que son: 135, 145, 155 y 177 °C.

- **Material y equipo:**
  - Viscosímetro rotacional.
  - Vástagos.
  - Controladores de temperatura.
  - Cronómetro.

- Muestra de cemento asfáltico.
- Horno.
- Termómetro.
- Balanza.
- **Procedimiento:**
  1. Se enciende el viscosímetro rotacional y se controla la temperatura.
  2. Se precalienta la muestra de material bituminoso, el soporte y el vástago.
  3. Se coloca la muestra en el vástago, y este a la vez en el viscosímetro rotacional como se deja que se estabilice la temperatura.
  4. Se configura la velocidad y temperatura de ensayo, se inicia el ensayo.
  5. Se realiza 3 lecturas de viscosidad a intervalos de 3 minutos.
  6. Se repite el procedimiento para las otras temperaturas.

**2.2.7.2.5. Ensayo de punto de ablandamiento (ASTM D 36; AASHTO T53-96; ABC A0110).**

Este método describe el procedimiento para la determinación del punto de ablandamiento del material bituminoso dentro del rango de 30 °C a 175 °C.

El punto de ablandamiento anillo y bola es la temperatura leída en el momento que una esfera metálica estándar, atraviesa el anillo también estándar lleno del material bituminoso y toca una placa de referencia después de haber recorrido una distancia de 25,4 mm de acuerdo a las condiciones especificadas.

- **Material y equipo:**

- Anillo, de latón.
  - Esferas de acero con un peso de 3,50 G.
  - Recipiente, vaso precipitado aproximadamente de 300 mililitros.
  - Soporte que mantiene fijo a los anillos y al termómetro.
  - Termómetro.
  - Fuente de calor.
  - Vaso precipitado.
  - Muestra bituminosa.
  - Líquido del baño, etileno glicol, de punto de ebullición entre 193 °C a 204 °C.
- **Procedimiento:**
    1. Primeramente, se debe calentar la muestra bituminosa hasta que se encuentre fluida. La placa debe ser superficialmente majada con la amalgama, colocamos los anillos sobre la placa, seguidamente se debe colocar dentro los anillos el material bituminoso, teniendo cuidado de no introducir burbujas.
    2. Se deja enfriar a temperatura ambiente por un tiempo de 30 minutos y enrazar con una espátula superficialmente caliente.
    3. Se debe montar el aparato, colocando las guías de las bolas sobre los anillos he introducido el conjunto en el vaso a una temperatura de 5 °C por unos 15 minutos, después se debe colocar el vaso y el equipo sobre la fuente de calor, si no llegara a cumplir esto se debe regular la fuente de calor, y rápidamente accionar el cronómetro y revisar

que suba 20 °C en un minuto si llega a cumplir, se prosigue con el ensayo en caso de que no cumpla se aborta el ensayo.

#### 2.2.7.2.6. *Ensayo de ductilidad (ASTM D-113; AASHTO T51-00; ABC A0105)*

La ductilidad es la distancia, en centímetros a la que se romperá el material bituminoso, en condiciones estándar.

Se termina el alargamiento máximo expresado en centímetros que experimenta el betún al ser estirado en condiciones normalizadas a 25 °C y una velocidad de 5 cm/min. El valor obtenido de ductilidad de la velocidad a que se produce el alargamiento, cuanto mayor es, menor la adaptación y mayor la tendencia a la rotura.

Los materiales bituminosos con ductilidad elevadas son susceptibles a los cambios de temperatura. La curva de utilidad temperatura debe tener una forma tal que el máximo de tu calidad coincida con la temperatura media a la cual es sometido el material bituminoso.

- **Material y equipo:**
  - Molde de latón.
  - Placa de latón.
  - Baño de agua.
  - Termostato.
  - Máquina de ensayo ductilímetro.
  - Termómetro.
  - Horno eléctrico para calentar la muestra.
  - Glicerina.
  - Talco.
  - Material bituminoso.

- **Procedimiento:**

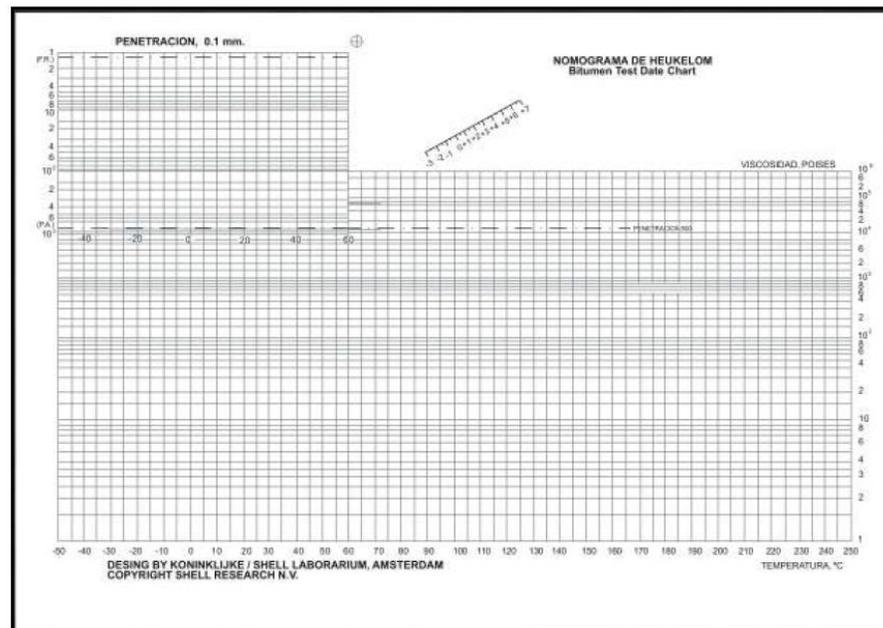
1. Se debe preparar los moles de latón y colocarlo sobre la placa de latón, pero antes ésta debe ser amalgamada con talco y glicerina para evitar que se pegue la muestra.
2. Se calienta la muestra a peso constante en el horno a  $110 \pm 5$  °C y se vierte dentro del molde.
3. Se deja enfriar a temperatura ambiente durante 30 a 40 minutos, se enrasa con una espátula caliente y luego se coloca en el baño de agua.
4. El baño de agua debe estar a 25 °C, una vez colocada la muestra se deja reposar durante 85 a 95 minutos.
5. Pasado ese tiempo se levantan los moldes de la placa de latón y se colocan en los anillos de cada extremo de los clips en las clavijas del dúctilímetro. Estos se irán separando a velocidad uniforme hasta la ruptura de las viñetas creadas con los moles.
6. Se mide la distancia en centímetros a la que se rompen las briquetas.

**2.2.7.2.7. Método para determinar el índice de penetración (UNE 104-281; ABC A0112)**

Este ensayo describe el procedimiento a seguir para la determinación del índice de penetración, IP, de los materiales bituminosos. Se calcula a partir de los valores de penetración, punto de ablandamiento anillo- bola y viscosidad como proporciona un criterio de medida de la susceptibilidad de estos materiales a los cambios de temperatura y de su comportamiento reológico.

- **Material y equipo:**
  - Datos de penetración.
  - Datos de punto de ablandamiento de anillo y bola.
  - Datos de viscosidad.
  - Nomograma de heukelom.
- **Procedimiento:**
  1. Se grafica los puntos de penetración, punto de ablandamiento y viscosidad en la ilustración 3, con estos datos trazamos una recta.
  2. Se traslada a la recta de forma paralela hasta el punto ubicado en la parte superior del diagrama.
  3. La intersección de esta última recta con la escala de índice de penetración nos da el valor de IP.

**Ilustración 3**  
*Nomograma de Heukelom*



Fuente: Tomada de ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS, Manual de ensayos de suelos y materiales asfaltos vol. 4, 2010.

### 2.2.7.3. Propiedades de seguridad del cemento asfáltico.

#### 2.2.7.3.1. *Ensayo de punto de inflamación y combustión (vaso abierto de Cleveland) (ASTM D1310-01; AASHTO T79-96; ABC A0106).*

Este ensayo nos permite determinar los puntos de inflamación y de combustión de los materiales bituminosos. El punto de encendido es la menor temperatura en que se produce una llama libre, provocada por la inflamación de los vapores de la muestra por el paso de una llama piloto. El punto de combustión es la temperatura en que la muestra después de la inflamación por el paso de la llama piloto, continúa quemándose por 5 segundos como mínimo.

- **Material y equipo:**

- Vaso abierto de Cleveland.
- Termómetro.
- Malla.
- Calentador.
- Copa de ensayo
- Aparato sujetador de la copa de ensayo.
- Muestra de cemento asfáltico.

- **Procedimiento:**

1. Se arma el aparato sobre una mesa niveladora, de forma que permita el paso de la llama piloto.
2. Se lava la copa de ensayo y colocamos las muestras hasta el menisco que está en la parte superior.

3. Se aplica calor con la llama piloto, y vamos controlando con el termómetro.
4. Se pasa la llamada a través del centro de la copa una y otra vez.
5. El punto de inflamación es la lectura cuando aparece el destello en cualquier punto de la superficie del material
6. El punto de combustión es la temperatura en la que se inflama la superficie por 5 segundos como mínimo.
7. Se anotan las temperaturas como datos de ensayo.

#### 2.2.7.3.2. *Ensayo de la mancha (AASHTO T102-83; ABC A0104).*

Este ensayo se aplica a materiales bituminosos derivados del petróleo, no debe aplicarse materiales que contengan materias no bituminosas insolubles en xileno.

A los materiales que mediante el uso del solvente normalmente se clasifica como positivos cómo se puede determinar su grado de positividad por medio del equivalente de xileno. Este será el menor porcentaje por volumen de xileno en un solvente compuesto de xileno nafta normal de oxilo y heptano normal, el cual produce una Mancha negativa para el material bituminoso. El porcentaje de xileno en los solventes se va agregando en incrementos de 5% respecto de la mezcla.

- **Material y equipo:**

- Xileno.
- Heptano.
- Frascos de 50 ml.
- Papel filtro.
- Corcho.

- Muestra de cemento asfáltico.

- **Procedimiento:**

1. Se empieza una muestra de 2 gr y la introducimos en el frasco cuidadosamente.
2. Con la pipeta introducimos en el frasco 20% de xileno y 80% de heptano.
3. Se tapa con el corcho el frasco y se quita hasta que se diluya completamente.
4. Con ayuda de la pipeta hacemos gotear en el papel filtro.
5. Sí deja que seque a temperatura ambiente, si la gota forma una mancha circular café, con un sólido oscuro o núcleo anular en el centro, el ensayo se reporta como positivo. Sí la mancha circular es uniforme, café se reporta como negativa.

En caso de ser positiva se repite el ensayo incrementando en 5% el porcentaje de xileno.

**2.2.7.3.3. Ensayo de solubilidad de materiales bituminosos (ASTM D 2042; AASHTO T44-97; ABC A0107).**

Este método cubre la determinación de los grados de solubilidad del asfalto en el tricloroetileno o tricloroetano teniendo o no un poco de material mineral. La muestra es disuelta en tricloroetileno o tricloroetano infiltrado a través de un papel filtro, el material insoluble es lavado, secado y pesado.

- **Material y equipo:**

- Crisol gooch.

- Balanza.
  - Solvente (tricloroetileno, tricloroetano).
  - Papel filtro.
  - Frasco Erlenmeyer de 125 ml.
  - Matraz fijador.
  - Corcho.
  - Muestra bituminosa.
- **Procedimiento:**
    1. Se pesa una muestra de 2 gr. y lo introducimos en el frasco Erlenmeyer.
    2. Con la pipeta agregamos 100 ml de tricloroetileno o tricloroetano, agitamos hasta que se disuelva.
    3. Se tapa con el corcho y lo dejamos reposar.
    4. Se pesa el crisol vacío, y colocamos el papel filtro.
    5. Se pasa la muestra por el crisol alma 3 fijado, con cuidado de no hacer rebalsar.
    6. El crisol lo hacemos secar a peso constante en el orden  $110 \pm 5$  °C durante 20 minutos, retiramos la muestra y se deja enfriar.
    7. Se pesa el crisol con el papel filtro y la muestra retenida.
    8. Se anotan los valores como datos del ensayo.

#### 2.2.7.4. Propiedades de durabilidad del cemento asfáltico.

##### 2.2.7.4.1. Ensayo de película delgada (ASTM D1754 y AASHTO T179-05).

El ensayo TFOT (Thin Film Oven Testing) o ensayo de película delgada en horno, nos permite determinar el efecto de calor y aire sobre materiales bituminosos, los efectos de este tratamiento son determinados por la medida de las propiedades asfálticas antes y después del ensayo.

Indica la susceptibilidad aproximada de la dureza o pérdida de la utilidad de material bituminoso, durante el mezclado en una mezcladora a una temperatura cercana a los 150 °C. Si la temperatura fuera menor el endurecimiento en el mezclador y el cambio en la ductilidad, deben ser menores que el cambio en el horno; si se usa una mayor temperatura de mezclado, cambios mayores pueden ocurrir en la dureza y ductilidad.

- **Material y equipo:**

- Horno (ASTM E 145)
- Plato giratorio.
- termómetro.
- Platos.
- Muestra de cemento asfáltico.

- **Procedimiento:**

1. Se calienta la muestra bituminosa.
2. Se pesan los 6 platos sin la muestra como luego se agrega 50 gr de muestra a cada plato.
3. Se calienta el horno a 163 °C, con ayuda del termómetro se controla la temperatura durante el ensayo.

4. Se colocan los platillos en el plato giratorio y por 5 horas se mantiene la temperatura.
5. Al concluir el periodo de calentamiento, se retira las muestras del horno y se deja enfriar a temperatura ambiente.
6. Se pesa cada platillo y se anota los valores.
7. Se coloca durante 15 minutos los platillos para luego retirar la muestra.
8. La muestra se la coloca en recipientes previamente preparados, con la ayuda de una espátula se raspa.
9. Se calientan estos recipientes nuevamente en el horno como luego de 20 minutos aproximadamente se coloca la muestra en los recipientes de utilidad y penetración.
10. Se realizan los ensayos de penetración y ductilidad por métodos correspondientes.

#### *2.2.7.4.2. Ensayo de ductilidad sobre el residuo de película delgada.*

Este ensayo permite determinar la longitud en centímetros, a la cual se alarga una muestra de material bituminoso sometido a desgaste.

- **Material y equipo:**
  - Moldes.
  - Baño de agua.
  - Ductilímetro.
  - termómetro.
  - Platillos.

- **Procedimiento:**

1. Se preparan los moldes para realizar el ensayo, la placa base se amalgama con una mezcla de talco y glicerina.
2. Se coloca la muestra en los 2 moldes, se deja a temperatura ambiente durante 30 minutos a 40 minutos como luego con una espátula caliente se retira el exceso.
3. Se coloca la placa y los moldes en el baño de agua a 25 °C durante 90 minutos.
4. Pasado este tiempo se coloca los moldes en el ductilímetro, y se inicia el ensayo.
5. Se controla la distancia de rotura hasta que termine el ensayo.

#### 2.2.7.4.3. *Ensayo de penetración sobre el residuo de película delgada*

Este ensayo determina la dureza, mediante la penetración de un material bituminoso sometido a desgaste.

- **Material y equipo:**

- Penetrómetro.
- Aguja de penetración.
- Baño de agua.
- termómetro.
- Cronometro.
- 2 muestras de cemento asfáltico.

- **Procedimiento:**

1. Se preparan 2 muestras para realizar el ensayo.

2. Se coloca la muestra en los 2 recipientes, de forma que llegue hasta su tope de los recipientes.
3. Con la ayuda del calor retiramos el aire de las muestras, pasando de un extremo al otro.
4. Se deja enfriar a temperatura ambiente durante 30 minutos, y luego se introduce al baño de agua.
5. En el baño de agua a 25 °C dejamos la muestra durante 90 minutos.
6. Se colocó la muestra en el transportador de capsula y éste en un vaso precipitado manteniendo la temperatura del agua.
7. Se posiciona la aguja, y se inicia el ensayo.
8. Se controla la penetración en un minuto con la ayuda del cronómetro, con un mínimo de 3 penetraciones.
9. Se anota los valores obtenidos como datos del ensayo.

### **2.3. Investigación de la fibra natural de la totora (*Schoenoplectus Tatora*)**

#### **2.3.1. Introducción**

En todo el mundo durante años la construcción de capas de rodadura en los pavimentos asfálticos se ha realizado mediante mezclas asfálticas que, sometidos a las diferentes demandas de tránsito, agentes atmosféricos, gradientes térmicos y el empleo de materiales de baja calidad presentan fallas estructurales que inciden en el comportamiento eficaz del pavimento.

La utilización de fibras como adición en las mezclas asfálticas es una alternativa que inicia un proceso tecnológico, planteando a este material otro uso con un comportamiento positivo para disminuir las deformaciones y daños de los pavimentos con

el beneficio de obtener periodos de diseño mucho mayor que de los pavimentos convencionales.

### 2.3.2. Clasificación de fibras.

Los estudios con fibras tienen por objetivo el conocer la influencia que éstas tendrían sobre las propiedades ingenieriles, es decir que no producen una respuesta inconveniente ante los principales deterioros de un pavimento de carretera. Dentro de las fibras utilizadas se puede diferenciar 2 grandes grupos: fibras minerales orgánicas, en ambos casos la mezcla tiene una adherencia adecuada.

**Tabla9**

*Clasificación de Fibras.*

FIBRAS	TIPOS
ARTIFICIALES	FIBRAS DE VIDRIO FIBRAS ACRILICAS SUELTA DE POLIPROPILENO FIBRAS DE TERLENKA
ORGANICAS	FIBRAS DE COCO FIBRAS DE BAMBU FIBRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.3. Fibra natural de totora (*Schoenoplectus Tatora*).

La totora es una planta de raíz acuática que crece en lagos y pantanos, con una longitud promedio de 3,5m y diámetro de 2,5 cm, su crecimiento es muy rápido y por lo tanto su capacidad de renovación, pudiendo volver a cosecharse cada seis meses. Cuenta con una estructura porosa al interior, formado por cámaras de aire como una esponja, que la vuelve un material muy liviano y con propiedades aislantes (Hidalgo, 2007).

La totora crece de manera silvestre en lagos, lagunas, pantanos y en el mar, también puede ser cultivada por el hombre en lugares donde esta se ha perdido.

La especie más común conocida como totora es la “Schoenoplectus” o “Scirpus Californicus”, pero en realidad existen una amplia gama de plantas de raíz acuática, que tienen características muy similares y han sido incluso utilizadas de la misma manera.

**Figura4**  
*Planta de la totora “Schoenoplectus tatora” en el lago Titicaca*



Fuente: Tomada de [www.Mapio.net](http://www.Mapio.net), (Zamprogno, s.f.)

Últimamente las fibras han sido utilizadas para mejorar diferentes tipos de materiales de construcción como la fibra de acero, vidrio, asbesto, polipropileno, entre otros son alternativas viables pero costosas, mientras que la fibra natural puede ser una

alternativa ideal para los países en desarrollo como el nuestro, ya que se encuentra en grandes cantidades y representa una fuente renovable (Herrera & Polo, 2017).

El uso de fibra vegetal ya ha sido probado en otras investigaciones, que en algunos casos incrementa las propiedades mecánicas de resistencia en el concreto. (Quilluya & Flores, 2019).

La totora hace parte de las fibras de rápido crecimiento y cuyo hábitat es un ecosistema que presenta beneficios colaterales, la explotación de la totora es una alternativa sostenible que puede reemplazar otros productos de mayor impacto.

Las fibras de totora han sido ampliamente aplicadas en fabricaciones de estructuras, muebles y construcciones; sin embargo, no se ha desarrollado un material compuesto que mejore sus propiedades.

**Figura 5**  
*Fibra natural de Totora.*



Fuente: Tomada de Tesis aprovechamiento de la totora como material de construcción (Hidalgo J. , 2007).

#### **2.3.4. Morfología de la totora (*Schoenoplectus totaro*).**

Para la descripción morfológica de la totora se utilizará la siguiente tabla:

**Tabla10**

*Morfología de la Totora (Schoenoplectus tatora).*

<b>MORFOLOGIA DE LA TOTORA</b>	
<b>Rizoma</b>	Posee un tallo grueso con hojas escamosas que crecen bajo tierra, tiene una textura esponjosa de color rojo oscuro.
<b>Hojas</b>	Las hojas de la totora se forman a nivel del nacimiento de los tallos y en forma de vaina lo rodean en la base.
<b>Inflorescencia</b>	La parte alta de la planta presenta una inflorescencia en umbela, con umbelillas dispuestas en sus ejes terminales
<b>Flores</b>	Presentan flores completas; sus verticilos externos están compuestos por cuatro escamas que hacen las veces de perigonio haploide.
<b>Tamaño</b>	La totora es una hierba acuática perenne, que puede llegar a medir hasta 4 m de altura, de los cuales al menos la mitad está sumergida bajo el agua y la otra parte se halla por encima de la superficie.

Fuente: Tomada de “Caracterización experimental de las propiedades mecánicas del tejido múltiple de totora”, Universidad técnica del norte, (Aza, 2016)

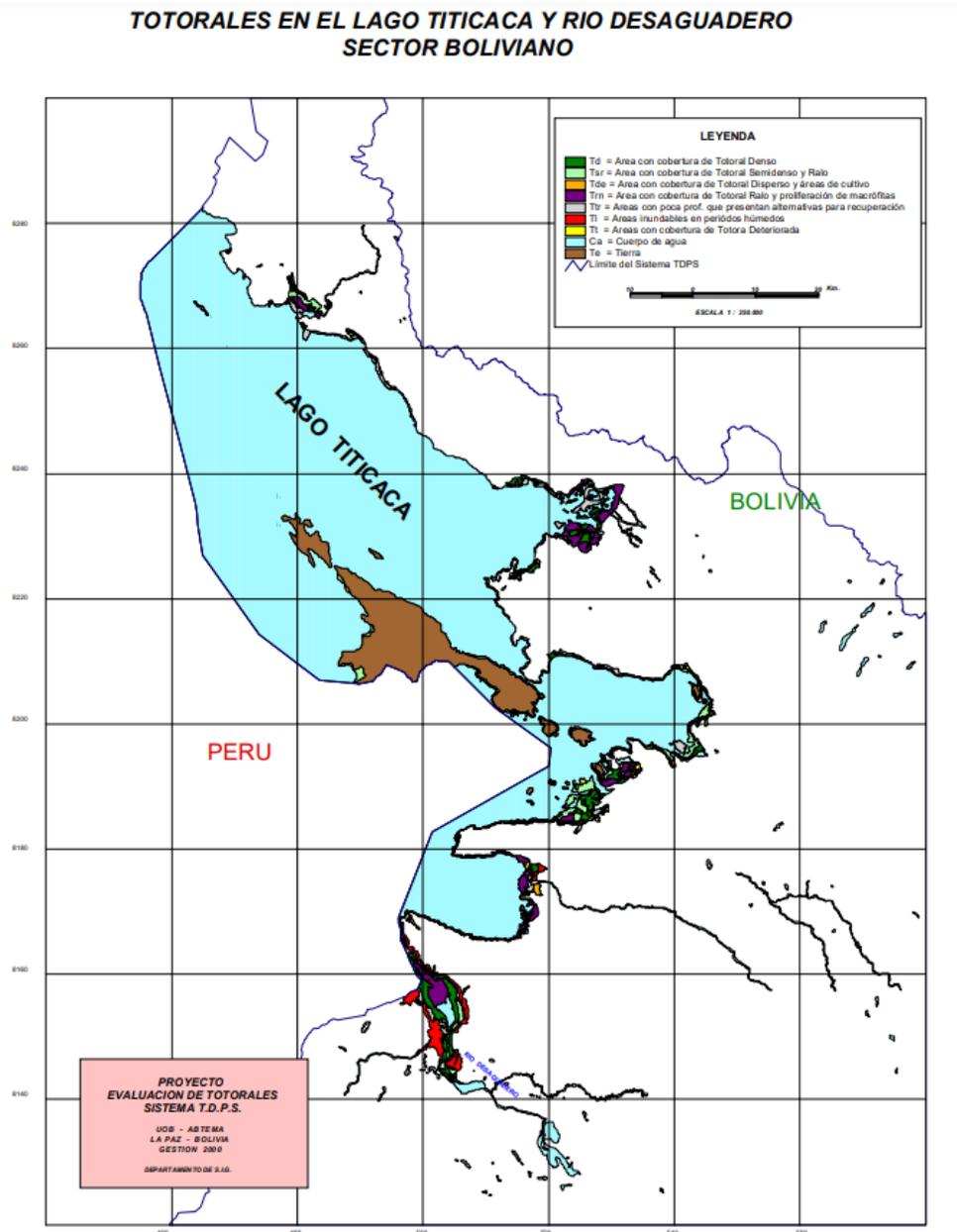
- **Tallo:** la totora es una especie vegetal que de acuerdo a su desarrollo tiene una parte del tallo fuera del agua (tallo aéreo) y la otra parte sumergida dentro del agua. (tallo subterráneo o sumergido en el agua). El tallo aéreo llega a alcanzar alturas de 2 a 4 m, conformado por un tejido esponjoso que en el interior contiene aire la que favorece el frotamiento en el agua. Los tallos aéreos nacen de la parte superior del rizoma en forma de un cilindro cortical de poco espesor denominado propiamente “totorá” de forma circular, algunas veces triangular en la parte superior.

Es de esta parte de la planta que se obtendrá la fibra natural de totora que se implementará en el presente proyecto, haciendo un tratamiento previo para su obtención que se describirá más adelante con más detalle.

2.3.5. *Obtención de la planta totora (Schoenoplectus tatora).*

Existen varias fuentes de totora o “totorales” en Bolivia, pero la mayor fuente de totora en el departamento de La Paz se encuentra a orillas del lago Titicaca como se puede observar en la siguiente imagen:

**Figura 6**  
*Totorales en el lago Titicaca y rio desaguadero sector boliviano*



Fuente: Tomada de (Asociación Boliviana de Teledetección Para el Medio Ambiente, 2000)

La planta de totora fue recolectada en la localidad de Huatajata a orillas del lago Titicaca en la provincia Omasuyos, esta localidad se encuentra aproximadamente a unos 80 km de la ciudad de El Alto.

**Figura 7**

*Alcaldía de la Localidad de Huatajata La Paz Bolivia*



Fuente: Elaboración propia

Se la recolecto de forma manual cortando la parte superior del tallo (tallo aéreo) y se procedió a recolectarlo en bolsas plásticas como se pueden observar en las siguientes imágenes.

**Figura 8**

*Recolección de la planta de Totora*



Fuente: Elaboración propia

### 2.3.6. *Aplicación de la totora (Schoenoplectus tatora)*

Son diversos los usos de la totora, en nuestro país se utiliza de la siguiente manera:

- En las áreas rurales los pobladores la utilizan como forraje o como material para la construcción de techos y trenzados para amarrar.
- Una de las aplicaciones en el lago Titicaca es la construcción de casas sobre balsas de hojas de la misma totora.
- Se aplica a la fabricación de papel de manera artesanal, y a elementos decorativos como bolsos o adornos.
- La fibra de totora también sirve para la construcción de balsas de gran tamaño que sirven para la navegación, pesca y turismo en el lago Titicaca, ya que la fibra por tener vacíos en el interior de su tallo es de densidad baja y flota en el agua.
- Según algunos estudios demostraron que la totora tiene una buena capacidad de remoción de contaminación del agua, por lo que se emplea en plantas de tratamientos de aguas residuales en zonas rurales (PELT-ADESU, 2001).

## 2.4. Mezclas asfálticas.

### 2.4.1. *Introducción.*

Las mezclas asfálticas asumen un papel muy importante y fundamental en los pavimentos flexibles. Están formadas por una combinación de agregados y asfalto, está constituido aproximadamente por un 90% de agregado grueso finos, un 4% de polvo mineral (filler) y otros 6% de cemento asfáltico, esta mezcla bituminosa debe ser realizada en proporciones exactas, ya que ésta será sometida a un proceso de compactación, que hace que estas mezclas tengan propiedades resistentes al desgaste producido por los vehículos

y a su vez pueda traspasar las sollicitaciones del peso de ellos hacia abajo absorbiendo una cantidad apreciable de esta sollicitación.

En las mezclas asfálticas se busca obtener el mejor comportamiento posible entre estabilidad y durabilidad, en consecuencia, se toman los siguientes aspectos:

- La influencia del tamaño de los agregados es inversamente proporcional a su área superficial específica y ésta a su vez es directamente proporcional a la cantidad de asfalto utilizada en la mezcla asfáltica. Al utilizar mayor cantidad de agregado fino se requiere más asfalto al contrario del agregado grueso.
- La estabilidad se efectúa a través de su fricción interna y está a la vez es función del tamaño del árido y de la rugosidad de sus caras. Las mezclas asfálticas con agregado grueso y de caras angulosas poseen mejor estabilidad que las mezclas con agregados finos.
- Si la mezcla asfáltica carece de estabilidad que proporcione el agregado, ésta deberá ser compensada con un mayor aporte por parte del asfalto. En consecuencia, al usar más agregados finos se tendrá que utilizar asfalto de menor penetración.
- Las mezclas asfálticas deben ser impermeables, para evitar que el agua atraviese hacia las capas inferiores ocasionando que se pierda la capacidad de soporte. No se puede eliminar todos los huecos, debido a que debe existir un cierto porcentaje de huecos para la absorción del asfalto. Si no se tuviera este porcentaje el asfalto se desplazaría a la superficie creando una película resbaladiza.
- La mezcla debe ser diseñada de forma que sea trabajable y de fácil colocación, evitando así la segregación.

### 2.4.2. Clasificación y tipología de mezclas asfálticas.

Existente diferentes tipos de mezclas asfálticas como estas se clasifican según las condiciones para las que fueron diseñadas, tomando en cuenta los siguientes parámetros como como se ve en la tabla

**Tabla11**

*Clasificación de las mezclas.*

PARAMETROS DE CLASIFICACION	TIPOS DE MEZCLAS
<b>Fracciones de agregados</b>	Masillas Mortero Concreto Macadam
<b>Temperatura de obra</b>	En frio En caliente
<b>Porcentajes de vacíos</b>	Cerradas Semicerradas Abiertas Drenantes o Porosas
<b>Tamaño máximo del agregado</b>	Gruesas Finas
<b>Estructura del agregado</b>	Con esqueleto mineral Sin esqueleto mineral
<b>Granulometría</b>	Continuas Discontinuas

Fuente: Tomada de Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente, (Cortez & Guzman Hugo).

- **Fracción de agregados.**

- **Masillas asfálticas:** básicamente están hechas de polo mineral ligante asfáltico, su composición requiere de una mayor proporción de asfalto, ya que su resistencia radica en la cohesión que proporciona la viscosidad de la masilla.

- **Mortero asfáltico:** conformado por arena, emulsión asfáltica y agregado fino de relleno mineral. Se usa para el relleno de grietas en pavimentos como para sellar superficies porosas e impermeabilizar las mismas.
- **Concreto asfáltico:** prácticamente es una mezcla en caliente, conformado por la combinación de agregado grueso, agregado fino, filler y cemento asfáltico. Utilizado para realizar pavimentos flexibles.
- **Temperatura de obra.**
  - **Mezcla asfáltica en caliente:** esta mezcla asfáltica está conformada por un 93 a 96% de material pétreo y un 6 a 7% de cemento asfáltico caliente, aproximadamente a una temperatura de 160 °C, se emplea en la construcción de carreteras.
  - **Mezcla asfáltica en frío:** por lo general está compuesto por material pétreo y ligante asfáltico. La puesta en obra tiene que ser a una temperatura ambiente, usualmente esta temperatura es de 60 °C y un volumen de vacíos mayor al 6%. Existen otras mezclas en frío cuya emulsión asfáltica es de rotura lenta, por lo que su resistencia se da de manera lenta.
- **Porcentaje de vacíos.**
  - **Mezclas cerradas:** estas mezclas se caracterizan por tener una mayor cantidad de áridos. El rango de tamaño máximo, con respecto

a su granulometría es de  $\frac{1}{2}$ " a  $\frac{3}{4}$ ", siendo su contenido de vacíos de 3% a 6% de la mezcla total.

- **Mezclas semicerradas:** estas mezclas se caracterizan por tener un contenido de árido fino. Su contenido de vacío varía entre el 6% y 12% de la mezcla total, el contenido de cemento asfáltico es de un 4,7% a 5%.
- **Mezclas abiertas:** se caracteriza por contener un alto contenido de vacíos interconectados entre sí con un porcentaje mayor al 12%.
- **Mezclas porosas o drenantes:** este tipo de mezclas tiene una cantidad de vacíos que es del 20% del mismo. Con este porcentaje de vacíos elevado a la granulometría es abierta.

Debido a su composición granulométrica, esta mezcla impide los deslizamientos que se producen en la carpeta asfáltica, ya que el agua es absorbida por la mezcla drenándola hacia los laterales de la calzada.

- **Tamaño máximo del agregado pétreo.**
  - **Mezclas gruesas:** el tamaño máximo del agregado de esta mezcla Excel  $1\frac{1}{2}$ " y su contenido es asfalto se encuentra de 3,5% a 4%.
  - **Mezclas finas:** esta mezcla está conformado por agregados finos, polvo mineral y cemento asfáltico.
- **Estructura del agregado pétreo.**

- **Mezcla con esqueleto mineral:** Estas mezclas con esqueleto mineral son resistentes, debido al rozamiento interno que será entre sus partículas.
- **Mezclas sin esqueleto mineral:** no poseen un esqueleto mineral resistente. La resistencia es exclusivamente debido la cohesión de la masilla.
- **Por la granulometría.**
  - **Mezclas continuas:** son mezclas con una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el uso granulométrico.
  - **Mezclas discontinuas:** son mezclas que presentan una discontinuidad granulométrica.

#### *2.4.3. Propiedades de las mezclas asfálticas.*

Se debe tener cuidado al momento de seleccionar los materiales que conforman la mezcla asfáltica, ya que éstos deben cumplir los diferentes requisitos y especificaciones, para el diseño de mezclas asfálticas.

El objetivo principal del diseño de la mezcla asfáltica es de garantizar que ésta posea cada una de las propiedades, que representa en términos de rendimiento del pavimento, para ser evaluadas.

- **Estabilidad**

Es la capacidad de resistir deformaciones provocadas por el tránsito vehicular. Los pavimentos sin estabilidad sufren deformaciones (ahuellamientos u ondulaciones). Los requisitos de estabilidad se pueden establecer bajo un análisis de la intensidad vehicular. La estabilidad

depende de la fricción interna de las partículas del agregado y de la cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas del agregado se desplazan una respecto a otras, debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico.

- **Durabilidad**

Es la propiedad que indica su resistencia a la desintegración debido al tránsito y agentes atmosféricos. En consecuencia, el deterioro debido al clima se basa en los cambios de las características del asfalto y agregados, sumado a la acción del agua, incluso su congelamiento y deshielo.

- **Impermeabilidad**

Es la resistencia que tiene un pavimento asfáltico a la presencia de agua y aire dentro o a través del mismo. El grado de impermeabilidad está determinada por el tamaño de los vacíos en la mezcla compactada.

La impermeabilidad al aire y agua es extremadamente importante desde el punto de vista de la durabilidad de las mezclas asfálticas.

- **Flexibilidad**

Es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se asiente a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. Una mezcla con altos contenidos de asfalto y agregados de granulometría relativamente abierta es más flexible que una mezcla densa graduada con bajos contenidos de asfaltos.

- **Resistencia a la fatiga**

Es la capacidad del pavimento asfáltico de soportar flexiones repetidas causadas por el peso transmitido a través de las cargas de ruedas. Cuanto mayor es el contenido de asfalto, mayor es la resistencia a fatiga.

- **Trabajabilidad**

Es la capacidad o facilidad con que las mezclas para pavimentación pueden ser colocadas, mezcladas y compactadas; depende del tipo de agregado y de las temperaturas de mezclado y compactado.

- **Resistencia al deslizamiento**

Es la capacidad de la superficie del pavimento asfáltico de ofrecer resistencia al resbalamiento o deslizamiento de neumáticos especialmente cuando éste, está húmedo. El agregado no sólo debe tener una superficie rugosa, sino que también debe ser resistente al pulimento.

#### *2.4.4. Relaciones volumétricas y gravimétricas en el diseño de las mezclas asfálticas.*

En este punto se realizará el análisis del comportamiento de la mezcla asfáltica en cuanto a sus proporciones volumétricas y gravimétricas, con el fin de elaborar y seguir el procedimiento del diseño de la mezcla.

El funcionamiento de las mezclas asfálticas depende de las siguientes propiedades de compactación de la mezcla, para el diseño estructural adecuado a las solicitaciones que nos presenten.

- Estimación del contenido de vacíos de aire ( $V_a$ ) en la mezcla.
- Estimación del contenido de vacíos en el agregado mineral (VAM).
- Estimación del contenido de vacíos llenos de asfalto (VFA).
- Estimación del contenido efectivo de asfaltos de la mezcla (Peb).

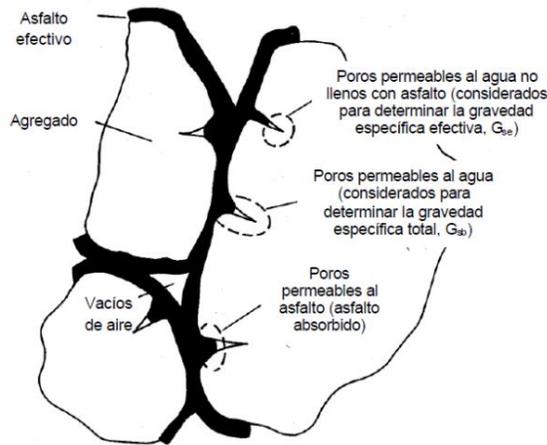
#### 2.4.5. *Análisis de pesos específicos en el agregado pétreo.*

El coeficiente de absorción de un agregado, varía según su porosidad (absorbe agua y asfalto). El coeficiente de absorción entre el agua y el asfalto varía con cada agregado. Existe para ello 3 métodos de determinar la gravedad específica del agregado.

- **Peso específico neto  $G_{sb}$ :** Se determina midiendo la masa seca y el volumen neto de la muestra de agregados. El volumen bruto incluye el volumen del sólido del agregado más el volumen de agua contenida en los poros superficiales. El volumen neto se mide para la condición del agregado saturado y superficialmente seco SSS.
- **Peso específico aparente  $G_{sa}$ :** Se obtiene midiendo la masa seca y el volumen aparente de la muestra del agregado. El volumen aparente sólo incluye el volumen del sólido del agregado y no incluye el volumen de los poros de la superficie.
- **Peso específico efectivo  $G_{se}$ :** Se calcula usando la masa así que el volumen efectivo del agregado. El volumen efectivo incluye el volumen de los sólidos del agregado y el volumen de los poros de la superficie lleno con agua, pero no con asfalto. La gravedad específica del agregado no se mide directamente, a diferencia de las gravedades específicas neta y aparente. Ésta se calcula conociendo la gravedad específica teórica máxima de la mezcla ( $G_{mm}$ ) y el contenido de asfalto ( $P_b$ ). Sólo las gravedades específicas neta y efectiva son utilizadas para el cálculo de los parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica. Los volúmenes calculados para cada uno tendrán diferentes significados y, por ende, diferentes valores numéricos.

#### Ilustración4

*Ilustración de volumen en el agregado mineral.*



Fuente: Tomada de (Instituto de Asfalto, 1996), Ecuador.

#### 2.4.6. Análisis de los componentes en la mezcla asfáltica compactada.

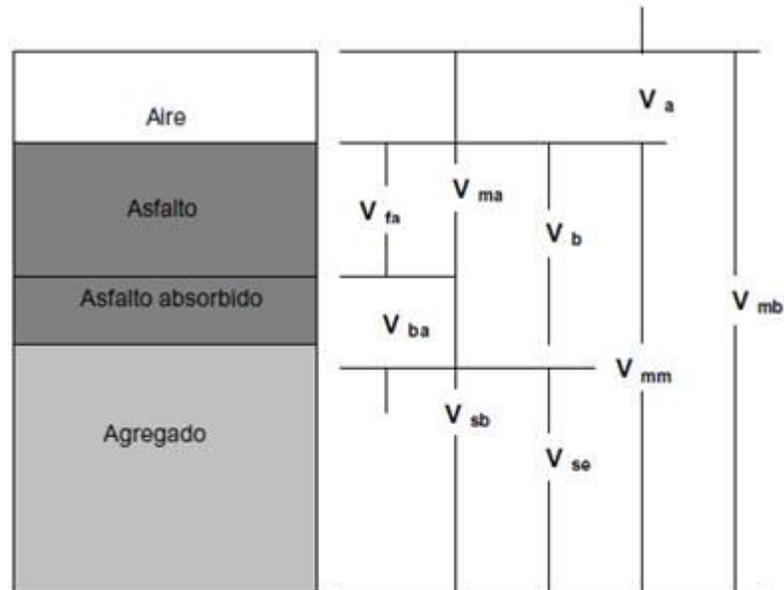
Para describir las propiedades de las mezclas asfálticas más el volumen se utilizará el diagrama de componentes. Este considera una muestra compactada, con vacíos de aire, cemento asfáltico y agregado pétreo.

El diagrama de componentes ofrece una clara definición de peso específico, esto es como el peso dividido por el volumen de material compactado. Como el modelo está compuesto de varios diferentes materiales, el peso específico de la muestra completa se llama frecuentemente “peso específico neto”. Se calcula dividiendo el peso total de la muestra por su volumen total.

Para un cierto contenido de asfalto, el máximo peso específico teórico es el peso del agregado más asfalto dividido por el volumen de ambos componentes, sin incluir el volumen de vacíos de aire, el máximo peso específico teórico es una propiedad muy útil porque puede usarse como referencia para calcular otras propiedades como el contenido de vacíos de aire.

**Ilustración5**

Diagrama de volúmenes de los componentes de una mezcla asfáltica.



$V_{ma}$  = volumen de vacíos en agregado mineral

$V_{mb}$  = volumen total de la mezcla asfáltica.

$V_{mm}$  = volumen de la mezcla asfáltica sin vacíos

$V_{fa}$  = volumen de vacíos llenados con asfalto

$V_a$  = volumen de vacíos de aire

$V_b$  = volumen de asfalto

$V_{ba}$  = volumen de asfalto absorbido

$V_{sb}$  = volumen de agregado mineral (gravedad específica de la masa)

$V_{se}$  = volumen de agregado mineral (gravedad específica efectiva)

Fuente: Tomado de Superpave Dseing.

#### 2.4.6.1. Peso específico neto de la mezcla asfáltica compactada Bulk (ASTM D1188 -D2726).

Como el modelo está compuesto de distintos materiales como la gravedad específica de la muestra compactada se llama gravedad específica neta y corresponde a la densidad de la mezcla asfáltica compactada.

#### 2.4.6.2. Peso específico teórico máximo “RICE” (Gmm) (ASTM D2041).

El peso específico teórico máximo es una propiedad muy útil porque siempre como referencia para calcular otras importantes propiedades como el contenido de vacíos de aire ( $V_a$ ). El ensayo para determinar la “Gmm” se realiza la mezcla asfáltica en su estado más suelto.

Es la relación entre la masa de un volumen dado de mezclas asfáltica sin vacíos de aire y la masa, de igual volumen de agua ambos a la misma temperatura (FHWA, 1995). También se llama peso específico Rice (densidad Rice), en reconocimiento al investigador James Rice, quien desarrolló el método de prueba.

#### 2.4.6.3. Contenido de asfalto “Pb”.

El contenido de asfalto es la concentración de masa de ligante asfáltico. Se expresa como porcentaje de la masa total de la mezcla o como porcentaje de la masa total de agregado. El contenido óptimo de asfalto es una mezcla depende en gran medida de las características del agregado como, la graduación y la absorción.

#### 2.4.6.4. Porcentaje de asfalto efectivo de la mezcla.

Es el contenido de asfalto total de una mezcla menos la proporción de asfalto absorbido en las partículas del agregado. Es la porción del contenido total de asfalto que se queda como una capa en el exterior de la partícula del agregado, y es el contenido de asfalto que gobierna el desempeño de una mezcla asfáltica.

#### 2.4.6.5. Porcentaje de vacíos de aire “VA”.

Es la concentración en volumen. Del aire en la muestra de la mezcla asfáltica compactada. Los vacíos de aire se expresan siempre como un porcentaje del volumen total de la mezcla.

#### 2.4.6.6. Cálculo de vacíos en el agregado mineral “VAM”.

Es el volumen de vacíos entre las partículas del agregado de una mezcla compactada: incluye los huecos del aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado como porcentaje del volumen total.

Se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

#### 2.4.6.7. Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA).

Corresponde a los huecos en el agregado mineral que están llenos de asfalto.

#### 2.4.6.8. Análisis del método Marshall.

La mezcla asfáltica en caliente preparada en el laboratorio debe ser analizada para determinar el desempeño posible en la estructura del pavimento. Determinando así, características principales y la influencia que estas tienen en el comportamiento de la mezcla. Las cuales se detallan a continuación:

- **Densidad:**

Está definida como su peso unitario, es decir, el peso de un volumen específico de mezcla compactada. La densidad es una característica importante para obtener un rendimiento duradero. Si la densidad es baja la cantidad de vacíos son mayores, por lo tanto, la mezcla compactada será vulnerable al agua. Si la densidad es alta la cantidad de vacíos es menor, el agua no entra en su interior obteniéndose de esta manera una carpeta de rodadura más durable. La densidad de la muestra compactada se expresa en kilogramos por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>) o libras por pie cúbico (lb/pie<sup>3</sup>), se calcula al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg/m<sup>3</sup>) o 62,416 lb/pie<sup>3</sup>).

La densidad patrón obtenida en el laboratorio se utiliza como referencia para determinar si la densidad del pavimento compactado en la obra es adecuada o no. Difícilmente en las compactaciones in situ se obtiene la densidad patrón, por lo tanto, las especificaciones permiten un porcentaje aceptable.

- **Vacíos en el aire:**

Los vacíos están presentes en los agregados revestidos de asfalto en la mezcla compactada son pequeños espacios de aire, o bolsas de aire. Es de mucha importancia que las mezclas densamente graduadas contengan determinados porcentajes de vacíos, ya que estos permiten que el asfalto fluya durante la compactación adicional debido al tráfico. El porcentaje, en muestras elaboradas en laboratorio, para capas de base y capas superficiales debe estar entre 3% y 5%. La permeabilidad de una mezcla asfáltica tiene relación con la durabilidad de un pavimento asfáltico.

A mayor permeabilidad, mayor contenido de vacíos; permitiendo pasajes a través de la mezcla del agua y el aire causando un deterioro irreversible a la carpeta asfáltica. Por otra parte, un contenido muy bajo de permeabilidad, es decir bajo contenido de vacíos, tiende a producir exudación de asfalto. La exudación consiste en que el exceso de asfalto es exprimido, o expulsado fuera de la mezcla hacia la superficie. La relación de la densidad y el contenido de vacíos demuestra que, a mayor densidad, menor porcentaje de vacíos y a menor densidad, mayor porcentaje de vacíos en la mezcla. En campo las especificaciones para la densidad requieren acomodar el menor número posible de vacíos inferior al 8%.

- **Vacíos en el agregado mineral VAM:**

Son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado y los espacios que están llenos de asfalto en una mezcla asfáltica compactada de pavimentación. Es decir, el VAM es el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. El volumen efectivo de asfalto es todo el asfalto menos la porción que se pierde como por absorción, en el agregado. Si el VAM es mayor, existirá más espacio para la película de asfalto. Hay que tener en cuenta que entre más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado se obtiene mayor durabilidad de una mezcla. Por lo anterior descrito existen valores mínimos de VAM recomendados y especificados en función del tamaño del agregado. Puede resultar que para economizar el contenido de asfalto en un diseño de mezcla disminuyendo los valores de VAM establecidos como mínimos, siendo esto completamente perjudicial y dañino para la calidad de la carpeta asfáltica, obteniéndose películas delgadas de asfalto en el agregado y una mezcla de baja durabilidad y apariencia seca.

- **Contenido de asfalto:**

El contenido de asfalto de una mezcla en particular es establecido usando los criterios descritos por el método de diseño seleccionado. El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende en gran medida de su granulometría y la capacidad de absorción del agregado. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo de

asfalto. Si en una granulometría el porcentaje de finos es considerablemente alto, el área superficial total será mayor, requiriendo así mayor cantidad de asfalto para cubrir todas las partículas. Las mezclas gruesas exigen menos asfalto debido a que el área superficial total es menor. Si a la mezcla se le agrega pequeños incrementos de filler (fracciones muy finas de agregado que pasan a través del tamiz de 0,075 mm “No 200”) existe una tendencia a absorber la mayor parte del contenido de asfalto, resultando una mezcla inestable y seca. Caso contrario al efectuar pequeñas disminuciones de filler nos da como resultado una mezcla muy rica (húmeda).

Es así que los incrementos o disminuciones de filler causan cambios en las propiedades de la mezcla, llegando a variar de seca a húmeda.

El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla.

El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película elegante efectiva sobre la superficie de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto. La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente como una característica importante en la definición del contenido de asfalto de una mezcla.

- **Vacíos llenos de asfalto VFA:**

Son el porcentaje de vacíos intergranular entre las partículas de agregado VAM que se encuentran llenos de asfalto. El VAM abarca asfalto y ahí, por

lo tanto, el VFA se calcula al restar los vacíos de aire del VAM, y luego dividiendo por el VMA, y expresado su valor como un porcentaje.

#### 2.4.7. *Consideraciones para la selección de una mezcla asfáltica.*

En este punto se debe estudiar cuidadosamente de todos los factores involucrados, a fin de garantizar un comportamiento adecuado de las mezclas asfálticas.

Las fases de las que consta el proyecto de una mezcla son:

- a) Análisis de la trabajabilidad de la mezcla.
  - Intensidad de tráfico.
  - Tipo de infraestructura (carretera, vial urbano, aeropuerto etc.).
  - Gradiente térmico.
  - Resistencia a la deformación plástica o flexibilidad.
  - Radiación solar.
  - Aguas superficiales y subterráneas.
- b) Tipo del cemento asfáltico. El tipo de cemento asfáltico dependerá de:
  - Tipo de mezcla.
  - Categoría del tráfico.
  - El clima de la zona en la que se encuentre la carretera.

#### 2.4.8. *Mezclas asfálticas convencionales*

##### 2.4.8.1. **Introducción.**

Son aquellas mezclas que no contiene ningún tipo de modificación tanto en el asfalto como en la mezcla, este es netamente diseñado con material pétreo y asfalto convencional.

##### 2.4.8.2. **Ventajas y desventajas.**

- **Ventajas:**

- Más económico en su construcción.
- Por su baja rugosidad y flexibilidad, el usuario siente mayor comodidad.
- Tiene un periodo de vida útil entre 10 a 15 años (con mantenimiento adecuado).
- Se mezcla fácilmente en planta como en obra.
- **Desventajas:**
  - Las cargas pesadas producen hundimiento, dislocamientos del asfalto, agrietamiento por temperatura, agrietamiento tipo piel de cocodrilo y el intemperismo, implican un tratamiento frecuente a base de selladores o recubrimientos superficiales.
  - Para cumplir con su vida útil requieren de mantenimiento constante.
  - Las distancias de frenado son mayores sobre el asfalto sobre todo cuando este húmedo.
  - Una vez formadas las huellas en el pavimento de asfalto, la colocación de una carpeta de asfalto sobre el pavimento no evitara que se vuelva a presentar.
  - Las huellas aparecen ante la incapacidad de lograr una compactación adecuada en las huellas que dejan las ruedas o la imposibilidad del asfalto de resistir las presiones del neumático y los volúmenes de tráfico.

#### 2.4.9. Mezclas asfálticas con adición de fibras.

##### 2.4.9.1. Introducción.

Estas mezclas asfálticas en caliente, son compuestas por su estructura granular, por un porcentaje alto de asfalto en la mezcla.

En el presente proyecto de grado, se analizará la utilización de la fibra en las mezclas asfálticas. Este estudio dedica esencialmente, a las capas finales de las secciones del pavimento asfáltico. Con la finalidad de estudiar el comportamiento exigido a la capa de rodadura, aquella que entra en contacto con los vehículos y los agentes climáticos, y que por ello, necesita de especificaciones propias de nuestro país.

La inclusión de fibras tiene por objetivo mejorar la estabilidad, fluencia y aumentar la vida útil de los pavimentos asfálticos.

##### 2.4.9.2. Ventajas y desventajas.

- **Ventajas:**

- Disminuye la formación de grietas por retracciones y contracciones.
- Las fibras se mezclan fácilmente con el asfalto, ya sea en planta o en obra.
- No es corrosivo ni magnético.
- Buena estabilidad a altas temperaturas.
- Proporciona una capa de rodadura de mayor durabilidad.
- Mejora el comportamiento ante la acción del agua.
- Mayor vida útil de 20 a 25 años.
- Mayor resistencia a la ruptura y propagación de fisuras de origen térmico.

- Estabiliza la mezcla asfáltica y evita la disgregación.
- **Desventajas:**
  - Aumenta el costo respecto al de la mezcla convencional por la adición de fibras.
  - Alto contenido de asfalto.
  - Tener más cuidado a la hora de realizar el diseño de la mezcla con adición de fibras, ya que si no se tiene un buen diseño esta podría llegar a ser perjudicial.

#### *2.4.10. Ensayos y especificaciones técnicas del diseño de mezclas asfálticas.*

##### **2.4.10.1. Procedimiento de diseño de mezclas asfálticas en caliente utilizando el método Marshall (ASTM D-1559; AASTHO T-225).**

Este método se prepara a través de un procedimiento especificado para calentar, mezclar y compactar la mezcla de agregados pétreos con el cemento asfáltico, empleando briquetas cilíndricas normalizadas de 2,5 plg de altura y de 4 plg de diámetro.

El propósito y objetivo de este método es realizar un análisis densidad, vacíos y la determinación de la estabilidad y el flujo de cada briqueta elaborada, la estabilidad se define como la máxima carga que puede resistir la briqueta normalizada y ensayada bajo las condiciones que exige el método y el flujo es la deformación total que se produce en la briqueta desde el comienzo hasta la máxima carga durante el ensayo de durabilidad.

- **Material y equipo:**
  - Baño para probetas Marshall.
  - Molde de compactación con base y collar.
  - Pistón de compactación y espátula.

- Base de compactación.
- Compactadora manual para ensayos Marshall.
- Máquina de compresión Marshall.

#### ***2.4.10.1.1. Procedimiento para la preparación de las briquetas.***

Para tener contenido óptimo de asfalto, por una mezcla definida por el método Marshall, se debe preparar una serie de briquetas con diferentes cantidades de cemento asfáltico, para el presente proyecto de grado se realiza las briquetas con los siguientes porcentajes de asfalto, para ambos casos de las mezclas asfálticas, convencionales y con adición de fibra de totora:

- Porcentaje de cemento asfáltico: 4,5% - 5,0% - 5,5% - 6,0% - 6,5% - 7,0%

La cantidad de material para cada biqueta es de 1100 gr los agregados deben estar pesados y separados en diferentes fracciones, y estar a la temperatura de mezclado. La temperatura de mezclado y compactado se lo desarrolló a detalle en el cálculo en el capítulo IV.

La biqueta será diseñada para tráfico pesado con un número de 75 golpes en el compactador manual de Marshall.

#### **2.4.10.2. Pruebas y ensayos relacionados a las briquetas.**

##### ***2.4.10.2.1. Determinación del peso específico Bulk (ASTM D-1188; AASHTO T166).***

La densidad se debe realizar cuando las briquetas hayan alcanzado la temperatura ambiente, existen 2 métodos para la realización de este ensayo, recubierto las briquetas con parafina coma sin parafina.

En esos trabajos se utilizará el segundo método, sin parafina, ya que es una mezcla cerrada las partículas están muy unidas.

- **Material y equipo:**
  - Baño de agua.
  - Balanza.
  - Termómetro.
  - Canastillo para la sumersión de la briqueta.

- **Procedimiento.**

Primeramente, se debe pesar la briqueta al aire, registrar el dato, seguidamente se procede a sumergirla en el baño de agua, se registra el tiempo en cero y a los cuatro minutos, después se la seca superficialmente y se lo pesa. Y es el mismo procedimiento para todas las briquetas.

**Ensayo de estabilidad y flujo.**

Una vez determinado la densidad de las briquetas, se realiza el ensayo de estabilidad y flujo. Se introduce las briquetas a baño María a unos 60 °C durante un tiempo de 30 minutos como mínimo y 40 minutos como máximo. Una vez cumplido el tiempo se debe colocar en la máquina de compresión Marshall, para aplicar una carga a las briquetas a una velocidad constante de 50,8 mm/minuto hasta que la briqueta se rompa. La carga máxima que tiene la briqueta al momento de romperse se denomina como estabilidad Marshall y la deformación que se presenta se lo denomina flujo Marshall, ésta se mide desde el inicio de la carga.

- **Material y equipo:**
  - Baño de agua.
  - Termómetro.

- **Procedimiento.**

- Se sumerge las probetas en el baño de agua caliente a una temperatura de 60°C manteniendo las sumergidas durante un período de tiempo comprendido entre 30 y 40 minutos.
- Las probetas ensayan aplicando las cargas en sentido diametral por medio de un dispositivo compuesto de 2 mordazas semicirculares. Se lleva el conjunto a la prensa de rotura.

*2.4.10.2.2. Determinación de peso específico teórico máximo de mezcla (ASTM D2041; AASHTO T209).*

Para la determinación de los volúmenes de los diferentes tipos de vacíos es necesario conocer previamente el valor de peso específico máximo de la mezcla sin vacíos  $G_{mm}$ , el cual se obtiene a través de la ejecución del ensayo de Rice, el que consiste en sumergir una mezcla sin compactar en un frasco de vidrio (picnómetro) aproximadamente 350 gr, y extraerle el aire mediante la aplicación de un vacío parcial, durante un tiempo de 14 minutos. El resultado del ensayo de Rice es fundamental para la correcta determinación de los valores de  $V_A$ ,  $V_{AM}$  y  $V_{FA}$ .

- **Material y equipo:**

- Baño de agua.
- Vasos precipitados.
- Balanza
- Bomba de vacío o aspirador de agua.
- Manómetro.
- Termómetro.

- Baño de agua.
- Válvula de vacío.

- **Procedimiento:**

Se debe pesar una muestra de 350 gr de la mezcla después de que la briqueta pasó por el ensayo de rotura, seguido se debe preparar agua a 25 °C y pesar 500 ml en el vaso precipitado después se debe introducir al vaso precipitado en la muestra de 350 gr, una vez preparado la muestra más el agua se debe introducir el extractor de aire por unos 14 minutos, una vez cumplido este tiempo se debe pesar el vaso precipitado junto con el agua y la muestra.

## 2.5. Pruebas de desempeño en mezclas asfálticas.

El proceso de diseño estructural de los pavimentos se basa en la determinación, en distintos puntos del pavimento de los esfuerzos críticos que son causados por fallas que permiten establecer como si los deterioros del pavimento se mantienen dentro de los límites de aceptabilidad. Si esta condición no se verifica, se debe modificar adecuadamente los espesores empleados. En general los criterios de Falla empleados son:

- La fisuración por fatiga en las capas asfálticas, limitando la deformación de tracción en la parte inferior de las mismas.
- La acumulación de deformaciones permanentes que afectan a todas las capas componentes y al suelo de cimentación.

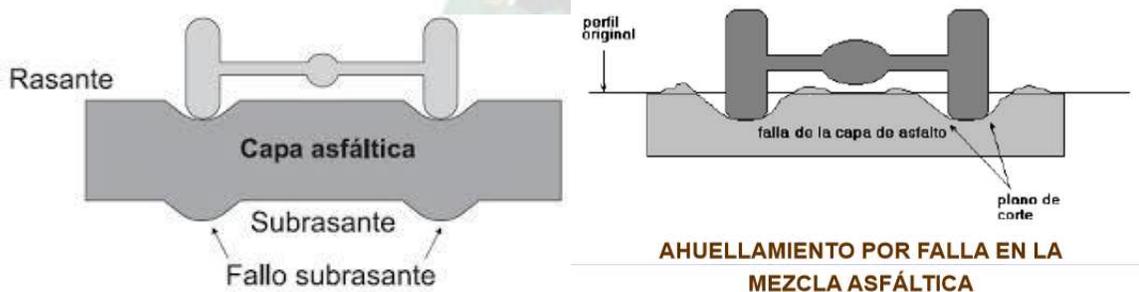
El segundo criterio de Falla conduce a la formación de ahuellamientos, comprometiendo el confort y seguridad de los usuarios. Si bien este fenómeno afecta a todas las capas de la estructura, su influencia puede ser minimizada en las capas superiores mediante una adecuada dosificación y construcción de las mismas.

### 2.5.1.1. Deformación plástica en una mezcla asfáltica.

Las deformaciones plásticas son canales que se van formando a lo largo de la trayectoria longitudinal de circulación de los vehículos, puntualmente las huellas por donde pasan los neumáticos sobre el pavimento. Representan la acumulación de pequeñas deformaciones permanentes producidas por la aplicación de carga provenientes del mismo paso de vehículos sobre la superficie del pavimento; es uno de los tipos de deterioro que más preocupa dentro del estudio del comportamiento de las mezclas asfálticas en caliente, debido a su incidencia en el camino, y su intervención como generador de accidentes (Padilla Rodríguez A. 2002).

Este tipo de fallas coma es importante que el diseño de las mezclas asfálticas resiste a las acciones dinámicas del tránsito. Las condiciones ambientales, tales como humedad y temperatura, se vuelven irrelevantes; y cobra especial importancia la intensidad del tránsito y la frecuencia del mismo. Las cargas pesadas y lentas en general las que mayor incidencia tienen, en las deformaciones plásticas; Al elevarse el tiempo de permanencia de la carga.

**Ilustración 6**  
*Distintos tipos de ahuellamiento*



Fuente: Tomada de [www.fallasenpavimentoflexible.blogspot.com](http://www.fallasenpavimentoflexible.blogspot.com), (Corredor & Corros, 2010)

### 2.5.1.2. Factores que influyen en el ahuellamiento.

Las deformaciones producidas por el tránsito o el paso de los neumáticos en condiciones normales son mínimas por lo que son despreciables, pero existen factores que tienden a

aumentar estas deformaciones en las mezclas produciendo eventualmente lo que se conoce como ahuellamiento. Estos factores son:

- Altas temperaturas.
- Cargas pesadas (sobre peso).
- Circulación a bajas velocidades.
- Grado asfáltico seleccionado.
- Agregado seleccionado (granulometría, forma, textura)

### **2.5.1.3. Ensayo para determinar la deformación en mezclas asfálticas utilizando la máquina de ahuellamiento (AASHTO TP6307; ABC A0610)**

El ensayo consiste en someter una probeta de mezcla bituminosa, al paso alternativo de una rueda en condiciones determinadas de presión y temperatura, midiéndose periódicamente en la profundidad de la deformación producida. Sirve para determinar la resistencia a la deformación plástica de una mezcla bituminosa para mezclas preparadas en laboratorio como testigos procedentes de pavimentos construidos. Se aplica principalmente a mezclas en caliente y destinadas a trabajar en condiciones severas de tráfico y clima.

- **Material y equipo:**

- **Conjunto de compactación.**

Está formado por el molde, el collarín y los cuatro angulares construidos en acero.

- **Base de compactación.**

Esta base está formada por una pieza prismática de hormigón de 60 x 60 x 20 cm como mínimo, y apoyada en una de sus caras mayores sobre un dispositivo de anclaje con amortiguación.

○ **Elemento compactador.**

La compactación de la mezcla dentro de los moles se realiza mediante una placa de acero sobre la que iban montados 2 vibradores iguales, de 9,5 kg de masa girando a la velocidad de 314 rad/s (3000 rpm), proporcionan en cada uno una fuerza centrífuga de 3 kN (300 kgf), y dispuestos ambos de forma tal que sus excéntricas giren hacia el centro de la placa.

○ **Máquina de ensayo.**

La máquina para el ensayo en pista de laboratorio, cuya forma consiste en esencia en un carretón móvil que forma rectangular, soportado en cuatro puntos por un sistema horizontal - vertical de ruedas metálicas provistas de cojinetes de bolas, capaces de deslizarse sobre unos perfiles de apoyo en forma de L. El carretón va unido mediante una excéntrica a un motor reductor que produce, al estar en funcionamiento, un movimiento alternativo horizontal de vaivén. Por encima de este carretón va situada la Rueda de ensayo, montada en un brazo sustentador formando por una pareja de perfiles en L, brazo que en uno de sus extremos va unido, mediante un cojinete horizontal, a un soporte rígido de la máquina, y con su otro extremo libre y provisto de un dispositivo para colocar las piezas que

producen las diferentes cargas sobre la rueda. El carro móvil debe disponer de los elementos necesarios para la sesión del mismo a la probeta de ensayo, llevando igualmente en uno de sus lados una superficie de medida que permita, mediante un micrómetro de esfera, solitario con la Rueda de ensayo, realizar la lectura de las deformaciones verticales que se produzcan en la probeta durante el ensayo. La Rueda de ensayo debe ser metálica y dotada de una banda de rodadura de goma maciza de 5 cm de ancho y 2 cm de espesor, con una dureza de 80 en la escala Dunlop. El mecanismo de arrastre del carro móvil debe estar diseñada para permitir una frecuencia el movimiento de vaivén de  $42 \pm 1$  pasadas por minuto y un recorrido en cada sentido de  $23 \pm 0,5$  cm.

○ **Cámara termostaticada.**

Para lograr que la temperatura sea constante durante el ensayo, se dispondrá de una Cámara que permita alojar la máquina y mantener esta temperatura durante todo el ensayo con una variación máxima de más menos  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Un modelo apropiado puede ser el fabricado con perfiles metálicos y paneles aislantes como con la forma que se muestra en la fotografía. En uno de sus frentes llevará una ventana abatible transparente para permitir durante el ensayo la lectura del micrómetro y de la temperatura. En uno de sus lados está situada la puerta de acceso de la máquina, para la colocación y extracción de

la probeta. En el interior irá colocada el elemento calefactor, con termostato regulable desde el exterior, y 2 ventiladores.

- Horno.
  - Mezcladora.
  - Termómetros.
  - Balanza.
  - Bandejas.
- **Procedimiento:**
    1. Pesar en diferentes recipientes las cantidades necesarias del agregado, obtenidas de la dosificación para la fabricación de una probeta.
    2. Calentar el agregado en el horno a una temperatura superior a unos 30 °C a la temperatura determinada para el mezclado, calentando simultáneamente el material bituminoso a la temperatura de mezcla. Al mismo tiempo calentar el molde y el collarín en el horno a una temperatura superior a unos 15 °C a la de compactación.
    3. Una vez que los materiales estén en su temperatura, se añade el material bituminoso en el agregado, mezclar hasta conseguir una mezcla homogénea; en mezclado no debe pasar los 2 minutos. (Se verificó las temperaturas obtenidas del diagrama de heukelom para mezclado y compactado).
    4. Una vez lista la mezcla, colocar el molde sobre la base de la compactación en su anclaje el molde y el collarín. Verter la mezcla

preparada en el molde, a la temperatura de compactación, evitando la segregación del material.

5. Para la compactación, colocar el elemento compactador y realizar ciclos de 75 segundos de duración por cada lado del molde, luego dejar enfriar la mezcla a temperatura ambiente durante un periodo mínimo de 12 a 24 horas antes de ensayar.
6. La temperatura normalizada para el ensayo debe ser de  $60 \pm 1$  °C para todo tipo de mezclas y son las climáticas. No obstante, pueden utilizarse otras temperaturas en estudios o ensayos especiales que así lo requieran.
7. La presión de contacto de la Rueda normalizada, ejercida por la Rueda cargada sobre la superficie de la probeta durante todo el ensayo, este  $900 \pm 25$  kN/m<sup>2</sup> ( $9 \pm 0,25$  kgf/cm<sup>2</sup>) para todo tipo de mezclas y zonas climáticas. Sin embargo, en casos especiales o cuando así se requiera, pueden utilizarse otras presiones de contacto.
8. Introducimos el molde preparado previamente antes coma en el horno a  $60 \pm 2$  °C durante cuatro horas mínimo antes de empezar el ensayo. Levantamos la Rueda y fijamos el molde con los anclajes, cargamos el brazo con las pesas necesarias para conseguir la presión necesaria sin apoyar en el molde la Rueda, colocamos el micrómetro en cero cerramos el ventanal lateral y empezamos que el ensayo durante 120 minutos sin interrupciones.
9. Durante los 120 minutos; Determinamos las deformaciones totales leídas en el micrómetro en los minutos 1,3 y 5 contados a partir del

comienzo del ensayo a continuación, cada 5 minutos hasta completar los 45 minutos y, a partir de ahí, cada 15 minutos hasta finalizar los 120 minutos de duración del ensayo.

10. Una vez terminado el ensayo tenemos detenemos la máquina, levantamos la Rueda y extraemos el molde.

#### *2.5.1.3.1. Cálculos del ensayo de ahuellamiento.*

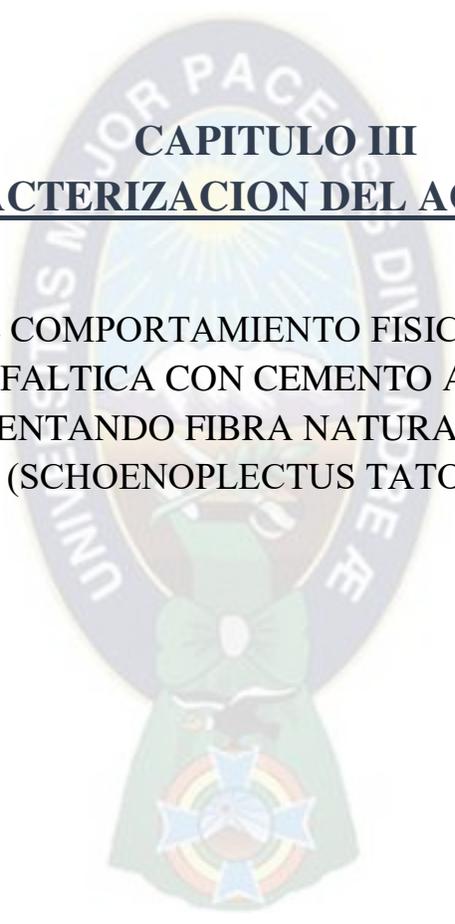
Con los valores medidos de todas las deformaciones en las diferentes probetas se grafica los resultados de Deformación - Tiempo.

A partir de las deformaciones se calcula la velocidad de deformación media correspondiente al intervalo de tiempo  $t_2/t_1$  (se expresa en  $10 - 3\text{mm/min}$ ).

Las velocidades de deformación donde se manifieste claramente el comportamiento de la mezcla en el ensayo, pueden ser:

- Velocidad en el intervalo 30 a 45 min ( $V_{d30/45}$ ).
- Velocidad en el intervalo 75 a 90 min ( $V_{d75/90}$ ).
- Velocidad en el intervalo 105 a 120 min ( $V_{d105/120}$ ).

Se considera aceptable una velocidad de deformación “Vd” menor de  $15 \mu\text{m/min}$  ( $0,0015 \text{ mm/minuto}$ ) si la temperatura de la región es mayor a  $24 \text{ }^\circ\text{C}$ , y menor de  $20 \mu\text{m/min}$  ( $0,020 \text{ mm/minuto}$ ) si la temperatura es igual o menor a  $24 \text{ }^\circ\text{C}$ .



**CAPITULO III**  
**CARACTERIZACION DEL AGREGADO**

“ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO FISICO-MECANICO DE LA  
MEZCLA ASFALTICA CON CEMENTO ASFALTICO 85-100  
IMPLEMENTANDO FIBRA NATURAL DE TOTORA  
(SCHOENOPLECTUS TATORA)”

## ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL AGREGADO.

### 3.1. Introducción.

En este capítulo se analizará los resultados obtenidos en laboratorio, de los ensayos realizados en el agregado de acuerdo a normas para garantizar un buen funcionamiento del mismo en la mezcla asfáltica.

### 3.2. Fuente de provisión de los agregados.

Los agregados fueron facilitados por la Ingeniera Patricia Velásquez, los agregados se encontraban en la Planta de asfaltos ubicada en el departamento de La Paz, ciudad de El Alto zona San Roque.

La ubicación de la planta de asfalto, se encuentra del surtidor Chuzamarca que se encuentra en la carretera a Copacabana se ingresa a mano derecha hasta la zona Pomamaya que pertenece al Distrito 9 de la ciudad de El Alto.

La procedencia del agregado es de la localidad de Vilaque, la información fue dada por el personal de la planta que se encarga de la operación de la misma.

**Figura 9**  
*Recolección del agregado fino.*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 10**  
*Recolección de agregado grueso.*



Fuente: Elaboración propia

### 3.3. Elección del agregado.

El agregado proporcionado tiene la siguiente característica:

**Tabla12**  
Descripción del agregado.

Tipo de material	Tamaño máximo nominal (TMN)	Procedencia
Grava 3/4"	3/4"	Triturado
Gravilla 1/2"	1/2"	Triturado
Arena Natural	Nº 4	Natural

Fuente: Elaboración propia.

Para el proyecto se vio la necesidad de emplear filler, el cual es necesario para poder obtener una granulometría adecuada para el diseño dicho agregado tiene la siguiente característica

**Tabla13**  
*Descripción del filler.*

Tipo de material	Tamaño máximo nominal (TMN)	Procedencia
Filler	N° 200	Chancado

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.1. *Tamaño.*

El tamaño máximo de un agregado está definido por el tamiz más reducido a través del cual pasa el 100 por ciento del material.

El tamaño máximo nominal está definido por el menor tamiz donde la mayor parte de la muestra de agregado grueso puede pasar, puede retener del 5% al 15% de la masa característica.

### 3.4. **Cálculos de los ensayos realizados a los agregados.**

#### 3.4.1. *Cuarteo de la muestra (ASTM C-702; ABC A0505).*

Este ensayo sirve para reducir el tamaño de la muestra para posteriormente tener una muestra representativa para realizar ensayos.

**Figura 11**  
*Cuarteo de la gravilla.*



Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.2. Análisis de granulometría (ASTM E-40; AASHTOO T11-96; ABC A0506).

Este ensayo determina la distribución de tamaño de las partículas del agregado grueso y fino por medio del tamizado.

**Figura 12**  
*Ensayo de granulometría.*



Fuente: Elaboración propia; laboratorio de asfaltos, I.E.M.

#### 3.4.2.1. Cálculos.

- Determinar la masa que es retenida por cada tamiz por medio de una balanza.
- Sumar los pesos retenidos en cada tamiz, la suma no debe diferir de la masa inicial registrada, para agregado fino la diferencia no debe ser mayor a 3% y para agregado grueso no debe ser mayor a 5% en caso de no cumplir se debe rechazar el ensayo.
- Calcular el porcentaje acumulado que pasa en cada tamiz.

**Tabla14**  
Análisis granulométrico Agregado Grueso – Grava.

<b>Análisis granulométrico grava</b>						
<b>Peso inicial</b>	<b>7062 g</b>					
<b>Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso Retenido (g)</b>	<b>Peso Acumulado (g)</b>	<b>Retenido Acumulado (%)</b>	<b>peso que pasa (g)</b>	<b>Total, que pasa (%)</b>
1''	25	0	0	0,00	7062,4	100,00
3/4''	19	116,1	116,1	1,64	6946,3	98,36
1/2''	12,5	3637,9	3754	53,15	3308,4	46,85
3/8''	9,5	2429	6183	87,55	879,4	12,45
N4	4,8	813,2	6996,2	99,06	66,2	0,94
N8	2,4	28	7024,2	99,46	38,2	0,54
N10	2,0	2,8	7027	99,50	35,4	0,50
N30	0,6	6,8	7033,8	99,60	28,6	0,40
N40	0,4	0,6	7034,4	99,60	28,0	0,40
N50	0,3	0,6	7035	99,61	27,4	0,39
N80	0,2	1,8	7036,8	99,64	25,6	0,36
N200	0,1	4,6	7041,4	99,70	21,0	0,30
<b>CHAROLA</b>		14,4	7055,8	99,91	6,6	0,09
<b>Suma</b>		7056 g				
<b>Pérdida</b>	7 g					
<b>Pérdida %</b>	0,09 %					

Fuente: Elaboración propia

**Tabla15**  
*Análisis granulométrico Agregado Grueso – Gravilla.*

<b>Análisis granulométrico gravilla</b>						
<b>Peso inicial</b>	<b>6072 g</b>					
<b>Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso Retenido (g)</b>	<b>Peso Acumulado (g)</b>	<b>Retenido Acumulado (%)</b>	<b>peso que pasa (g)</b>	<b>Total, que pasa (%)</b>
1''	25	0	0	0,00	6071,6	100,00
3/4''	19	20,4	20,4	0,34	6051,2	99,66
1/2''	12,5	52,4	72,8	1,20	5998,8	98,80
3/8''	9,5	948,3	1021,1	16,82	5050,5	83,18
N4	4,8	3086,9	4108	67,66	1963,6	32,34
N8	2,4	1366,6	5474,6	90,17	597,0	9,83
N10	2,0	138	5612,6	92,44	459,0	7,56
N30	0,6	348,6	5961,2	98,18	110,4	1,82
N40	0,4	25	5986,2	98,59	85,4	1,41
N50	0,3	11,6	5997,8	98,78	73,8	1,22
N80	0,2	13	6010,8	99,00	60,8	1,00
N200	0,1	17,6	6028,4	99,29	43,2	0,71
<b>CHAROLA</b>		31,4	6059,8	99,81	11,8	0,19
<b>Suma</b>		6060 g				
<b>Pérdida</b>	12 g					
<b>Pérdida</b>	0,19 %					

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla16**  
*Análisis granulométrico Agregado Fino - Arena*

<b>Análisis granulométrico arena</b>						
<b>Peso inicial</b>	<b>1529 g</b>					
<b>Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso Retenido (g)</b>	<b>Peso Acumulado (g)</b>	<b>Retenido Acumulado (%)</b>	<b>peso que pasa (g)</b>	<b>Total, que pasa (%)</b>
1''	0	0	0	0,00	1529,0	100,0
3/4''	19	0	0	0,00	1529,0	100,0
1/2''	12,5	0	0	0,00	1529,0	100,0
3/8''	9,5	0	0	0,00	1529,0	100,0
N4	4,8	0,8	0,8	0,05	1528,2	99,9
N8	2,4	226,68	227,48	14,88	1301,5	85,1
N10	2,0	151,12	378,6	24,76	1150,4	75,2
N30	0,6	676	1054,6	68,97	474,4	31,0
N40	0,4	153,4	1208	79,01	321,0	21,0
N50	0,3	117,2	1325,2	86,67	203,8	13,3
N80	0,2	105,4	1430,6	93,56	98,4	6,4
N200	0,1	60,2	1490,8	97,50	38,2	2,5
CHAROLA		9,6	1500,4	98,13	28,6	1,9
suma		1500 g				
Pérdida	29 g					
Pérdida	1,9 %					

Fuente: Elaboración propia

**Tabla17**  
*Análisis granulométrico Agregado Fino – Filler.*

<b>Análisis granulométrico filler</b>						
<b>Peso inicial</b>	<b>1350 g</b>					
<b>Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso Retenido (g)</b>	<b>Peso Acumulado (g)</b>	<b>Retenido Acumulado (%)</b>	<b>peso que pasa (g)</b>	<b>Total, que pasa (%)</b>
1''	25	0	0	0,00	1350,0	100,0
3/4''	19	0	0	0,00	1350,0	100,0
1/2''	12,5	0	0	0,00	1350,0	100,0
3/8''	9,5	0	0	0,00	1350,0	100,0
N4	4,8	0	0	0,00	1350,0	100,0
N8	2,4	0	0	0,00	1350,0	100,0
N10	2,0	0	0	0,00	1350,0	100,0
N30	0,6	0	0	0,00	1350,0	100,0
N40	0,4	0	0	0,00	1350,0	100,0
N50	0,3	84,6	84,6	6,27	1265,4	93,7
N80	0,2	246,4	331	24,52	1019,0	75,5
N200	0,1	195	526	38,96	824,0	61,0
<b>CHAROLA</b>		823,4	1349,4	99,96	0,6	0,0
<b>Suma</b>		1349,4				
<b>Pérdida</b>	0,6 g					
<b>Pérdida</b>	0,04 %					

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.3. Porcentaje de caras fracturadas y angularidad (ASTM D – 5821).

Tiene como objetivo determinar el porcentaje en peso, de una muestra de agregado que presenta una o varias caras fracturadas.

**Figura 13**

Porcentaje de acaras fracturadas y angularidad.



Fuente: Elaboración propia, laboratorio de asfaltos 2021.

### 3.4.3.1. Cálculos.

Por medio de observación se escoge las partículas que por lo menos tengan una cara fracturada, no se toma en cuenta partículas redondeadas con pequeñas fracturas.

**Tabla18**

Análisis de caras fracturadas.

<b>Cálculos y resultados del ensayo de caras fracturadas del agregado grueso Grava</b>						
<b>Tamaño del tamiz</b>		<b>Granulometría de la muestra original en por ciento</b>	<b>Peso del material con caras fracturadas en gramos</b>	<b>Peso del material con caras no fracturadas en gramos</b>	<b>Por ciento de caras fracturadas</b>	<b>por ciento de caras fracturadas corregidas</b>
<b>Pasa por</b>	<b>Retenido en</b>					
3/4''	1/2''	53,15	4480	714,35	86,25	45,84
1/2''	3/8''	30,92	2350	671,81	77,77	24,05
3/8''	N°4	11,51	908	216,87	80,72	9,29
					<b>Total</b>	<b>79,2</b>

Fuente: Elaboración propia.

Porcentaje de caras fracturadas= 79,2

**79,2% > 75% (ASTM D5821)**

### 3.4.4. Porcentaje de partículas planas y alargadas (ASTM D – 4791).

Las partículas planas y alargadas son aquellas partículas cuya dimensión última es menor a  $\frac{3}{5}$  su dimensión promedio y aquellas que son mayores a  $\frac{9}{5}$  veces la dimensión promedio.

**Figura 14**

*Porcentaje de partículas planas y alargadas.*



Fuente: Elaboración propia, laboratorio de asfaltos 2021.

#### 3.4.4.1. Cálculos.

- Índice de aplanamiento

$$IAP_{fi} (\%) = \frac{P_i}{W_i} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

$IAP_{fi}$  = índice de aplanamiento de la fracción i, ensayada

$P_i$  = peso de las partículas retenidas por el tamiz correspondiente

$W_i$  = Peso inicial de la fracción

**Tabla19***Índice de aplanamiento Agregado Grueso – Grava.*

<b>Cálculos y resultados del ensayo de índice de aplanamiento del agregado grueso Grava</b>						
<b>Peso total</b>		<b>3078 g</b>				
<b>Pasa</b>	<b>Retenido</b>	<b>Retenido parcial</b>	<b>Peso (gr)</b>		<b>Partículas irregulares %</b>	<b>Partículas corregido %</b>
			<b>Inicial</b>	<b>Irregular</b>		
3/4"	1/2"	2150	1883	267,4	14,20	9,92
1/2"	3/8"	742,2	661,6	81,2	12,27	2,96
3/8"	N° 4	123,8	99	25	25,25	1,02
					<b>Total %</b>	<b>13,89</b>

Fuente: Elaboración propia.

Índice de aplanamiento = 13,89%

**13,89% < 15% (ABC)****Tabla20***Índice de aplanamiento Agregado Grueso – Gravilla.*

<b>Cálculos y resultados del ensayo de índice de aplanamiento del agregado grueso Gravilla</b>						
<b>Peso total</b>		<b>2921 g</b>				
<b>Pasa</b>	<b>Retenido</b>	<b>Retenido parcial</b>	<b>Peso (gr)</b>		<b>%partículas irregulares</b>	<b>%partículas corregido</b>
			<b>Inicial</b>	<b>Irregular</b>		
1/2"	3/8"	743,4	702,6	41	5,84	1,49
3/8"	N°4	1991	1703,2	285,8	16,78	11,44
					<b>Total %</b>	<b>12,92</b>

Fuente: Elaboración propia

Índice de aplanamiento = 12,92%

**12,92% < 15% (ABC)**

### 3.4.5. *Equivalente arena del agregado fino (ASTM D2419; AASHTO T176; ABC A0509).*

Es un método rápido para identificar la presencia o ausencia de finos, que pueden ser perjudiciales dentro de la estructura de un pavimento.

**Figura 15**  
*Equivalente arena.*



Fuente: Elaboración propia, laboratorio de asfaltos 2021.

#### 3.4.5.1. Cálculos.

$$\text{Equivalente arena} = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} \times 100 \quad (2)$$

**Tabla 21**  
*Resumen ensayo de Equivalente Arena.*

Ensayo	
Lectura de arcilla	7,8
Lectura de arena	4,2
<b>% Equivalente arena</b>	<b>53,85%</b>

Fuente: Elaboración propia

**53,85% > 45% (ASTM D2419)**

3.4.6. *Ensayo de abrasión por medio de la máquina de los ángeles (ASTM E131; AASHTO T96, ABC A0511).*

Este ensayo nos determina la resistencia a la abrasión de los agregados gruesos grava y gravilla por medio de la máquina de los ángeles.

3.4.6.1. **Cálculos**

Para calcular el desgaste se tiene la siguiente ecuación:

$$P_{\alpha} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

$P_{\alpha}$  = Porcentaje de pérdida de peso de la muestra (%)

$P_i$  = Peso inicial, de la muestra de ensayo (g)

$P_f$  = Peso final, retenido en el tamiz de 1.7mm(N – 12) (g)

Para el ensayo se deberá identificar el grado a que pertenece la grava y la gravilla utilizando la granulometría.

**Tabla22**  
Grados de ensayo (Definidos por sus rangos de tamaño, en mm)

Tamaño de los tamices		Peso y granulometría de la muestra de prueba en gramos						
Pasa	Retiene	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	1/4"			2500				
1/4"	N°4			2500				
N°4	N°8				5000			

Fuente: Tomada de ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS, Manual de ensayos de suelos y materiales asfaltos vol. 4, 2010.

Para la grava se escoge la gradación B esto debido que la muestra tiene mayor materia representativo en los tamices correspondientes.

Para la gravilla se escoge la gradación C esto debido que la muestra tiene mayor materia representativo en los tamices correspondientes.

Para determinar el número de esferas tenemos que utilizar la tabla 23, el número de esferas está en función a la gradación escogida en la anterior tabla 22.

**Tabla23**  
*Numero de esferas en función a la gradación.*

Grados	Número de esferas	Peso de las cargas en gramos
<b>A</b>	12	5000±25
<b>B</b>	11	4584±25
<b>C</b>	8	3330±20
<b>D</b>	6	2500±15
<b>E</b>	12	5000±25
<b>F</b>	12	5000±26
<b>G</b>	12	5000±27

Fuente: Tomada de ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS, Manual de ensayos de suelos y materiales asfaltos vol. 4, 2010.

Para la grava:

**Tabla24**

*Resumen del ensayo de desgaste para el agregado Grueso – Grava.*

Gradación "B" 11 esferas		
Tamiz		Muestra
Pasa	Retiene	
3/4"	1/2"	2501
1/2"	3/8"	2502,6
Total, de la muestra Pi		5003,6
Peso retenido en el tamiz N°12 Pf		4345
Diferencia		658,6
Pa % desgaste		13,16

Fuente: Elaboración propia.

**13,16% < 40% (ASTM C131 y AASHTOT96)**

Para la gravilla:

**Tabla25**  
*Resumen del ensayo de desgaste para el agregado Grueso – Gravilla.*

<b>Gradación "C" 8 esferas</b>		
<b>Tamiz</b>		<b>Muestra</b>
<b>Pasa</b>	<b>Retiene</b>	
3/4"	1/2"	2500,8
1/2"	3/8"	2500
Total, de la muestra Pi		5000,8
Peso retenido en el tamiz Nº12 Pf		4232,6
Diferencia		768,2
Pa % desgaste		15,36

Fuente: Elaboración propia.

**15,36% < 40% (ASTM C131 y AASHTOT96)**

### 3.4.7. *Peso específico de agregado grueso (ASTM E127; AASHTO T85-91; ABC A0519).*

Este ensayo tiene como propósito determinar el peso específico bruto G<sub>b</sub>, peso específico saturado G<sub>bs</sub>, peso específico aparente G, podemos calcular la absorción de los agregados gruesos como ser grava y gravilla después de 24h sumergida en agua.

#### 3.4.7.1. Cálculos

*A = Peso del agregado secado en estufa, en gramos.*

$B =$  Peso del agregado saturado superficialmente seco, en gramos.

$C =$  Peso del agregado sumergido en agua, en gramos.

- Peso específico aparente:

$$G = \frac{A}{A - C} \quad (4)$$

- Peso específico bruto:

$$G_b = \frac{A}{B - C} \quad (5)$$

- Peso específico saturado superficialmente seco:

$$G_{sss} = \frac{B}{B - C} \quad (6)$$

- Por ciento de absorción:

$$A_{bs} = \frac{(B - A) \times 100}{A} \quad (7)$$

Para la grava:

**Tabla26**

*Resumen peso específico del Agregado Grueso – Grava.*

Muestra	M1
A (g) = Peso seco en estufa	4346,7
B (g) = Peso de muestra saturada superficialmente seca	4406,8
C (g) = Peso en agua saturado	2817,8
D = B-C	1589
E = A-C	1528,9
F = B-A	60,1
Peso específico aparente $G$ (g/ [cm] <sup>3</sup> ) A/E	2,84
Peso específico bruto $G_b$ (g/ [cm] <sup>3</sup> ) A/D	2,74
Peso específico sss $G_{sss}$ (g/ [cm] <sup>3</sup> ) B/D	2,77
Por ciento de absorción Abs % (F*100/A)	13,84

Fuente: Elaboración propia.

Para la gravilla:

**Tabla 27**  
*Resumen peso específico del Agregado Grueso – Gravilla.*

Muestra	M1
A (g) = Peso seco en estufa	3707,2
B (g) = Peso de muestra saturada superficialmente seca	3759,9
C (g) = Peso en agua saturado	2408,6
D = B-C	1351,3
E = A-C	1298,6
F = B-A	52,7
Peso específico aparente $G$ (g/ [cm] <sup>3</sup> ) A/E	2,85
Peso específico bruto $G_b$ (g/ [cm] <sup>3</sup> ) A/D	2,74
Peso específico sss $G_{ss}$ (g/ [cm] <sup>3</sup> ) B/D	2,78
Por ciento de absorción Abs % (F*100/A)	14,23

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.8. *Peso específico y absorción del agregado fino (ASTM E128; AASHTO T84; ABC A0520).*

Peso específico y absorción de la arena

**Figura 16**  
*Muestra húmeda de agregado fino, Picnómetro mas muestra.*



Fuente: Elaboración propia.

## 3.4.8.1. Cálculos.

**Tabla28**  
Ensayo de Peso Específico y Absorción Agregado Fino.

<b>Peso específico y absorción del agregado fino ASTM C128</b>		
<b>Muestra agregado fino</b>	<b>Nº1</b>	<b>Nº2</b>
Peso del recipiente	154,40	146,70
A (g) = Peso frasco volumétrico	148,00	148,00
B (g) = Peso frasco lleno de agua	647,20	647,20
D (g) = Peso muestra saturada superficialmente seco	425,30	441,80
C (g) = Peso frasco + agua + muestra	889,20	898,50
W = C-A-P Peso de agua añadida	315,90	308,70
V = B-A Capacidad del frasco	499,20	499,20
Pw = V-W Peso del agua desplazada	183,30	190,50
Peso específico sss $G_{sss} = D/Pw$	2,32	2,32
Peso específico sss $G_{sss}$ promedio	2,32 g/cm <sup>3</sup>	
E (g) = Peso seco al horno	420,8	435,6
Peso específico seco $G_s = E/Pw$	2,30	2,29
Peso específico seco $G_s$ promedio	2,29 g/cm <sup>3</sup>	
<b>Absorción del agregado fino ASTM C128</b>		
F (g) = D-E Peso del agua absorbida	4,50	6,20
Abs (%) = (F/E)*100 Absorción	1,07	1,42
Absorción promedio %	1,2 %	

Fuente: Elaboración propia.

Peso específico del filler

**Tabla29**  
Ensayo de Peso Específico Fino - filler.

<b>Peso específico y absorción del agregado fino ASTM C128</b>	
<b>Muestra agregado fino</b>	<b>Nº1</b>
Peso del recipiente	151,00
A (g) = Peso frasco volumétrico	160,50
B (g) = Peso frasco lleno de agua	660,60
D (g) = Peso muestra saturada superficialmente seco	60,00
C (g) = Peso frasco + agua + muestra	698,60
W = C-A-P Peso de agua añadida	478,10
V = B-A Capacidad del frasco	500,10
Pw = V-W Peso del agua desplazada	22,00
Peso específico seco $G_s = D/Pw$	2,73 g/cm <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 30**  
*Absorción del Filler.*

<b>ABSORCION DEL Filler ASTM C-128</b>	
Peso muestra secada al horno + recipiente	602,4
Peso muestra secada al horno D=	388,7
Peso agua Absorbida E=P-D=	11,3
Absorción en porcentaje (E/D)*100=	2,91
Absorción Promedio en %	2,91

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.4.9. Resultados finales de la caracterización del agregado.

- Los agregados proporcionados por la planta de asfaltos, ubicada en la zona de San Roque; cumplen con las especificaciones ASTM, AASHTO y ABC, y requerimientos de control respecto a sus propiedades de consenso, origen y gravimétricas. Como se puede observar en la tabla resumen a continuación:

**Tabla31**

Tabla Resumen Caracterización del Agregado.

 <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>  <b>INGENIERIA CIVIL</b> </div> 									
<b>AGREGADO</b>									
TIPO	DESCRIPCION	UNIDAD	ESPECIFICACION		VALOR	OBSERVACION			
			NORMAS	RANGO		ASTM	AASHTO	ABC	
<b>PROPIEDADES DE ORIGEN</b>									
PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS	AGREGADO GRUESO	Grava 1/2"	%	ASTM D-4791	max. 15	13,89	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
		Gravilla 3/8"				12,92	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
EQUIVALENTE ARENA	AGREGADO FINO	Arena N°4	%	ASTM D-2419 AASHTO T176 ABC A0509	min. 45	53,85	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
DESGASTE DE LOS ANGELES	AGREGADO GRUESO	Grava 1/2"	%	ASTM E-131 AASHTO T96-99 ABC A0511	max. 40	13,16	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
		Gravilla 3/8"				15,36	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
<b>PROPIEDADES GRAVIMETRICAS</b>									
Peso Especifico	AGREGADO GRUESO	Grava 1/2"	(gr/cm3)	ASTM E-127 AASHTO T85-91 ABC A0519	-----	2,74	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
		Gravilla 3/8"	(gr/cm3)			2,74	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	AGREGADO FINO	Arena N°4	(gr/cm3)	ASTM E-128 AASHTO T84-00 ABC A0520	-----	2,29	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
		Filler	(gr/cm3)			2,73	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
ABSORCION	AGREGADO GRUESO	Grava 1/2"	%	ASTM E-127 AASHTO T85-91 ABC A0519	-----	14,35	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
		Gravilla 3/8"				14,83	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	AGREGADO FINO	Arena N°4	%	ASTM E-128 AASHTO T84-00 ABC A0520	-----	2,44	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
		Filler				2,91	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia.



**CAPITULO IV**  
**CARACTERIZACION DEL CEMENTO ASFALTICO**

“ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO FISICO-MECANICO DE LA  
MEZCLA ASFALTICA CON CEMENTO ASFALTICO 85-100  
IMPLEMENTANDO FIBRA NATURAL DE TOTORA  
(SCHOENOPLECTUS TATORA)”

## ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL CEMENTO ASFALTICO.

### 4.1. Introducción.

En este capítulo se evaluará las propiedades del cemento asfáltico a utilizar en el proyecto, identificando sus propiedades mediante ensayos normalizados de laboratorio realizados de acuerdo a normas que garanticen su comportamiento.

### 4.2. Fuente de provisión del cemento asfáltico.

El cemento asfáltico convencional (85-100) fue facilitado en la misma Planta de Asfalto, de donde se obtuvo el agregado.

La procedencia del Cemento Asfáltico es de Perú como se puede observar en las siguientes figuras.

**Figura 17**  
*Barril del CA 85-100.*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 18**  
*Toma de muestra del CA 85-100.*



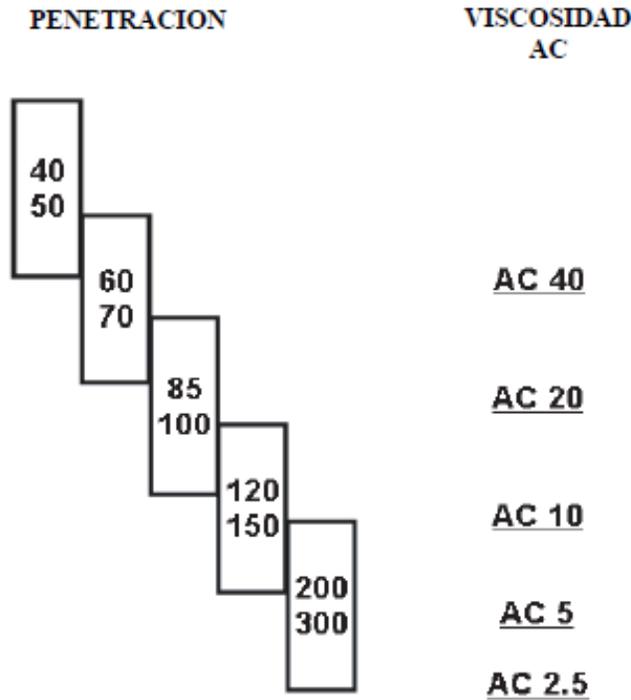
Fuente: Elaboración propia.

#### **4.3. Clasificación del cemento asfáltico.**

La clasificación del cemento asfáltico se la realiza en base al clima que predomina más en nuestro país. Es por este motivo que se considera que las especificaciones para la clasificación por penetración no son suficiente para garantizar un buen desempeño del asfalto; se recurrirá también a la clasificación por viscosidad.

A continuación, en la figura 19, se presenta de manera general una comparación entre los tipos de asfalto de acuerdo al sistema de clasificación por penetración y al sistema de clasificación por viscosidad. Es importante tener en cuenta que la figura 19. No debe considerarse como una equivalencia entre los sistemas de clasificación de cementos asfálticos, ya que pueden ocurrir diferencias considerables entre estos, debió a la variabilidad de comportamientos del asfalto dependiendo del origen del crudo.

**Figura 19**  
 Comparación de sistemas de clasificación por Penetración y Viscosidad.



Fuente: Tomada del documento PERFORMANCE GRADED (PG) ASPHALTS IN CALIFORNIA del Institute of Transportation Studies.

Como pudimos observar en la Figura 19 el cemento asfaltico 85-100 por penetración es amplio y comprende las siguientes clasificaciones por viscosidad:

**Tabla32**  
 Equivalencias entre grado de penetración y grado de viscosidad.

<i>Grado de Penetración</i>	<i>Grado de Viscosidad AC (Asphalt Cement)</i>
85 - 100	AC - 20
	AC - 10
	AC - 5

Fuente: Elaboración propia.

Mediante la caracterización del cemento asfaltico se determinará a qué tipo de clasificación por viscosidad pertenece el cemento asfaltico que estamos utilizando.

#### 4.4. Cálculo de los ensayos realizados a los cementos asfálticos.

##### 4.4.1. Propiedades de origen.

##### 4.4.1.1. Ensayo de peso específico (ASTM D71-94; AASHTO T229-97; ABC A0102).

El procedimiento realizado para la elaboración del ensayo se menciona en el capítulo II, la figura 19, muestra el equipo utilizado en el ensayo.

**Figura 20**  
*Ensayo peso específico.*



Fuente: Elaboración propia, laboratorio de asfaltos IEM 2021.

##### 4.4.1.1.1. Cálculo.

$$PE = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)} \quad (8)$$

- Donde:

$A$ =Peso del picnómetro vacío [gr]

$B$ =Peso del picnómetro más agua [gr]

$C$ =Peso del picnómetro más muestra, lleno hasta la mitad [gr]

$D$ =Peso del picnómetro más muestra y agua [gr]

**Tabla33**  
*Ensayo peso específico del CA.*

<i>Peso específico</i>						
pic	pic vacío=A	pic + H <sub>2</sub> O=B	pic + Muestra= C	pic + H <sub>2</sub> O + Muestra=D	Pe i	PE prom.
1	44,753	71,326	62,321	70,781	0,97	0,99
2	44,750	70,578	60,819	70,706	1,01	

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.2. *Propiedades de consistencia.*

##### 4.4.2.1. Ensayo de penetración (ASTM D-5; AASHTO T49-94; ABC A0103)

Este procedimiento realizado para la elaboración del ensayo se menciona en el capítulo

II. La figura 20 muestra el equipo utilizado en el ensayo.

**Figura 21**  
*Ensayo de penetración.*



Fuente: Elaboración propia, laboratorio de asfaltos IEM 2021.

##### 4.4.2.1.1. *Cálculos.*

- Por muestra se tomará cuatro datos de penetración; Se obtendrá la media de cada muestra “E”.
- El resultado se obtendrá de la media +/- la tolerancia, obteniéndose de esta forma el rango máximo y el rango mínimo de cada muestra.

**Tabla34**  
Ensayo de penetración.

<b>Penetración</b>				
<b>Muestras</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1	521/95	493/94	481/90	491/95
2	490/95	490/94	492/92	484/93
3	481/94	497/97	484/97	488/97

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla35**  
Resumen ensayo de penetración.

<b>Muestra 1</b>			<b>Muestra 2</b>			<b>Muestra 3</b>		
<b>tiempo</b>	<b>Penetración</b>	<b>Obs.</b>	<b>tiempo</b>	<b>Penetración</b>	<b>Obs.</b>	<b>tiempo</b>	<b>Penetración</b>	<b>Obs.</b>
5,21	95	Cumple	4,9	95	Cumple	4,81	94	Cumple
4,93	94	Cumple	4,9	94	Cumple	4,97	97	Cumple
4,81	90	Cumple	4,92	92	Cumple	4,84	97	Cumple
4,91	95	Cumple	4,84	93	Cumple	4,88	97	Cumple
<b>Promedio</b>	93,5	Cumple	<b>Promedio</b>	93,5	Cumple	<b>Promedio</b>	96,3	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

**PROMEDIO FINAL = 94 (CUMPLE)**

#### 4.4.2.2. Ensayo de viscosidad cinemática a 135°C (ASTM D 2170; AASHTO T201; ABC A0108).

El procedimiento realizado para el logro del ensayo se menciona en el capítulo II punto de la figura 21, muestra el equipo utilizado en el ensayo.

**Figura 22**  
Ensayo de viscosidad Cinemática, 135°C.



Fuente: Elaboración propia, laboratorio de asfaltos IEM 2021.

#### 4.4.2.2.1. Cálculo.

$$\text{Viscosidad cinemática (cSt)} = C * t \quad (9)$$

Donde:

C= constante de calibración del viscosímetro.

T=tiempo de flujo, s.

**Tabla36**  
Viscosidad cinemática a 135 °C.

Viscosidad Cinemática			
Muestra	C	t (s)	cst (Cs)
1	0,462	552	255,02
2	0,335	831	278,39
cst prom. =			266,70

Fuente: Elaboración propia.

**266,70 cst >250 cst (AASHTO M226-80) (CUMPLE)**

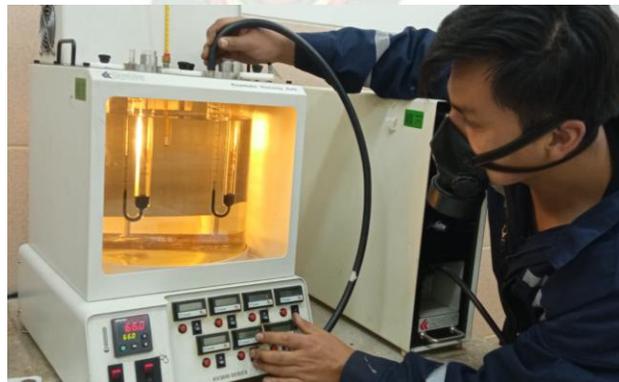
#### 4.4.2.3. Ensayo de viscosidad dinámica a 60°C (ASTM D-2171; AASHTO T202-91; ABC A0109).

El procedimiento realizado para la elaboración del ensayo se menciona en el capítulo II.

La figura 22, muestra el equipo utilizado en el ensayo.

**Figura 23**

Ensayo de viscosidad dinámica a 60°C.



Fuente: Elaboración propia, laboratorio de asfaltos IEM 2021.

**4.4.2.3.1. Cálculos.**

$$\text{Viscosidad (poises)} = K * t \quad (10)$$

Donde:

$K$ = factor de calibración seleccionado, poises/s.

$T$ =tiempo de flujo, s.

Viscosímetro utilizado; (Muestra 1 #50 E546); (Muestra 2 #50 E545)

**Tabla37**  
Viscosidad dinámica a 60°C.

<b>Viscosidad Dinámica a 60 °C</b>							
<b>#50 E546</b>				<b>#50 E545</b>			
<b>Bulbo</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>K (poise/s)</b>	<b>Viscosidad (poise)</b>	<b>Bulbo</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>K (poise/s)</b>	<b>Viscosidad (poise)</b>
B	140,5	8,385	1178,1	B	125,8	9,345	1175,6
C	290,5	4,143	1203,5	C	275,6	4,338	1195,6
<b>Promedio=</b>			1190,8	<b>Promedio=</b>			1185,6

Fuente: Elaboración propia.

**Promedio Final = 1188,20 poise >1000 +/- 200 poise**

**(AASHTO M226-80) (CUMPLE)**

**4.4.2.4. Ensayo de viscosidad rotacional Brookfield (ASTM D-4402; AASTHO TP-48; ABC A0115).**

El procedimiento realizado para la elaboración del ensayo se menciona en el capítulo II, la figura 23 muestra el equipo utilizado en el ensayo.

**Figura 24**  
*Equipo Brookfield.*



Fuente: Elaboración propia, laboratorio de asfaltos IEM 2021.

#### 4.4.2.4.1. *Calculo.*

Se determina la viscosidad del material bituminoso como el promedio de las 3 mediciones realizadas. Si la viscosidad está expresada en unidades de centípoise, lo multiplicamos por 0,001 para obtener Pascal segundo.

**Tabla38**  
*Viscosidad Brookfield.*

<i>Viscosidad Rotacional Brookfield</i>				
<b>temp. (°C)</b>	<b>RPM</b>	<b>Viscosidad (cpoise)</b>	<b>Viscosidad prom. (cpoise)</b>	<b>Viscosidad (Pa s)</b>
135	5	200	238,9	2,389
	10	250		
	15	266,7		
155	30	116,7	118,5	1,185
	40	118,8		
	50	120		
177	60	50	53,595	0,536
	80	53,13		
	100	55		
	120	56,25		

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.2.5. Ensayo de punto de ablandamiento (ASTM D36; AASHTO T53-96; ABC A0110).

El procedimiento realizado para la elaboración del ensayo se lo menciono anteriormente en el Capítulo II. La figura 24, muestra el equipo utilizado en el ensayo.

**Figura 25**  
*Ensayo punto de ablandamiento.*



Fuente: Elaboración propia, laboratorio de asfaltos IEM 2021.

##### 4.4.2.5.1. Calculo.

**Tabla39**  
*Punto de ablandamiento.*

<b>Punto de Ablandamiento</b>	
<b>Esfera</b>	<b>temperatura (°C)</b>
1	43
2	43

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.2.6. Ensayo de ductilidad (ASTM D-113; AASHTO T51-00; ABC A0105).

El procedimiento realizado para la elaboración del ensayo se menciona en el Capítulo II. La figura 25, muestra el equipo utilizado en el ensayo.

**Figura 26**  
*Ensayo de Ductilidad.*



Fuente: Elaboración propia, laboratorio de asfaltos IEM 2021.

#### 4.4.2.6.1. *Calculo.*

**Tabla40**  
*Ductilidad del CA.*

<b>Ductilidad</b>		
<b>Muestra</b>	<b>Distancia a rotura (cm)</b>	
1	sin rotura	>150
2	sin rotura	>150
3	sin rotura	>150

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.3. *Propiedades de seguridad.*

##### 4.4.3.1. **Ensayo de punto de inflamación y combustión (Vaso abierto de Cleveland) (ASTM D-1310-01; AASHTO T79-96; ABC A0106).**

El procedimiento realizado para la elaboración del ensayo se menciona en el Capítulo II.

La figura 26, muestra el equipo utilizado en el ensayo.

**Figura 27**  
*Punto de inflamación.*



Fuente: Elaboración propia, laboratorio de asfaltos IEM 2021.

#### 4.4.3.1.1. Cálculos.

- El punto de inflamación y el punto de combustión serán corregidos debido a que la presión barométrica en La Paz es de 495 mmHg.

**Tabla41**  
*Punto de combustión.*

<i>Punto de inflamación</i>		
	<b>Temp.</b>	<b>Corregido</b>
<b>punto de incendio (°C)</b>	265	272,95
<b>punto de combustión (°C)</b>	330	337,95

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.3.2. Ensayo de la mancha (AASHTO T 102-83; ABC A0104).

El procedimiento realizado para la elaboración del ensayo se menciona en el Capítulo II.

La figura 27, muestra el equipo utilizado en el ensayo.

**Figura 28**  
*Ensayo de la mancha.*



Fuente: Elaboración propia, laboratorio de asfaltos IEM 2021.

#### 4.4.3.2.1. Cálculos.

**Tabla 42**  
*Ensayo de la mancha.*

<i>Ensayo de la mancha</i>				
<b>Muestra</b>	<b>Asfalto (gr.)</b>	<b>Xileno</b>	<b>Heptano</b>	<b>Resultado</b>
1	2	30%	70	NEGATIVO

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.3.3. Solubilidad de materiales bituminosos (ASTM D-2042; AASHTO T44-97; ABC A0107).

El procedimiento realizado para la elaboración del ensayo se menciona en el Capítulo II.

La figura 28, muestra el equipo utilizado en el ensayo.

**Figura 29**  
*Solubilidad de materiales bituminosos.*



Fuente: Elaboración propia, laboratorio de asfaltos IEM 2021.

4.4.3.3.1. *Calculo.*

$$\% \text{ insoluble} = \frac{A}{B} * 100 \quad (11)$$

$$\% \text{ soluble} = 100 - \left( \frac{A}{B} * 100 \right) \quad (12)$$

Donde:

$A$ =peso total insoluble.

$B$ =Peso total de la muestra.

**Tabla43**  
*Solubilidad del CA.*

<i>Solubilidad</i>		
<b>Descripción</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>
Goach+filtro (inicial)	16,776	16,779
Goach+filtro (final)	16,779	16,782
Peso total insoluble (mg) A=	0,002	0,001
Peso total de la muestra (mg) B=	2,00	2,00
% Insoluble	0,10	0,05
<b>% soluble</b>	<b>99,90</b>	<b>99,95</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Promedio Final = 99,92 % >99,0%**

**(AASHTO M226-80) (CUMPLE)**

4.4.4. *Propiedades de durabilidad.*4.4.4.1. **Ensayo de película delgada (ASTM D-1754; AASHTO T179-05).**

El procedimiento realizado para la elaboración del ensayo se menciona en el Capítulo II. La figura 40, muestra el equipo utilizado en el ensayo.

**Figura 30**  
*Ensayo de película delgada.*



Fuente: Elaboración propia, laboratorio de asfaltos IEM 2021.

**4.4.4.1.1. Cálculo.**

**Tabla 44**  
*Película Delgada.*

<i>Película delgada</i>						
<b>Perdida por calentamiento</b>						
<b>Muestra</b>	<b>P recip vacío</b>	<b>P recip + M</b>	<b>P recip +M (163 °C )</b>	<b>Muestra</b>	<b>Diferencia</b>	<b>% Perdida</b>
1	138,350	188,287	187,993	50,000	0,294	0,588
2	138,770	188,784	188,484	50,000	0,300	0,6
3	91,948	141,918	141,609	50,000	0,309	0,618
4	138,151	188,126	187,660	50,000	0,466	0,932
5	139,217	189,203	188,782	50,000	0,421	0,842
6	140,543	190,628	190,362	50,000	0,266	0,532

Fuente: Elaboración propia.

**Promedio Final Perdida = 0,685 % < 1,0 %**

**(AASHTO M20) (CUMPLE)**

#### 4.4.4.1.2. Ensayo de ductilidad sobre el residuo de película delgada.

**Tabla45**  
*Ductilidad del Residuo.*

<b>Ductilidad del Residuo</b>		
<b>Muestra</b>	<b>Distancia a rotura (cm)</b>	
1	104	>75
2	102	>75
3	92	>75

Fuente: Elaboración propia.

**Promedio Final = 99,33 cm > 75 cm**

**(AASHTO M20) (CUMPLE)**

#### 4.4.4.1.3. Ensayo de penetración sobre el residuo de película delgada.

**Tabla46**  
*Penetración del Residuo.*

<b>Penetración del Residuo</b>					
<b>Muestra 1</b>			<b>Muestra 2</b>		
<b>tiempo</b>	<b>Penetración</b>	<b>Obs</b>	<b>tiempo</b>	<b>Penetración</b>	<b>Obs</b>
5,22	55	Cumple	4,75	48	Cumple
4,84	52	Cumple	4,81	55	Cumple
4,97	54	Cumple	5,25	51	Cumple
<b>Promedio</b>	54	Cumple	<b>Promedio</b>	51	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.5. Resultados finales de la caracterización del cemento asfáltico “CA 85-100”.

Para la caracterización del asfalto (85-100) se clasifico de acuerdo a las especificaciones de penetración y viscosidad que se mostraron en las tablas 1 y 2, además los resultados de la caracterización del cemento asfáltico pertenecen a la clasificación por viscosidad AC-10, los resultados se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla47**

Resumen de la Caracterización del Cemento Asfáltico 85-100.

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL											
CEMENTO ASFALTICO 85-100 CONVENCIONAL											
ENSAYOS	METODO	VALORES			GRADO DE PENETRACION AASHTO M20			GRADO DE VISCOCIDAD AASHTO M226-80			
		1°	2°	PROM.	min.	max.	Verificación	min.	max.	Verificación	
<b>PROPIEDADES DE ORIGEN</b>											
<b>A. Sobre el asfalto virgen</b>											
Peso Específico (gr/cm <sup>3</sup> )	ASTM D71-94	0,97	1,01	0,99	---	---		---	---		
<b>PROPIEDADES DE CONSISTENCIA</b>											
Penetración (25°C) 100g 5s(0,1mm)	ASTM D-5	94	96	94	85	100	CUMPLE	80	---	CUMPLE	
Viscosidad Cinemática a 135°C (cSt)	ASTM D-2170	255,02	278,39	266,7	---	---		250	---	CUMPLE	
Viscosidad Dinámica a 60°C (P)	ASTM D-2171	1190,8	1185,6	1188,2	---	---		800	1200	CUMPLE	
Viscosidad Brookfield 135 °C	ASTM D-4402			2,389	---	---		---	---		
Viscosidad Brookfield 155 °C	ASTM D-4402			1,185	---	---		---	---		
Viscosidad Brookfield 177 °C	ASTM D-4402			0,536	---	---		---	---		
Punto de Ablandamiento (A y B) (°C)	ASTM D-36	43	43	43	---	---		---	---		
Ductilidad de 25°C 5cm/min (cm)	ASTM D-113	150+	150+	150+	100	---	CUMPLE	---	---		
<b>PROPIEDADES DE SEGURIDAD</b>											
Punto de Inflamación (°C)	ASTM D-1310			338	232	---	CUMPLE	219	---	CUMPLE	
Ensayo de la Mancha	Xileno= 30%	AASHTO T102	NEGATIVO			NEGATIVO		CUMPLE	NEGATIVO		CUMPLE
	Heptano=70%										
Solubilidad en Tricloroetileno (%)	ASTM D-2042	99,9	99,95	99,92	99	---	CUMPLE	99	---	CUMPLE	
<b>PROPIEDADES DE SEGURIDAD</b>											
<b>B. Ensayo sobre la Película Delgada (ASTM D-1754)</b>											
Penetración (25°C) 100g 5s(0,1mm)	ASTM D-5	54	51	52	50	---	CUMPLE	---	---		
Ductilidad de 25°C 5cm/min (cm)	ASTM D-113	104	92	98	75	---	CUMPLE	75	---	CUMPLE	

Fuente: Elaboración propia.



**CAPITULO V**  
**ANALISIS Y CARACTERIZACION DE LA FIBRA**  
**NATURAL DE TOTORA**

“ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO FISICO-MECANICO DE LA  
MEZCLA ASFALTICA CON CEMENTO ASFALTICO 85-100  
IMPLEMENTANDO FIBRA NATURAL DE TOTORA  
(SCHOENOPLECTUS TATORA)”

## ANALISIS Y EVALUACION DE LA FIBRA DE TOTORA

### 5.1. Corte y secado de la totora.

Existe muy poca información sobre el manejo de cosecha de totorales, es importante recuperar información de las técnicas empleadas por los campesinos que utilizan la totora para diferentes fines

La información obtenida para el corte y secado de la totora fue proporcionada por los campesinos de la localidad de Huatajata.

#### 5.1.1. Corte de la totora.

El corte de la totora se realiza con una hoz, de forma ordenada el corte se debe realizar de la siguiente manera:

1. Agarrar con una mano un manojo de totora.
2. Aplicar golpes fuertes con la hoz sobre el manojo de totora.
3. Tener mucho cuidado de doblar los tallos o quebrarlos.
4. El corte es angulado que se aplica a unos 40 o 50 centímetros sobre la raíz de esta manera la planta seguirá creciendo y reproduciéndose.

#### 5.1.2. Secado de la totora.

Las plantas ya cortadas se deben tender en el suelo estirándolas unas sobre otras evitando pisar las plantas, se dejan secando algunos días.

Una vez realizado el secado se procede al cortado de la totora para su utilización.

**Figura 31**  
*Cortado y secado de la totora*



Fuente: Elaboración propia.

## **5.2. Análisis de la fibra natural de totora.**

La fibra natural de totora cuenta con propiedades físicas y mecánicas que son:

### **5.2.1. Propiedades físicas.**

#### **5.2.1.1. Densidad.**

Un grupo de totora atada con presión mediana de manera de que no afecte el volumen, pero mantenga estable el conjunto da un resultado de densidad igual a  $180\text{Kg}/\text{m}^3$ .

#### **5.2.1.2. Absorción.**

La totora es una planta que cuenta con un alto porcentaje de absorción, al ser sumergido en agua en un tiempo de 24 horas su peso puede llegar a aumentar hasta cuatro veces el peso inicial.

#### **5.2.1.3. Temperatura.**

La fibra natural de totora es un material resistente a altas temperaturas, puede llegar a resistir  $160\text{ }^\circ\text{C}$  gracias a esta propiedad podemos utilizarla en mezclas asfálticas en caliente.

## 5.2.2. Propiedades mecánicas.

### 5.2.2.1. Tracción.

El esfuerzo a tracción de la totora varía según su diámetro, mientras mayor sea su diámetro menor será la fuerza a tracción que resista.

**Figura 32**  
Ensayos a tracción de la totora.

ESFUERZO DE LAS FIBRAS A TRACCIÓN						
MUESTRA	ALTO	DIÁMETRO	PEGO	FUERZA	OBSERVACIONES	FOTOGRAFIA
1	50cm	0.8 – 1 cm	4 g	102 kgf	Al ser las fibras más delgadas de mayor resistencia a la tracción	
2	50cm	0.8 – 1 cm	4 g	68 kgf	Al ser las fibras más delgadas de mayor resistencia a la tracción	
3	50cm	0.8 – 1 cm	4 g	54 kgf	Al ser las fibras más delgadas de mayor resistencia a la tracción	
4	50cm	1.2 – 1.5 cm	6 g	20 kgf	La ruptura se produjo en la unión de las fibras con las mordazas.	
5	50cm	1.2 – 1.5 cm	6 g	27 kgf	Las fibras con mayor diámetro tuvieron menor resistencia.	
6	50cm	1.2 – 1.5 cm	6 g	27 kgf	Las fibras con mayor diámetro tuvieron menor resistencia.	

FUENTE: Tomada de Totora: análisis de su comportamiento como material en la construcción para futuras aplicaciones (Zambrano, 2018).

### 5.3. Criterios de la selección de la fibra natural de totora.

Existen investigaciones sobre la implementación de fibra naturales en cementos asfálticos, para la selección de fibras de totora se utilizarán los criterios empleados en las investigaciones.

Los criterios que se tomaran en cuenta son:

- **Primer criterio.**

La fibra natural de totora debe contar con una longitud y grosor determinada, la longitud y grosor es muy importante para la mezcla si se tiene longitudes de fibra muy largas más que el tamaño máximo de agregado estas fibras dejan de ayudar a la mezcla produciéndose fallas por adherencia.

En la investigación de fibra de caña de azúcar recomiendan utilizar los siguientes tamaños y diámetros.

**Tabla 48**

*Datos de la fibra de caña de azúcar.*

Características	
Longitud	2-3 [cm]
Diámetro	1-3 [mm]

FUENTE: Tomada de Análisis y evaluación del bagazo, (Apaza & Landivar, 2019).

Se realizaron ensayos utilizando fibra natural de totora en mezclas asfálticas con estas longitudes y diámetros los resultados no fueron aceptables, se realizaron pruebas con diferentes tamaños de donde se escogieron las siguientes especificaciones.

**Tabla49**  
 Datos de la fibra natural de totora.

Características	
Longitud max.	8 mm
Longitud min.	4 mm
Diámetro min.	1 mm
Diámetro max.	3 mm

Fuente: Elaboración propia.

- **Segundo criterio.**

Para la determinación de porcentaje de totora que se implementara a la mezcla asfáltica se utilizaron ensayos de estabilidad, de dichos ensayos se pudo observar que para 0,5% de totora la adherencia no es buena.

Se escogieron los siguientes porcentajes 0,15%, 0,25% y 0,35% para ser analizados.

**Figura33**  
 Porcentajes de fibra de totora.



Fuente: Elaboración propia, laboratorio de asfaltos IEM 2021.



**CAPITULO VI**  
**DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON Y**  
**SIN ADICION DE FIBRA NATURAL DE TOTORA**

“ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO FISICO-MECANICO DE LA  
MEZCLA ASFALTICA CON CEMENTO ASFALTICO 85-100  
IMPLEMENTANDO FIBRA NATURAL DE TOTORA  
(SCHOENOPLECTUS TATORA)”

## DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON Y SIN ADICION DE FIBRA NATURAL DE TOTORA

### 6.1. Introducción.

Se realizará el estudio del comportamiento de la fibra natural de totora en mezclas asfálticas para este propósito se realizarán probetas con distintos porcentajes de cemento asfáltico y distintos porcentajes de totora, para esta comparación se utilizará el método Marshall.

Una vez analizado los agregados, cemento asfáltico y la fibra de totora verificando que cumpla las normativas, se procederá a diseñar las mezclas, seguidamente se realizará un análisis de la estabilidad, fluencia, densidad y vacíos dichos datos nos servirán para analizar los beneficios o perjuicios que implica añadir fibra de totora en la mezcla.

### 6.2. Dosificación.

La combinación de agregados tiene por objetivo encontrar los porcentajes de cada agregado para obtener una granulometría cerrada y que cumpla las especificaciones con respecto a la granulometría, el método que se utilizara para encontrar los porcentajes de cada agregado en la mezcla es el del tanteo.

#### 6.2.1. Método del tanteo.

Este método consiste en hacer una lista de los materiales que se utilizaran y sus especificaciones (granulometría), se debe colocar porcentajes de cada material para la mezcla, hasta que cumpla con las franjas granulométricas escogidas en el diseño.

**Tabla50**

Porcentaje que pasa por el agregado.

TAMIZ	Abertura [mm]	Grava (A)	Gravilla (B)	Arena (C)	Filler (D)
		% Que Pasa	% Que Pasa	% Que Pasa	% Que Pasa
1''	25	100,00	100,00	100,00	100,00
3/4''	19	98,36	99,66	100,00	100,00
1/2''	12,5	46,85	98,80	100,00	100,00
3/8''	9,5	12,45	83,18	100,00	100,00
N4	4,8	0,94	32,34	99,95	100,00
N8	2,4	0,54	9,83	85,12	100,00
N10	2,0	0,50	7,56	75,24	100,00
N30	0,6	0,40	1,82	31,03	100,00
N40	0,42	0,40	1,41	20,99	100,00
N50	0,3	0,39	1,22	13,33	93,73
N80	0,2	0,36	1,00	6,44	75,48
N200	0,075	0,30	0,71	2,50	61,04

Fuente: Elaboración propia.

### 6.2.2. Granulometría del proyecto.

La granulometría utilizada para el proyecto de grado está basada en las especificaciones de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras), la cual nos indica la composición de la granulometría para muestras cerradas que tenemos que satisfacer, los requisitos se mostraran en la siguiente tabla 51.

**Tabla51**

Gradaciones propuestas por la ABC para mezclas cerradas

TAMIZ	Gradación de los agregados (porcentaje pasante)			
	A	B	C	D
2''	100			
1 1/2''	97-100	100		
1''	-	97-100	100	
3/4''	66-80±5	-	97-100	100
1/2''	-	-	76-88±5	97-100
3/8''	48-60±6	53-70±6	-	-
N° 4	33-45±5	40-52±6	49-59±7	57-69±6
N° 8	25-33±4	25-39±4	36-45±5	41-49±6
N° 40	9-17±3	10-19±3	14-22±3	14-22±3
N° 200	3-8±2	3-8±2	3-7±2	3-7±2
Porcentaje de asfalto	4,0-7,0	4,5-7,5	4,5-9	4,5-9

Fuente: Tomada de ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS, Manual de ensayos

de suelos y materiales asfaltos vol. 4, 2010.

La columna C es la más adecuada para nuestros agregados, esto es debido a que el porcentaje que pasa el tamiz 1" para la grava y gravilla es 100%, no se escogió la columna D debido a que no pasa el 100% del material por el tamiz 3/4".

### 6.2.3. *Combinación de agregados.*

Se obtiene los porcentajes de cada uno de los agregados utilizando la siguiente fórmula:

$$P = Aa + Bb + Cc + Dd + \text{etc} \quad (13)$$

Donde:

*P = Porcentaje de material que pasa un tamiz dado, para los agregados A, B, C, etc., combinados.*

*A, B, C, etc. = Porcentajes de material que pasa un tamiz dado para los agregados A, B, C, etc.*

*a, b, c, etc. = Proporciones de agregados A, B, C, etc., usados en la combinación y en donde el total es 1.0 dichos porcentajes serán obtenidos por el método de tanteo.*

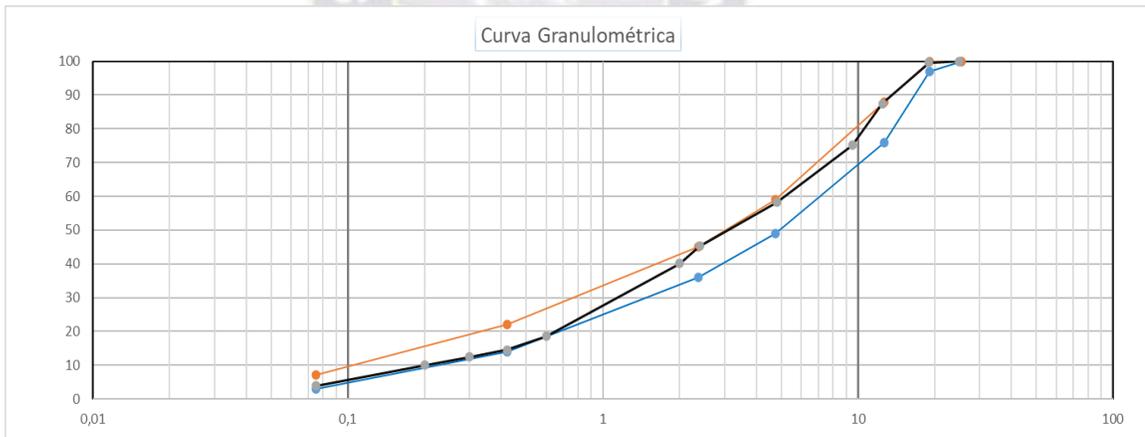
- Los porcentajes de combinación obtenidos por medio de tanteo son:
  - a = 23% para la grava
  - b = 28% para la gravilla
  - c = 45% para la arena
  - d = 4% para la filler

**Tabla52**  
*Combinación de agregado.*

PROPORCIONES					% Que Pasa Final (P)	Especificación
Axa	Grava	Bxb Gravilla	Cxc Arena	Dxd Filler		
	23,00	28,00	45,00	4,00	100,00	100,00
	22,62	27,91	45,00	4,00	99,53	97-100
	10,77	27,66	45,00	4,00	87,44	76-88±5
	2,86	23,29	45,00	4,00	75,15	-
	0,22	9,06	44,98	4,00	58,25	49-59±7
	0,12	2,75	38,31	4,00	45,18	36-45±5
	0,12	2,12	33,86	4,00	40,09	
	0,09	0,51	13,96	4,00	18,56	
	0,09	0,39	9,45	4,00	13,93	14-22±3
	0,09	0,34	6,00	3,75	10,18	
	0,08	0,28	2,90	3,02	6,28	
	0,07	0,20	1,12	2,44	3,83	3-7±2

Fuente: Elaboración propia.

**Grafica1**  
*Curva Granulométrica.*



Fuente: Elaboración propia.

#### 6.2.4. Combinación de la mezcla asfáltica.

Para la dosificación de la mezcla se cuenta con los porcentajes de los agregados, dichos porcentajes suman 100% sin contar con el porcentaje de asfalto esto quiere decir que se debe modificar los porcentajes de los agregados. Para realizar esta modificación utilizaremos la siguiente fórmula:

$$\%Agregado\ corregido = (100\% - \%Cemento\ asfáltico) \times \frac{\%Agregado}{100} \quad (14)$$

Contamos con los siguientes porcentajes de agregado:

- Grava 23%.
- Gravilla 28%.
- Arena 45%.
- 4% de filler.
- Para la primera combinación se utilizará 4,5% de cemento asfáltico.

$$\%Grava\ corregido = (100\% - 4,5\%) \times \frac{23\%}{100} \quad \%Grava\ corregido = 21,97\%$$

$$\%Gravilla\ corregido = (100\% - 4,5\%) \times \frac{28\%}{100} \quad \%Gravilla\ corregido = 26,74\%$$

$$\%Arena\ corregido = (100\% - 4,5\%) \times \frac{45\%}{100} \quad \%Arena\ corregido = 42,98\%$$

$$\%Filler\ corregido = (100\% - 4,5\%) \times \frac{4\%}{100} \quad \%Filler\ corregido = 3,82\%$$

$$\%Cemento\ Asfáltico = 4,5\%$$

Los nuevos porcentajes obtenidos serán los empleados en la dosificación de la mezcla, para la elaboración de las probetas se utilizará 1200g en peso total.

$$Peso\ de\ los\ agregados\ para\ la\ mezcla = 1200g \times \frac{\%Agregados}{100\%} \quad (15)$$

$$Peso\ grava = 1200g \times \frac{21,97\%}{100\%} \quad Peso\ grava = 263,58g$$

$$Peso\ gravilla = 1200g \times \frac{26,74\%}{100\%} \quad Peso\ gravilla = 320,88g$$

$$Peso\ arena = 1200g \times \frac{42,98\%}{100\%} \quad Peso\ arena = 515,70$$

$$Peso\ filler = 1200g \times \frac{3,82\%}{100\%} \quad Peso\ filler = 45,84g$$

$$Peso\ cemento\ asfáltico = 1200g \times \frac{4,5\%}{100\%} \quad Peso\ cemento\ asfáltico = 54g$$

Tabla53

Dosificación de las mezclas asfálticas con 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5% y 7% de cemento asfáltico

Mezcla asfáltica	Dosificación			Mezcla asfáltica	Dosificación		
	Agregado %	Mezcla	peso (g)1200		Agregado %	Mezcla	peso (g)1200
CA		4,5	54	CA		5	60
GRAVA	23	21,97	263,58	GRAVA	23	21,85	262,20
GRAVILLA	28	26,74	320,88	GRAVILLA	28	26,60	319,20
ARENA	45	42,98	515,70	ARENA	45	42,75	513,00
FILLER	4	3,82	45,84	FILLER	4	3,80	45,60
Mezcla asfáltica	Dosificación			Mezcla asfáltica	Dosificación		
	Agregado %	Mezcla	peso (g)1200		Agregado %	Mezcla	peso (g)1200
CA		5,5	66	CA		6	72
GRAVA	23	21,74	260,82	GRAVA	23	21,62	259,44
GRAVILLA	28	26,46	317,52	GRAVILLA	28	26,32	315,84
ARENA	45	42,53	510,30	ARENA	45	42,30	507,60
FILLER	4	3,78	45,36	FILLER	4	3,76	45,12
Mezcla asfáltica	Dosificación			Mezcla asfáltica	Dosificación		
	Agregado %	Mezcla	peso (g)1200		Agregado %	Mezcla	peso (g)1200
CA		6,5	78	CA		7	84
GRAVA	23	21,51	258,06	GRAVA	23	21,39	256,68
GRAVILLA	28	26,18	314,16	GRAVILLA	28	26,04	312,48
ARENA	45	42,08	504,90	ARENA	45	41,85	502,20
FILLER	4	3,74	44,88	FILLER	4	3,72	44,64

Fuente: Elaboración propia.

Para realizar la dosificación de la mezcla con la implementación de fibra natural de totora se utilizará la siguiente fórmula:

$$\%Agregado\ corregido = (100\% - \%Cemento\ asfáltico - \%totora) \times \frac{\%Agregado}{100} \quad (16)$$

Contamos con los siguientes porcentajes de agregado:

- Grava 23%.
- Gravilla 28%.
- Arena 45%.
- 4% de filler.
- Para la primera combinación se utilizará 4,5% de cemento asfáltico.
- Para la totora se utilizará 0,15%.

$$\%Grava\ corregido = (100\% - 4,5\% - 0,15\%) \times \frac{23\%}{100} \qquad \%Grava\ corregido = 21,93\%$$

$$\%Gravilla\ corregido = (100\% - 4,5\% - 0,15\%) \times \frac{28\%}{100} \qquad \%Gravilla\ corregido = 26,70\%$$

$$\%Arena\ corregido = (100\% - 4,5\% - 0,15\%) \times \frac{45\%}{100} \qquad \%Arena\ corregido = 42,91\%$$

$$\%Filler\ corregido = (100\% - 4,5\% - 0,15\%) \times \frac{4\%}{100} \qquad \%Filler\ corregido = 3,81\%$$

$$\%Cemento\ Asfaltico = 4,5\%$$

$$\%Fibra\ de\ totora = 0,15\%$$

Los nuevos porcentajes obtenidos serán los empleados en la dosificación de la mezcla, para la elaboración de las probetas se utilizará 1200g en peso total.

$$Peso\ grava = 1200g \times \frac{21,93\%}{100\%} \qquad Peso\ grava = 263,17g$$

$$Peso\ gravilla = 1200g \times \frac{26,70\%}{100\%} \qquad Peso\ gravilla = 320,38g$$

$$Peso\ arena = 1200g \times \frac{42,91\%}{100\%} \qquad Peso\ arena = 514,89g$$

$$Peso\ filler = 1200g \times \frac{3,81\%}{100\%} \qquad Peso\ filler = 45,77g$$

$$Peso\ totora = 1200g \times \frac{0,15\%}{100\%} \qquad Peso\ filler = 1,8g$$

$$Peso\ cemento\ asfaltico = 1200g \times \frac{4,5\%}{100\%} \qquad Peso\ cemento\ asfaltico = 54g$$

**Tabla54**

*Dosificación de las mezclas asfálticas con 4,5%, 5% 5,5%, 6% 6,5% y 7% de cemento asfáltico y 0,15% de fibra natural de totora*

Mezcla asfáltica	dosificación			Mezcla asfáltica	dosificación		
	Agregado %	Mezcla	peso (g)1200		Agregado %	Mezcla	peso (g)1200
CA		4,5	54	CA		5	60
TOTORA		0,15	1,80	TOTORA		0,15	1,80
GRAVA	23	21,93	263,17	GRAVA	23	21,82	261,79
GRAVILLA	28	26,70	320,38	GRAVILLA	28	26,56	318,70
ARENA	45	42,91	514,89	ARENA	45	42,68	512,19
FILLER	4	3,81	45,77	FILLER	4	3,79	45,53
Mezcla asfáltica	dosificación			Mezcla asfáltica	dosificación		
	Agregado %	Mezcla	peso (g)1200		Agregado %	Mezcla	peso (g)1200
CA		5,5	66	CA		6	72
TOTORA		0,15	1,80	TOTORA		0,15	1,80
GRAVA	23	21,70	260,41	GRAVA	23	21,59	259,03
GRAVILLA	28	26,42	317,02	GRAVILLA	28	26,28	315,34
ARENA	45	42,46	509,49	ARENA	45	42,23	506,79
FILLER	4	3,77	45,29	FILLER	4	3,75	45,05
Mezcla asfáltica	dosificación			Mezcla asfáltica	dosificación		
	Agregado %	Mezcla	peso (g)1200		Agregado %	Mezcla	peso (g)1200
CA		6,5	78	CA		7	84
TOTORA		0,15	1,80	TOTORA		0,15	1,80
GRAVA	23	21,47	257,65	GRAVA	23	21,36	256,27
GRAVILLA	28	26,14	313,66	GRAVILLA	28	26,00	311,98
ARENA	45	42,01	504,09	ARENA	45	41,78	501,39
FILLER	4	3,73	44,81	FILLER	4	3,71	44,57

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla55**

*Dosificación de las mezclas asfálticas con 4,5%, 5% 5,5%, 6% 6,5% y 7% de cemento asfáltico y 0,25% de fibra natural de totora*

Mezcla asfáltica	dosificación			Mezcla asfáltica	dosificación		
	Agregado %	Mezcla	peso (g)1200		Agregado %	Mezcla	peso (g)1200
CA		4,5	54	CA		5	60
TOTORA		0,25	3,00	TOTORA		0,25	3,00
GRAVA	23	21,91	262,89	GRAVA	23	21,79	261,51
GRAVILLA	28	26,67	320,04	GRAVILLA	28	26,53	318,36
ARENA	45	42,86	514,35	ARENA	45	42,64	511,65
FILLER	4	3,81	45,72	FILLER	4	3,79	45,48
Mezcla asfáltica	dosificación			Mezcla asfáltica	dosificación		
	Agregado %	Mezcla	peso (g)1200		Agregado %	Mezcla	peso (g)1200
CA		5,5	66	CA		6	72
TOTORA		0,25	3,00	TOTORA		0,25	3,00
GRAVA	23	21,68	260,13	GRAVA	23	21,56	258,75
GRAVILLA	28	26,39	316,68	GRAVILLA	28	26,25	315,00
ARENA	45	42,41	508,95	ARENA	45	42,19	506,25
FILLER	4	3,77	45,24	FILLER	4	3,75	45,00

Mezcla asfáltica	dosificación			Mezcla asfáltica	dosificación		
	Agregado %	Mezcla	peso (g)1200		Agregado %	Mezcla	peso (g)1200
CA		6,5	78	CA		7	84
TOTORA		0,25	3,00	TOTORA		0,25	3,00
GRAVA	23	21,45	257,37	GRAVA	23	21,33	255,99
GRAVILLA	28	26,11	313,32	GRAVILLA	28	25,97	311,64
ARENA	45	41,96	503,55	ARENA	45	41,74	500,85
FILLER	4	3,73	44,76	FILLER	4	3,71	44,52

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla56**

*Dosificación de las mezclas asfálticas con 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5% y 7% de cemento asfáltico y 0,35% de fibra natural de totora.*

Mezcla asfáltica	dosificación			Mezcla asfáltica	dosificación		
	Agregado %	Mezcla	peso (g)1200		Agregado %	Mezcla	peso (g)1200
CA		4,5	54	CA		5	60
TOTORA		0,35	4,20	TOTORA		0,35	4,20
GRAVA	23	21,88	262,61	GRAVA	23	21,77	261,23
GRAVILLA	28	26,64	319,70	GRAVILLA	28	26,50	318,02
ARENA	45	42,82	513,81	ARENA	45	42,59	511,11
FILLER	4	3,81	45,67	FILLER	4	3,79	45,43
Mezcla asfáltica	dosificación			Mezcla asfáltica	dosificación		
	Agregado %	Mezcla	peso (g)1200		Agregado %	Mezcla	peso (g)1200
CA		5,5	66	CA		6	72
TOTORA		0,35	4,20	TOTORA		0,35	4,20
GRAVA	23	21,65	259,85	GRAVA	23	21,54	258,47
GRAVILLA	28	26,36	316,34	GRAVILLA	28	26,22	314,66
ARENA	45	42,37	508,41	ARENA	45	42,14	505,71
FILLER	4	3,77	45,19	FILLER	4	3,75	44,95
Mezcla asfáltica	dosificación			Mezcla asfáltica	dosificación		
	Agregado %	Mezcla	peso (g)1200		Agregado %	Mezcla	peso (g)1200
CA		6,5	78	CA		7	84
TOTORA		0,35	4,20	TOTORA		0,35	4,20
GRAVA	23	21,42	257,09	GRAVA	23	21,31	255,71
GRAVILLA	28	26,08	312,98	GRAVILLA	28	25,94	311,30
ARENA	45	41,92	503,01	ARENA	45	41,69	500,31
FILLER	4	3,73	44,71	FILLER	4	3,71	44,47

Fuente: Elaboración propia.

### 6.3. Numero de probetas.

El número de probetas mínimo para preparar son tres para cada contenido de asfalto.

#### 6.4. Temperatura de mezclado y compactado.

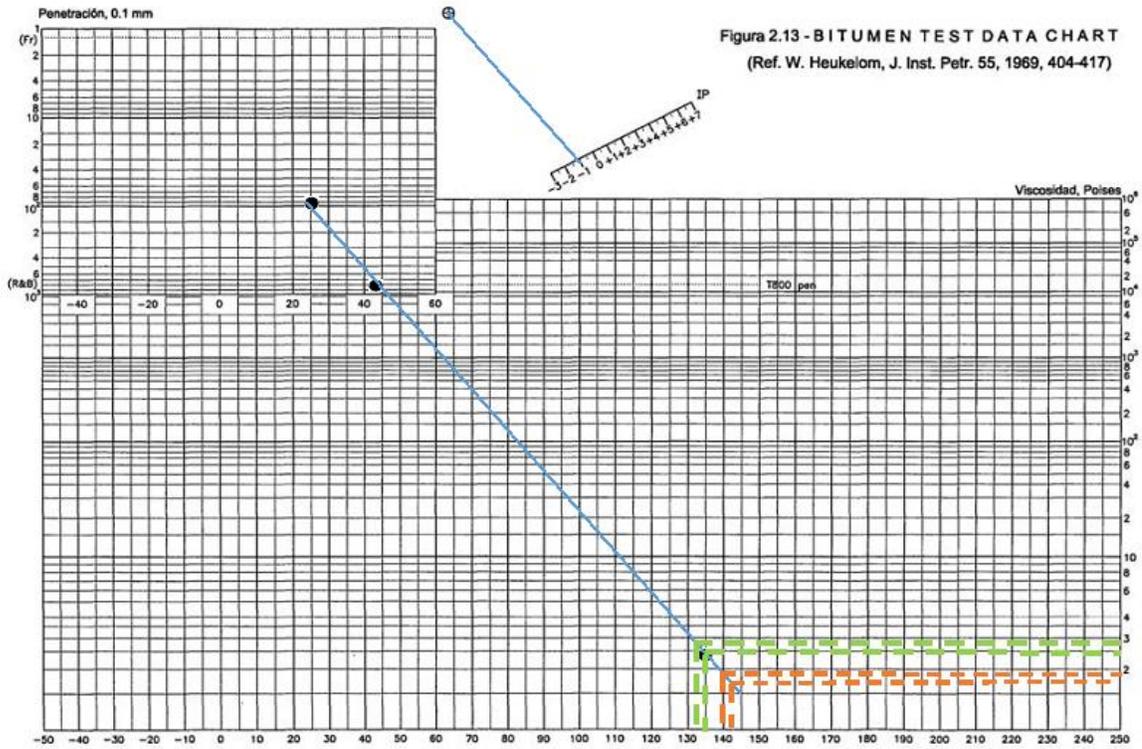
La temperatura de mezclado es la cual debe calentarse el asfalto para producir una viscosidad de  $170 \pm 20$  cst.

La temperatura de compactado es la cual debe calentarse el asfalto para producir una viscosidad de  $280 \pm 30$  cst.

Para determinar la temperatura de mezclado y compactado se utilizará el monograma de Heukelom, este monograma se utiliza para cementos asfálticos convencionales.

Para poder utilizar el monograma de Heukelom tenemos que tener los datos de los ensayos de Fraass ( $^{\circ}\text{C}$ ), penetración a (0,1mm), Punto de ablandamiento ( $^{\circ}\text{C}$ ), Viscosidad absoluta ( $60^{\circ}\text{C}$ ) y viscosidad cinemática a ( $135^{\circ}\text{C}$ ), cada dato es un punto dentro del monograma de Heukelom se hace pasar por estos puntos una recta, con dicha recta podemos determinar las temperaturas de mezclado y compactado para las viscosidades requeridas, además trazando una paralela a la recta podemos determinar el índice de penetración (IP).

**Grafica2**  
*Nomograma de Heukelom.*



Fuente: Elaboración propia.

- Temperatura de mezclado = 140°C – 143°C
- Temperatura de compactación = 132°C – 135°C
- Índice de penetración IP=-1      valor negativo son indicativos de elevada susceptibilidad térmica

**6.5. Procedimiento de diseño de mezclas asfálticas en caliente utilizando el método Marshall (ASTM D-1559; AASHTO T-245-97; ABC A0608).**

**6.5.1. Elaboración de probetas.**

Para la elaboración de probetas se realizaron los siguientes pasos:

- Se calienta el agregado a una temperatura de 110°C.

- Se pesa las fracciones del agregado según la dosificación establecida para los diferentes porcentajes de cemento asfáltico, se lleva al horno las fracciones hasta que estén a una temperatura aproximada de 30°C por encima a la temperatura de mezclado.
- Se calienta en cemento asfáltico hasta que alcance la temperatura de mezclado obtenido mediante el nomograma de Heukelom.
- Colocar el agregado caliente en el recipiente de mezclado, revolviendo completamente se debe formar un cráter en el agregado, se debe pesar la cantidad de cemento asfáltico según la dosificación, se debe mezclar el agregado y el cemento asfáltico hasta obtener una mezcla totalmente cubierta.
- Se debe calentar los moldes y varillas para su utilización, se coloca papel dentro del molde para evitar que la mezcla se llegue a pegar.
- Se introduce la mezcla asfáltica a los moldes con una espátula, con la varilla se realiza el acomodamiento de la mezcla realizando 15 golpes en el perímetro y 10 golpes en el centro, antes de compactar se debe hacer la verificación de la temperatura, la temperatura tiene que estar en los límites establecidos por el nomograma de Heukelom.
- La compactación se realizará utilizando las especificaciones del instituto de asfalto el número de golpes varía según el tipo de tránsito, para nuestro estudio utilizaremos las especificaciones del instituto de asfaltos para tránsito pesado que indica que tenemos que realizar 75 golpes por cara, se

compacta utilizando el martillo de compactación usando una caída libre de 18”.

**Figura 34**

*Mezclado de agregado y cemento asfáltico, compactación de briquetas.*



Fuente: Elaboración propia, laboratorio de asfaltos IEM 2021.

**Figura 35**

*Briquetas con CA sin totora, Briqueta con CA y la adición de la fibra de totora.*



Fuente: Elaboración propia, laboratorio de asfaltos IEM 2021.

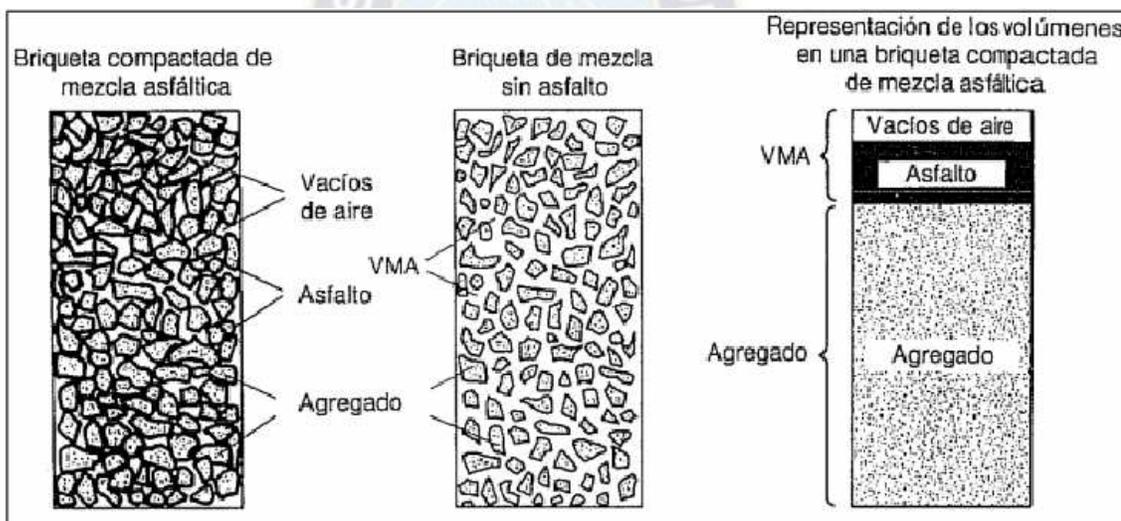
6.5.2. Determinación de la densidad y vacíos.

Las propiedades volumétricas de mezclas compactadas nos dan un indicativo del probable comportamiento del pavimento en servicio, dichas propiedades volumétricas son:

- Vacíos de aire (Va).
- Vacíos en el agregado mineral (VAM).
- Vacíos llenos con asfalto (VAF).
- Contenido de asfalto efectivo (Pbe).

**Ilustración 7**

Ilustración del VMA en una Probeta de Mezcla Compactada



Fuente: Tomada de INSTITUTO CHILENO DEL ASFALTO, Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Santiago de Chile: Asphalt Institute, 1992.

6.5.2.1. Peso específico Neta del agregado total.

Como la mezcla de cemento asfáltico se encuentra compuesta por fracciones de distintos agregados el peso específico neto se calcula con la siguiente fórmula:

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \dots \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3} + \frac{P_4}{G_4} \dots \dots + \frac{P_n}{G_n}} \quad (17)$$

Donde:

$G_{sb}$  = Peso específico neta para el agregado total

$G_1, G_2, \dots, G_n$  = Peso específico de los agregados

$P_1, P_2, \dots, P_n$  = Porcentajes de pesos de los agregados

$$G_{sb} = \frac{23\% + 28\% + 45\% + 4\%}{\frac{23\%}{2,64} + \frac{28\%}{2,63} + \frac{45\%}{2,26} + \frac{4\%}{2,73}}$$

$$G_{sb} = 2,455$$

### 6.5.2.2. Peso específico Bulk (ASTM D-1188 / AASHTO T166).

En la siguiente figura se muestra el equipo usado para este ensayo.

**Figura 36**  
*Peso de la probeta sumergido*



Fuente: Elaboración propia, laboratorio de asfaltos IEM 2021.

El peso específico Bulk se puede calcular utilizando la siguiente formula:

$$G_{rm} = \frac{A}{B - C} \quad (18)$$

Donde:

$A$  = *Peso seco al aire de una briqueta.*

$B$  = *Peso saturado superficialmente seco de la briqueta.*

$C$  = *Peso sumergido de la briqueta.*

6.5.2.3. Peso específico máximo de la mezcla asfáltica (ASTM D2041; AASHTO T209).

El peso específico máximo se puede determinar por ensayos de laboratorio según la norma ASTM D2041 se realiza la mezcla asfáltica en forma suelta (sin compactar), este ensayo consiste en saturar la muestra con agua en un picnómetro con el propósito de extraer todo el aire que contiene la mezcla.

**Figura37**  
*Picnómetro de vacío.*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura38**  
*Mezclas asfálticas sin compactar.*



Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el peso específico máximo de la mezcla asfáltica, se utilizará la siguiente fórmula:

$$G_{mm} = \frac{A}{A + B + C} \quad (19)$$

Donde:

$G_{mm}$  = *Peso específico máximo de las muestras.*

$A$  = *Peso de la muestra seca, gramos.*

$B$  = *Peso del picnómetro con agua a 25°C, gramos.*

$C$  = *Peso del picnómetro con agua y muestra a 25°C, gramos.*

**Tabla57**

*Peso específico máximo de la mezcla asfáltica sin fibra natural de totora.*

% Asf	Peso muestra A	Peso picnómetro con agua B	Peso picnómetro con agua y muestra C	Peso específico máximo Gmm
4,5	2336,2	16418	17790,8	2,43
5	2354	16418	17799,3	2,42
5,5	2367,6	16418	17805,2	2,42
6	2370,8	16418	17804,2	2,41
6,5	2289,2	16418	17751,4	2,40
7	2219,2	16418	17700,4	2,37

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla58**

*Peso específico máximo de la mezcla asfáltica con 0.15% de fibra natural de totora.*

% Asf	Peso muestra A	Peso picnómetro con agua B	Peso picnómetro con agua y muestra C	Peso específico máximo Gmm
4,5	2350,8	16428,8	17811,4	2,43
5	2369,3	16428,8	17821,1	2,43
5,5	2215,8	16428,8	17729,0	2,42
6	2540,1	16428,8	17915,8	2,41
6,5	2265,4	16428,8	17749,5	2,40
7	2405,2	16428,8	17818,7	2,37

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla59**

*Peso específico máximo de la mezcla asfáltica con 0.25% de fibra natural de totora.*

% Asf	Peso muestra A	Peso picnómetro con agua B	Peso picnómetro con agua y muestra C	Peso específico máximo Gmm
4,5	2400,2	16433,8	17842,2	2,42
5	2374,3	16433,8	17827,0	2,42
5,5	2397,6	16433,8	17840,7	2,42
6	2369,2	16433,8	17822,0	2,42
6,5	2200,6	16433,8	17717,5	2,40
7	2315,3	16433,8	17770,1	2,37

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla60**

*Peso específico máximo de la mezcla asfáltica con 0.35% de fibra natural de totora.*

% Asf	Peso muestra A	Peso picnómetro con agua B	Peso picnómetro con agua y muestra C	Peso específico máximo Gmm
4,5	2350,2	16419,8	17796,4	2,41
5	2380,1	16419,8	17812,7	2,41
5,5	2405,8	16419,8	17826,1	2,41
6	2208,9	16419,8	17708,3	2,40
6,5	2305,4	16419,8	17759,4	2,39
7	2370,8	16419,8	17790,3	2,37

Fuente: Elaboración propia.

**6.5.2.4. Peso específico efectivo del agregado.**

El peso específico efectivo del agregado,  $G_{se}$  incluye todos los vacíos de las partículas de los agregados, excepto aquellos absorbidos por el asfalto  $G_{se}$  se puede calcular utilizando la siguiente formula:

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \quad (20)$$

Donde:

$G_{se}$  = Peso específico efectivo del agregado.

$G_{mm}$  = Peso específico máximo de la mezcla asfáltica.

$P_{mm}$  = Porcentaje de masa del total de mezcla suelta = 100

$P_b$  = Contenido de asfalto, porcentaje del peso total de la mezcla.

$G_b$  = Peso específico del asfalto

$$G_{se} = \frac{100\% - 5,5\%}{\frac{100\%}{2,42} - \frac{5,5\%}{0,99}}$$

$$G_{se} = 2,539$$

**Tabla61**

*Peso específico efectivo del agregado sin fibra natural de totora.*

%CA	Pb	Gmm	Gb	Gse
4,5		2,30	0,99	2,455
5		2,33	0,99	2,508
5,5		2,34	0,99	2,539
6		2,34	0,99	2,560
6,5		2,33	0,99	2,570
7		2,30	0,99	2,561

Fuente: Elaboración propia.

### 6.5.2.5. Asfalto absorbido por el agregado.

La absorción del asfalto se determina mediante la siguiente formula:

$$P_{ba} = 100x \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \times G_{se}} \times G_b \quad (21)$$

Donde:

$P_{ba}$  = Asfalto absorbido, en porcentaje del peso de agregado.

$G_{se}$  = Peso específico efectivo del agregado.

$G_b$  = Peso específico del asfalto.

$G_{sb}$  = Peso específico neta del agregado total.

Para el 5,5% de cemento asfáltico.

$$P_{ba} = 100x \frac{2,56 - 2,51}{2,56 \times 2,51} \times 0,99$$

$$P_{ba} = 0,63\%$$

### 6.5.2.6. Peso específico máximo teórico de la mezcla asfáltica.

El peso específico máximo teórico se puede calcular utilizando la siguiente formula:

$$G_{mt} = \frac{P_b}{G_b} + \frac{100 - P_b}{G_{sb}} \quad (22)$$

Donde:

$G_{mt}$  = Peso específico máximo teórico de la mezcla asfáltica.

$P_{mm}$  = Porcentaje del peso total de la mezcla suelta = 100.

$P_b$  = Contenido de asfalto, porcentaje del total del peso de la mezcla.

$G_{sb}$  = Peso específico neta para el agregado total.

$G_b$  = Peso específico del asfalto.

### 6.5.2.7. Porcentaje de vacíos de aire en la mezcla:

El porcentaje de vacíos consiste en los pequeños espacios de aire entre partículas de agregado en una mezcla asfáltica compactada, el porcentaje de vacíos podemos determinar con la siguiente formula:

$$V_a = \frac{G_{mm} - G_{rm}}{G_{mm}} \times 100 \quad (23)$$

Donde:

$V_a$  = Vacios de aire en la mezcla compactada.

$G_{mm}$  = Peso específico máximo de la mezcla asfáltica.

$G_{rm}$  = Peso específico real promedio.

### 6.5.2.8. Porcentaje de vacíos en el agregado mineral.

EL porcentaje de vacíos de agregado mineral se puede calcular utilizando la siguiente formula:

$$VMA = V_a + \frac{P_b \times G_{rm}}{G_b} \quad (24)$$

Donde:

$VMA$  = Porcentaje de vacíos en el agregado mineral.

$V_a$  = Vacios de aire en la mezcla compactada.

$G_{rm}$  = Peso específico real promedio.

$G_b$  = Peso específico del asfalto.

### 6.5.2.9. Porcentaje de vacíos llenos de asfalto.

EL porcentaje de vacíos llenos de asfalto se puede calcular utilizando la siguiente formula:

$$VFA = \frac{VMA - V_a}{VMA} \quad (25)$$

Donde:

$VFA$  = Porcentaje de vacíos llenos de asfalto.

$VMA$  = Porcentaje de vacíos en el agregado mineral.

$V_a$  = Vacíos de aire en la mezcla compactada.

#### 6.5.2.10. Factores de corrección de la estabilidad.

Los factores de corrección de la estabilidad están en función a las alturas de las probetas, cuando se tiene alturas mayores a 6,35cm el factor de corrección disminuye la estabilidad ya que el factor es menor a 1, para alturas menores a 6,35 el factor de corrección aumenta la estabilidad.

**Tabla 62**  
*Factores de corrección de la estabilidad.*

Altura aproximada de la probeta (cm)	Factor de corrección	Altura aproximada de la probeta	Factor de corrección	Altura aproximada de la probeta	Factor de corrección	Altura aproximada de la probeta	Factor de corrección	Altura aproximada de la probeta	Factor de corrección	Altura aproximada de la probeta	Factor de corrección	Altura aproximada de la probeta	Factor de corrección
5,61	1,231	5,91	1,131	6,21	1,037	6,51	0,96	6,81	0,895	7,11	0,8376	7,41	0,79
5,62	1,228	5,92	1,128	6,22	1,035	6,52	0,9581	6,82	0,8925	7,12	0,8357	7,42	0,788
5,63	1,224	5,93	1,124	6,23	1,032	6,53	0,9563	6,83	0,89	7,13	0,8338	7,43	0,786
5,64	1,22	5,94	1,121	6,24	1,029	6,54	0,9544	6,84	0,8863	7,14	0,832	7,44	0,784
5,65	1,216	5,95	1,118	6,25	1,027	6,55	0,9525	6,85	0,8844	7,15	0,83	7,45	0,782
5,66	1,213	5,96	1,115	6,26	1,024	6,56	0,9507	6,86	0,8825	7,16	0,8288	7,46	0,78
5,67	1,209	5,97	1,112	6,27	1,021	6,57	0,9488	6,87	0,8807	7,17	0,8275	7,47	0,7788
5,68	1,205	5,98	1,109	6,28	1,019	6,58	0,9469	6,88	0,8788	7,18	0,8263	7,48	0,7775
5,69	1,201	5,99	1,106	6,29	1,016	6,59	0,945	6,89	0,8788	7,19	0,825	7,49	0,7763
5,70	1,198	6	1,103	6,3	1,013	6,6	0,9432	6,9	0,8769	7,2	0,8238	7,5	0,775
5,71	1,194	6,01	1,099	6,31	1,011	6,61	0,9413	6,91	0,875	7,21	0,8225	7,51	0,7738
5,72	1,19	6,02	1,096	6,32	1,008	6,62	0,9394	6,92	0,8732	7,22	0,8213	7,52	0,7725
5,73	1,187	6,03	1,093	6,33	1,005	6,63	0,9376	6,93	0,8713	7,23	0,82	7,53	0,7713
5,74	1,184	6,04	1,09	6,34	1,003	6,64	0,9357	6,94	0,8694	7,24	0,8188	7,54	0,77
5,75	1,181	6,05	1,087	6,35	1	6,65	0,9338	6,95	0,8676	7,25	0,8175	7,55	0,7688
5,76	1,178	6,06	1,084	6,36	0,9975	6,66	0,9319	6,96	0,8657	7,26	0,8163	7,56	0,7675
5,77	1,174	6,07	1,081	6,37	0,885	6,67	0,93	6,97	0,8638	7,27	0,815	7,57	0,7663
5,78	1,171	6,08	1,078	6,38	0,9925	6,68	0,9275	6,98	0,862	7,28	0,8138	7,58	0,766
5,79	1,168	6,09	1,074	6,39	0,99	6,69	0,925	6,99	0,86	7,29	0,8125	7,59	0,7638
5,80	1,165	6,1	1,071	6,4	0,9875	6,7	0,9225	7	0,8581	7,3	0,8113	7,6	0,7625
5,81	1,162	6,11	1,068	6,41	0,985	6,71	0,92	7,01	0,8563	7,31	0,81	7,61	0,7613
5,82	1,159	6,12	1,065	6,42	0,9825	6,72	0,9175	7,02	0,8544	7,32	0,808	7,62	0,76
5,83	1,156	6,13	1,062	6,43	0,98	6,73	0,915	7,03	0,8525	7,33	0,806	7,63	0,7588
5,84	1,153	6,14	1,059	6,44	0,9775	6,74	0,9125	7,04	0,8507	7,34	0,804	7,64	0,7575
5,85	1,149	6,15	1,056	6,45	0,975	6,75	0,91	7,05	0,8488	7,35	0,802		
5,86	1,146	6,16	1,053	6,46	0,9725	6,76	0,9075	7,06	0,8469	7,36	0,8		
5,87	1,143	6,17	1,049	6,47	0,97	6,77	0,905	7,07	0,845	7,37	0,798		
5,88	1,14	6,18	1,046	6,48	0,9675	6,78	0,9025	7,08	0,8431	7,38	0,796		
5,89	1,137	6,19	1,043	6,49	0,965	6,79	0,9	7,09	0,8413	7,39	0,794		
5,90	1,134	6,2	1,04	6,5	0,9625	6,8	0,8975	7,1	0,8394	7,4	0,792		

Fuente: Tomada de Estudio de Materiales Calizos como Agregado Grueso en Mezclas, (Josephia).

### 6.5.2.11. Ensayo de estabilidad y flujo.

- Se debe colocar las probetas en agua a una temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$  durante un tiempo de 30 o 40 min.
- Se saca la probeta del agua secando cuidadosamente la superficie, se coloca la probeta en la mordaza y centramos el conjunto en el aparato de carga.
- Se aplica la carga a la probeta a una velocidad de deformación de 51mm por minuto, hasta que produzca la falla, el punto de falla es la carga máxima se toma la lectura del flujo cuando la carga llegue a la falla, este ensayo no debe durar más de 30 segundos.

**Figura39**

*Probetas en agua a  $60^{\circ}\text{C}$ .*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura40**

*Mordaza y aparato de carga.*



Fuente: Elaboración propia.

### 6.5.2.12. Especificaciones para el diseño de la mezcla.

Se prepararán probetas con determinados contenidos de asfalto de los cuales se elaborarán graficas donde se diagramarán los siguientes valores:

- Estabilidad.
- Fluencia.

- Densidad.
- Porcentaje de vacíos de aire (Va).
- Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA).

Para determinar el porcentaje óptimo de cemento asfáltico tenemos que cumplir con las especificaciones otorgadas por el Instituto del Asfaltos.

**Tabla63**  
*Especificaciones en zonas convencionales.*

Criterios de diseño para zonas convencionales		
Características	Tráfico Pesado	
	Min.	Max.
Nº de golpes de compactación en cada cara de la briqueta	75	
Estabilidad (lb)	1800	
Flujo (8-14) (0,01")	8	14
Porcentaje de vacíos en la mezcla %	3	5
Porcentaje de vacíos en los agregados minerales %	12	13
Porcentaje de vacíos en relleno de asfalto %	65	75

Fuente: Especificaciones del Instituto del Asfalto, 1992.

### 6.5.2.13. Diseño de mezclas asfálticas en caliente método MARSHALL.

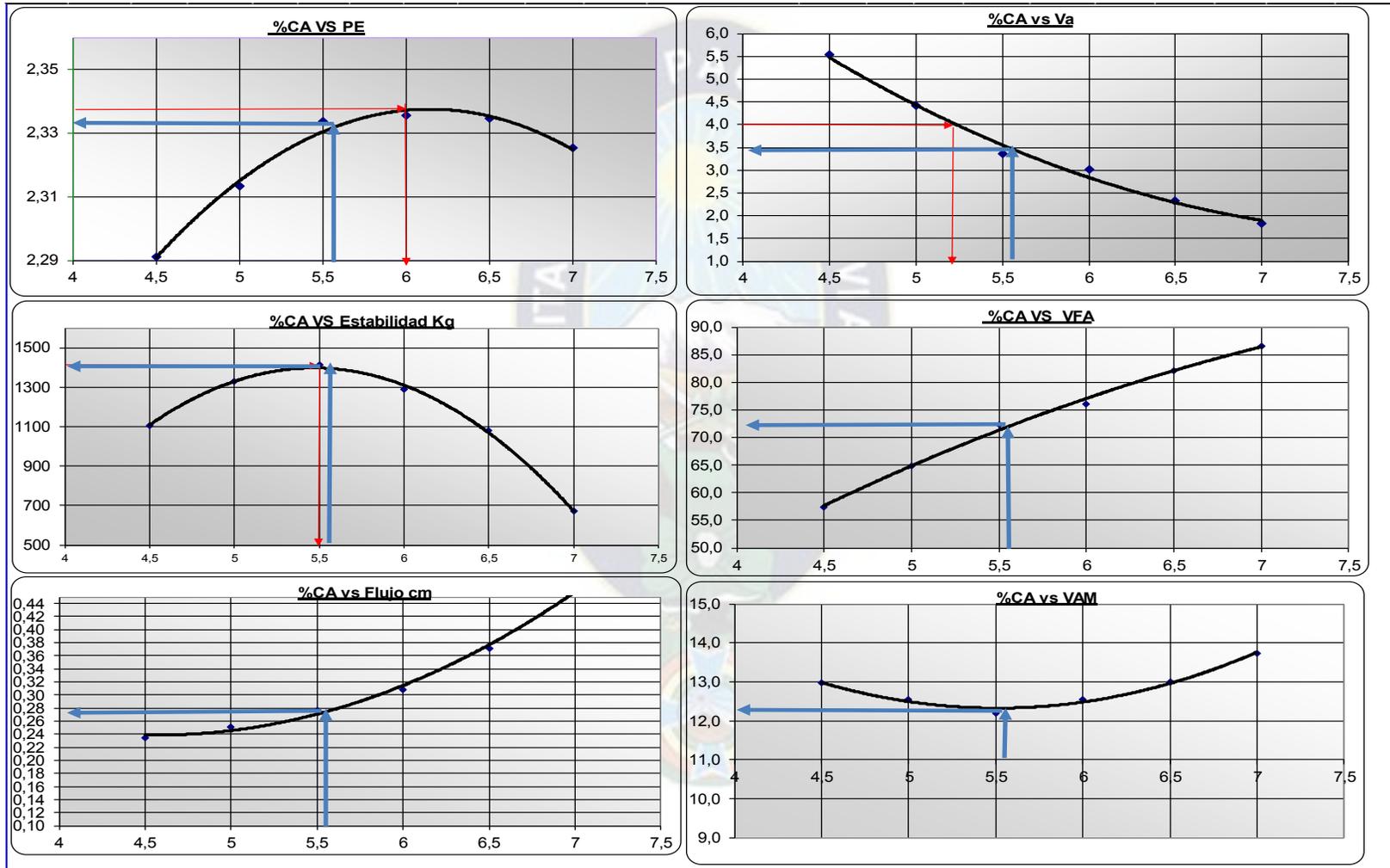
**Tabla64**

*Diseño de mezclas asfálticas en caliente sin fibra natural de totora.*

		Gsb	2,52																					
Comp.	Dosificación		Peso	Vol.	PE max.		No	Alt.	Factor	Pesos de la Probeta (g)			Vol	PE	Asf.	Lect.	Estabilidad			Lect.	Flujo	Est.		
de la	Agreg.	Mezcla	Espec.	Vd	Teor.	Mez.	Briq.	h	Correc.	seco	SatSupSe	Sumerg.	Muest.	Grm	Util	Dial	Real		Correg.	Dial	Real	Flujo		
Mezcla	%	%	Gs	(cc)	Gmt	Gmm		[cm]	de Briq.	al aire	SSS	c/Canas.	(cc)	Prob.	[%]	0,0001"	[lbr]	[kg]	[kg]	0,01"	[cm]	Kg/cm		
Grava	23	21,965	2,74	9,33	2,355	2,425	1	6,38	0,9925	1175,9	1179,3	665,1	514,20	2,287	3,47	252	2520,0	1143,1	1134,5	9,0	0,23	4940,85		
Gravilla	28	26,74	2,74	11,35			2	6,53	0,9563	1179,4	1182,8	666,4	516,40	2,284		245	2450,0	1111,3	1062,8	9,6	0,24	4358,41		
Arena	45	42,975	2,29	18,24			3	6,46	0,9725	1180,7	1184,1	671,2	512,85	2,302		254,8	2548,0	1155,8	1124,0	9,0	0,23	4895,08		
Filler	4	3,82	2,73	1,62																				
C.A.		4,5	0,99	1,91																				
Grava	23	21,85	2,74	9,34	2,339	2,420	1	6,47	0,9700	1184,5	1186,6	675,5	511,10	2,318	5,18	280	2800,0	1270,1	1232,0	9,6	0,24	5052,4		
Gravilla	28	26,6	2,74	11,37			2	6,25	1,0270	1189,3	1190,1	674,5	515,60	2,307		287	2870,0	1301,8	1337,0	10,2	0,26	5180,81		
Arena	45	42,75	2,29	18,28			3	6,10	1,0710	1188,9	1190,4	677,0	513,35	2,316		291,2	2912,0	1320,9	1414,7	9,9	0,25	5637,2		
Filler	4	3,8	2,73	1,62																				
C.A.		5	0,99	2,14																				
23	23	21,735	2,74	9,36	2,322	2,415	1	6,38	0,9925	1186,5	1186,6	676,2	510,40	2,325	5,18	281,4	2814,0	1276,4	1266,9	11,3	0,29	4421,65		
28	28	26,46	2,74	11,40			2	6,32	1,0080	1190,7	1191,4	681,7	509,70	2,336		308	3080,0	1397,1	1408,3	10,7	0,27	5171,97		
45	45	42,525	2,29	18,31			3	5,78	1,1710	1193,6	1194,0	684,0	510,05	2,340		294	2940,0	1333,6	1561,6	10,7	0,27	5735,2		
4	4	3,78	2,73	1,63																				
C.A.		5,5	0,99	2,37																				
Grava	23	21,62	2,74	9,38	2,306	2,408	1	6,14	1,0590	1159,3	1162,1	665,8	496,30	2,336	5,38	259	2590,0	1174,8	1244,1	12,4	0,31	3950,15		
Gravilla	28	26,32	2,74	11,42			2	6,14	1,0590	1162,1	1164,9	667,2	497,70	2,335		277,2	2772,0	1257,4	1331,6	11,8	0,30	4427,69		
Arena	45	42,3	2,29	18,35																				
Filler	4	3,76	2,73	1,63																				
C.A.		6	0,99	2,60																				
Grava	23	21,505	2,74	9,39	2,289	2,390	1	6,06	1,0840	1112,0	1113,0	635,8	477,20	2,330	5,72	210	2100,0	952,6	1032,6	14,6	0,37	2776,81		
Gravilla	28	26,18	2,74	11,44																		4,0		
Arena	45	42,075	2,29	18,38			2	5,74	1,1840	1116,0	1117,0	639,8	477,20	2,339		210	2100,0	952,6	1127,8	14,6	0,37	3032,98		
Filler	4	3,74	2,73	1,63																				
C.A.		6,5	0,99	2,84																				
Grava	23	21,39	2,74	9,41	2,273	2,369	1	6,21	1,0370	1093,8	1095,9	626,8	469,10	2,332	6,36	137,2	1372,0	622,3	645,4	18,6	0,47	1368,97		
Gravilla	28	26,04	2,74	11,45			2	6,15	1,0560	1101,5	1103,6	629,7	473,90	2,324		133	1330,0	603,3	637,1	18,0	0,46	1393,42		
Arena	45	41,85	2,29	18,41			3	5,70	1,1980	1100,7	1102,8	628,4	474,35	2,320		134,4	1344,0	609,6	730,3	18,0	0,46	1597,43		
Filler	4	3,72	2,73	1,64																				
C.A.		7	0,99	3,08																				

Fuente: Elaboración propia.

**Grafica 3**  
 Mezclas asfálticas sin la adición de fibra natural de totora



Fuente: Elaboración propia.

- Gráficas para determinar el contenido óptimo de asfalto Marshall.

**Tabla 65**  
Datos para las gráficas MARSHALL

CA %	PE Grm Prom.	% de Vacíos			Est. Prom. [kg]	Flujo Prom. [cm]
		Mezcla [%]	Agreg. [%]	c/Asf. [%]		
4,5	2,29	5,53	12,98	57,41	1107,1	0,23
5	2,31	4,41	12,54	64,88	1327,9	0,25
5,5	2,33	3,37	12,20	72,37	1412,2	0,28
6	2,34	3,01	12,54	75,97	1287,9	0,31
6,5	2,33	2,32	12,99	82,11	1080,2	0,37
7	2,33	1,84	13,73	86,61	670,9	0,46

Fuente: Elaboración propia.

Mezcla asfáltica sin fibra de totora		
Contenido asfalto máxima densidad		6
Contenido asfalto 4% huecos aire		5,2
Contenido asfalto máxima estabilidad		5,5
Contenido asfalto óptimo, promedio		5,6
Verificación para 5,6% de cemento asfáltico		
Peso específico	2,33	Cumple
Estabilidad (lb)	3066,8	Cumple
% Vacíos en la mezcla	3,40	Cumple
% Vacíos en el agregado	12,39	Cumple
% Vacíos con asfalto	72,52	Cumple
Flujo (0,01")	10,95	Cumple

Porcentaje de cemento asfáltico óptimo es 5,6%

Rango	Mínimo	Máximo	Especificación	
%Cemento asfáltico	5,1	5,8		
Peso específico	2,32	2,33		
Estabilidad (lb)	2987,09	3003,56	1800	Cumple
% Vacíos en la mezcla	4,24	3,10	3%-5%	Cumple
% Vacíos en el agregado	12,48	12,44	12%-13%	Cumple
% Vacíos con asfalto	66,19	74,85	65%-75%	Cumple
Flujo (0,01")	9,81	11,62	8.-14	Cumple

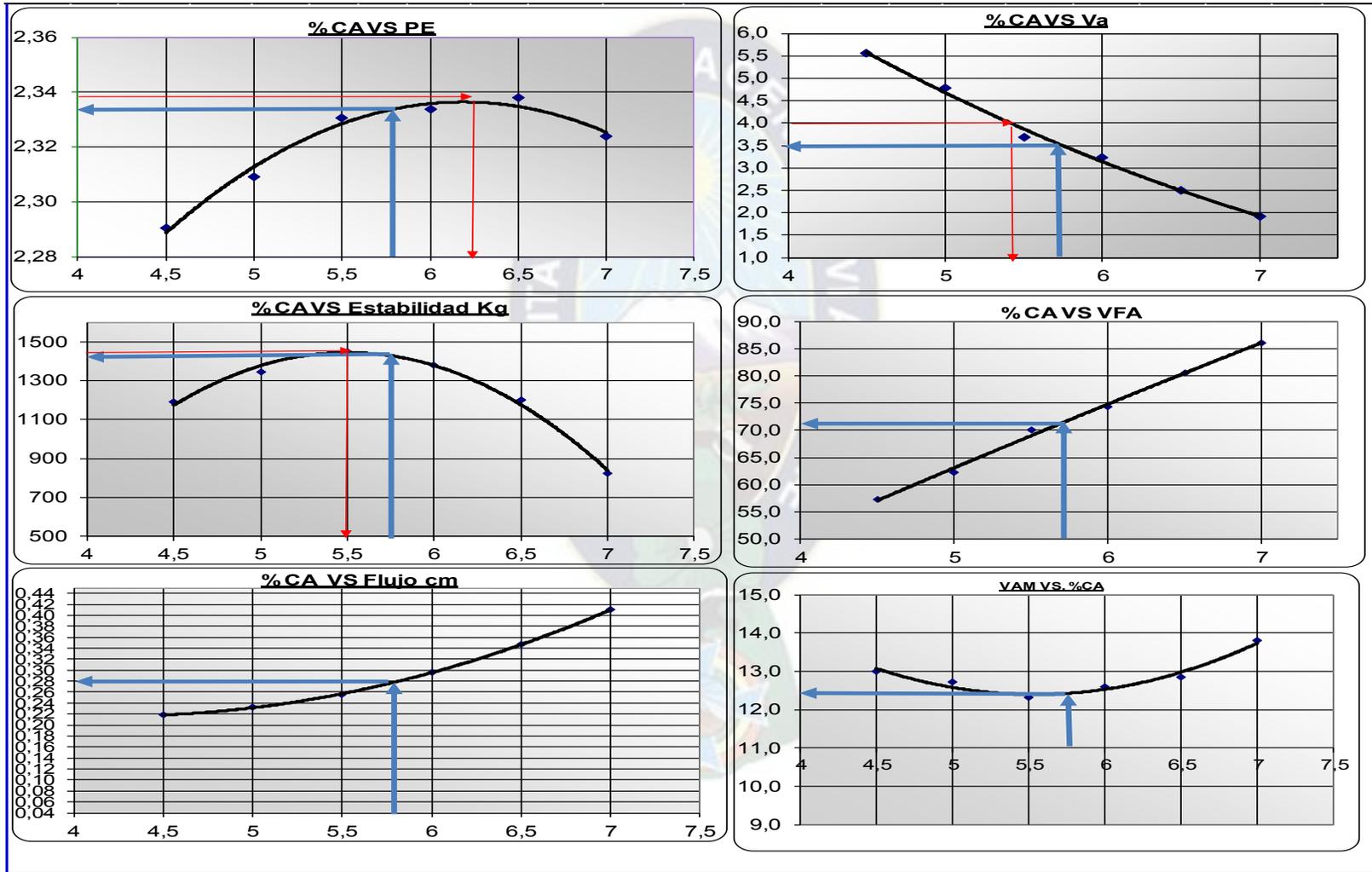
**Tabla66**

*Diseño de mezcla asfáltica en caliente con 0.15% de fibra natural de totora.*

		Gsb	2,52																				
Comp.	Dosificación		Peso	Vol.	PE max.		No	Alt.	Factor	Pesos de la Probeta (g)			Vol	PE	Lect.	Estabilidad			Lect.	Flujo	Est.		
de la	Agreg.	Mezcla	Espec.	Vd	Teor.	Mezc.	Briq.	h	Correc.	seco	SatSupSe	Sumerg.	Muest.	Grm	Dial	Real			Dial	Real	Flujo		
Mezcla	%	%	Gs	(cc)	Gmt	Gmm	[cm]	de Briq.	al aire	SSS	c/Canas.	(cc)	Prob.	0,0001"	[lbr]	[kg]	[kg]	0,01"	[cm]	Kg/cm			
Grava	23	21,93	2,74	9,31	2,36	2,43	1	6,39	0,9900	1179,5	1182,6	667,6	515,00	2,29	266,5	2665,0	1208,8	1196,8	8,5	0,22	5556		
Gravilla	28	26,70	2,74	11,33			2	6,39	0,9900	1180,0	1190,4	676,1	514,30	2,29	260	2600,0	1179,4	1167,6	9,0	0,23	5085		
Arena	45	42,91	2,29	18,22			3	6,42	0,9825	1187,8	1194,5	675,0	519,50	2,29	273	2730,0	1238,3	1216,7	8,2	0,21	5841		
Filler	4	3,81	2,73	1,62																			
Totora		0,15																					
C.A.		4,5	0,99	1,91																			
Grava	23	21,85	2,74	9,34	2,34	2,43	1	6,48	0,9675	1179,7	1183,9	672,6	511,30	2,31	306,8	3068,0	1391,6	1346,4	9,0	0,23	5864		
Gravilla	28	26,6	2,74	11,37			2	6,47	0,9700	1184,3	1189,1	676,5	512,55	2,31	305,5	3055,0	1385,7	1344,2	9,3	0,24	5678		
Arena	45	42,75	2,29	18,28																			
Filler	4	3,8	2,73	1,62																			
Totora		0,15																					
C.A.		5	0,99	2,14																			
Grava	23	21,735	2,74	9,36	2,32	2,42	1	6,43	0,9800	1181,8	1183,8	677,5	506,30	2,33	318,5	3185,0	1444,7	1415,8	10,2	0,26	5486		
Gravilla	28	26,46	2,74	11,40			2	6,43	0,9800	1188,8	1191,0	681,1	509,90	2,33	331,5	3315,0	1503,7	1473,6	10,2	0,26	5710		
Arena	45	42,525	2,29	18,31			3	6,44	0,9775	1189,3	1191,4	680,2	511,20	2,33	328,9	3289,0	1491,9	1458,3	9,9	0,25	5811		
Filler	4	3,78	2,73	1,63																			
Totora		0,15																					
C.A.		5,5	0,99	2,37																			
Grava	23	21,62	2,74	9,38	2,31	2,41	1	6,43	0,9800	1191,9	1192,5	681,7	510,80	2,33	312	3120,0	1415,2	1386,9	11,3	0,29	4841		
Gravilla	28	26,32	2,74	11,42			2	6,41	0,9850	1188,9	1189,5	678,7	510,80	2,33	318,5	3185,0	1444,7	1423,0	11,3	0,29	4967		
Arena	45	42,3	2,29	18,35			3	6,42	0,9825	1185,3	1185,9	679,5	506,40	2,34	299	2990,0	1356,3	1332,5	12,4	0,31	4231		
Filler	4	3,76	2,73	1,63																			
Totora		0,15																					
C.A.		6	0,99	2,60																			
Grava	23	21,505	2,74	9,39	2,29	2,40	1	6,45	0,9750	1200,4	1200,6	688,3	512,30	2,34	273	2730,0	1238,3	1207,4	13,5	0,34	3516		
Gravilla	28	26,18	2,74	11,44			1	6,40	0,9875	1202,2	1202,6	687,3	515,30	2,33	267,8	2678,0	1214,7	1199,6	13,7	0,35	3436		
Arena	45	42,075	2,29	18,38																			
Filler	4	3,74	2,73	1,63																			
Totora		0,15																					
C.A.		6,5	0,99	2,84																			
Grava	23	21,39	2,74	9,41	2,27	2,37	1	5,88	1,1400	1089,3	1089,4	620,5	468,90	2,32	169	1690,0	766,6	873,9	16,3	0,41	2108		
Gravilla	28	26,04	2,74	11,45			2	6,41	0,9850	1148,1	1146,8	652,8	493,95	2,32	172,9	1729,0	784,3	772,5	16,0	0,41	1903		
Arena	45	41,85	2,29	18,41																			
Filler	4	3,72	2,73	1,64																			
Totora		0,15																					
C.A.		7	0,99	3,08																			

Fuente: Elaboración propia.

**Grafica 4**  
 Mezclas asfálticas con 0.15% de fibra natural de totora



Fuente: Elaboración propia.

- Gráficas para determinar el contenido óptimo de asfalto Marshall.

**Tabla 67**  
Datos para las gráficas MARSHALL.

CA %	PE Grm Prom.	% de Vacíos			Est. Prom. [kg]	Flujo Prom. [cm]
		Mezcla [%]	Agreg. [%]	c/Asf. [%]		
4,5	2,29	5,55	13,00	57,29	1193,66	0,22
5	2,31	4,79	12,71	62,35	1345,30	0,23
5,5	2,33	3,69	12,31	70,02	1449,25	0,26
6	2,33	3,24	12,60	74,29	1380,83	0,30
6,5	2,34	2,50	12,85	80,56	1203,46	0,35
7	2,32	1,91	13,80	86,14	823,21	0,41

Fuente: Elaboración propia.

<b>Mezcla asfáltica con 0,15% fibra de totora</b>		
Contenido asfalto máxima densidad		6,3
Contenido asfalto 4% huecos aire		5,4
Contenido asfalto máxima estabilidad		5,5
Contenido asfalto óptimo, promedio		5,7
<b>Verificación para 5,7% de cemento asfáltico</b>		
Peso específico	2,33	Cumple
Estabilidad (lb)	3164,71	Cumple
% Vacíos en la mezcla	3,57	Cumple
% Vacíos en el agregado	12,41	Cumple
% Vacíos con asfalto	71,35	Cumple
Flujo (0,01")	11,27	Cumple

Porcentaje de cemento asfáltico óptimo es 5,7%

Rango	Mínimo	Máximo	Especificación	
%Cemento asfáltico	5,2	6,00		
Peso específico	2,32	2,34		
Estabilidad (lb)	3133,74	3040,26	1800	Cumple
% Vacíos en la mezcla	4,35	3,14	3%-5%	Cumple
% Vacíos en el agregado	12,46	12,53	12%-13%	Cumple
% Vacíos con asfalto	65,48	74,82	65%-75%	Cumple
Flujo (0,01")	9,98	12,39	8.-14	Cumple

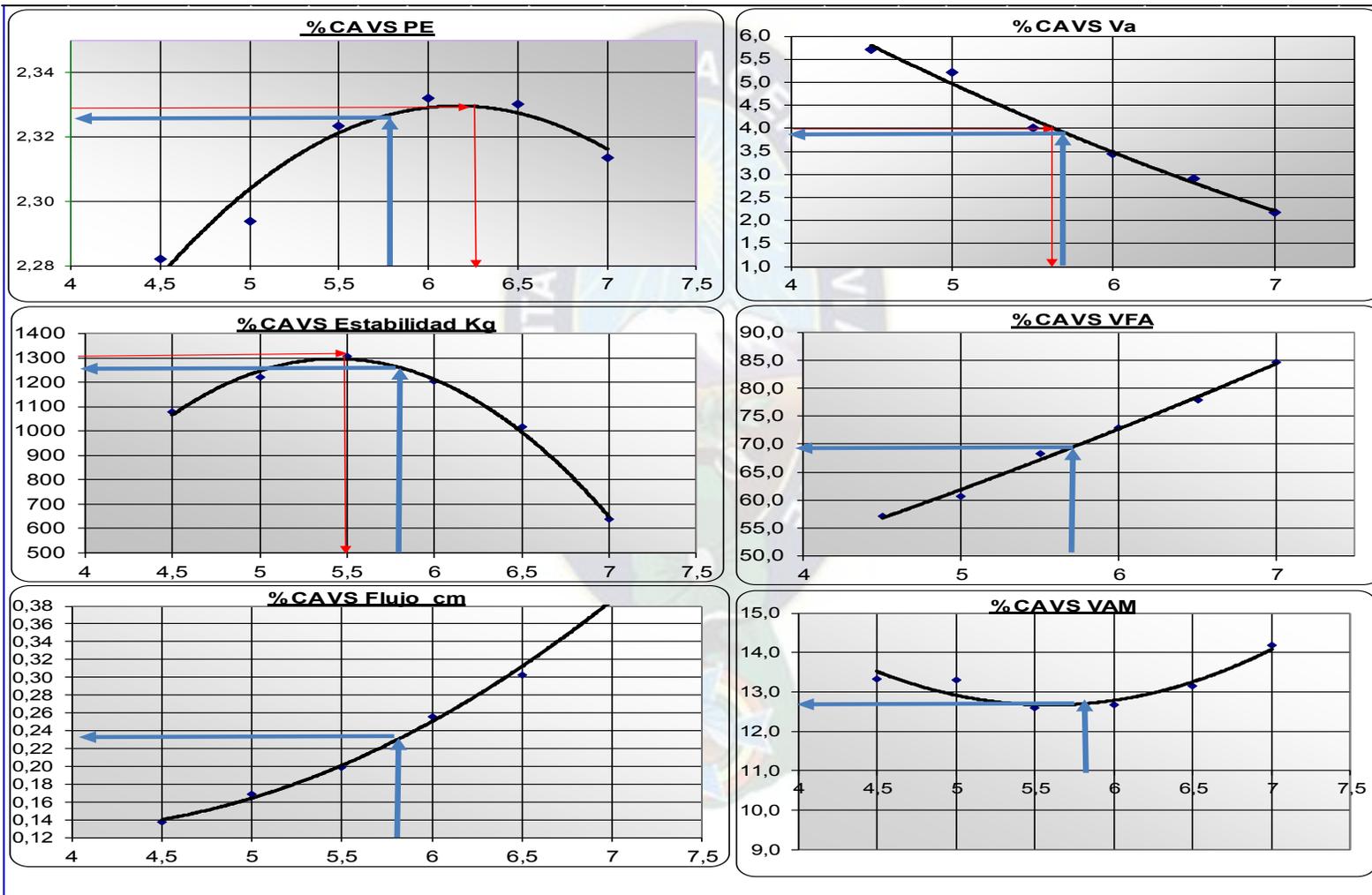
**Tabla 68**

*Diseño de mezcla asfáltica en caliente con 0,25% de fibra natural de totora.*

		Gsb = <b>2,52</b>																					
Comp.	Dosificación	Peso	Vol.	PE max.		No	Alt.	Factor	Pesos de la Probeta (g)			Vol	PE	Lect.	Estabilidad			Lect.	Flujo	Est.			
de la	Agreg.	Mezcla	Espec.	Vd	Teor.	Mezc.	Briq.	h	Correc.	seco	SatSupSe	Sumerg.	Muest.	Grm	Dial	Real		Correg.	Dial	Real	Flujo		
Mezcla	%	%	Gs	(cc)	Gmt	Gmm		[cm]	de Briq.	al aire	SSS	c/Canas.	(cc)	Prob.	0,0001"	[lbr]	[kg]	[kg]	0,01"	[cm]	Kg/cm		
Grava	23	<b>21,91</b>	2,74	9,3	2,36	2,42	1	6,34	1,0030	1169,5	1177,9	666,9	<b>511,0</b>	2,29	233,75	2338	1060,3	1063,5	5,6	0,14	7477		
Gravilla	28	<b>26,67</b>	2,74	11,3			2	6,29	1,0160	1179,0	1185,9	669,1	<b>516,8</b>	2,28	235	2350	1066,0	1083,0	5,3	0,14	8015		
Arena	45	<b>42,86</b>	2,29	18,2			3	6,32	1,0080	1176,1	1182,6	665,8	<b>516,8</b>	2,28	237,5	2375	1077,3	1085,9	5,3	0,14	8036		
Filler	4	<b>3,81</b>	2,73	1,6																			
Totora		<b>0,25</b>																					
C.A.		<b>4,5</b>	0,99	1,9																			
Grava	23	21,85	2,74	9,3	2,34	2,42	1	6,28	1,0190	1181,6	1184,7	669,8	<b>514,9</b>	2,29	262,5	2625	1190,7	1213,3	6,7	0,17	7108		
Gravilla	28	26,6	2,74	11,4			2	6,29	1,0160	1190,5	1193,4	676,2	<b>517,2</b>	2,30	268,75	2688	1219,1	1238,6	6,4	0,16	7572		
Arena	45	42,75	2,29	18,3			3	6,27	1,0210	1186,4	1189,5	670,1	<b>519,4</b>	2,28	262,5	2625	1190,7	1215,7	6,7	0,17	7122		
Filler	4	3,8	2,73	1,6																			
Totora		<b>0,25</b>																					
C.A.		<b>5</b>	0,99	2,1																			
Grava	23	21,735	2,74	9,4	2,32	2,42	1	6,21	1,0370	1185,2	1185,9	674,4	<b>511,5</b>	2,32	277,5	2775	1258,7	1305,3	7,8	0,20	6555		
Gravilla	28	26,46	2,74	11,4			2	6,20	1,0400	1192,2	1193,1	681,1	<b>512,0</b>	2,33	281,25	2813	1275,8	1326,8	7,8	0,20	6663		
Arena	45	42,525	2,29	18,3			3	6,24	1,0290	1192,7	1193,5	680,3	<b>513,2</b>	2,32	275	2750	1247,4	1283,6	7,8	0,20	6446		
Filler	4	3,78	2,73	1,6																			
Totora		<b>0,25</b>																					
C.A.		<b>5,5</b>	0,99	2,4																			
Grava	23	21,62	2,74	9,4	2,31	2,42	1	6,42	0,9825	1177,6	1178,1	672,5	<b>505,6</b>	2,33	268,75	2688	1219,1	1197,7	10,1	0,26	4678		
Gravilla	28	26,32	2,74	11,4			2	6,41	0,9850	1173,7	1174,3	670,2	<b>504,1</b>	2,33	262,5	2625	1190,7	1172,8	10,6	0,27	4340		
Arena	45	42,3	2,29	18,3			3	6,38	0,9925	1170,6	1171,1	670,5	<b>500,6</b>	2,34	275	2750	1247,4	1238,0	9,5	0,24	5120		
Filler	4	3,76	2,73	1,6																			
Totora		<b>0,25</b>																					
C.A.		<b>6</b>	0,99	2,6																			
Grava	23	21,505	2,74	9,4	2,29	2,40	1	6,37	0,9950	1180,3	1182,3	675,5	<b>506,8</b>	2,33	225	2250	1020,6	1015,5	12,0	0,31	3321		
Gravilla	28	26,18	2,74	11,4			2	6,37	0,9950	1179,2	1181,2	675,4	<b>505,8</b>	2,33	225	2250	1020,6	1015,5	11,8	0,30	3400		
Arena	45	42,075	2,29	18,4																			
Filler	4	3,74	2,73	1,6																			
Totora		<b>0,25</b>																					
C.A.		<b>6,5</b>	0,99	2,8																			
Grava	23	21,39	2,74	9,4	2,27	2,37	1	6,09	1,0740	1058,8	1060,7	605,1	<b>455,6</b>	2,32	137,5	1375	623,7	669,9	15,1	0,38	1744		
Gravilla	28	26,04	2,74	11,5			2	6,30	1,0130	1180,7	1183,4	670,7	<b>512,7</b>	2,30	131,25	1313	595,4	603,1	15,7	0,40	1514		
Arena	45	41,85	2,29	18,4																			
Filler	4	3,72	2,73	1,6																			
Totora		<b>0,25</b>																					
C.A.		<b>7</b>	0,99	3,1																			

Fuente: Elaboración propia.

**Grafica 5**  
 Mezclas asfálticas con 0.25% de fibra natural de totora



Fuente: Elaboración propia.

- Gráficas para determinar el contenido óptimo de asfalto Marshall.

**Tabla 69**  
Datos para las gráficas MARSHALL.

CA %	PE Grm Prom.	% de Vacíos			Est. Prom. [kg]	Flujo Prom. [cm]
		Mezcla [%]	Agreg. [%]	c/Asf. [%]		
4,5	2,28	5,71	13,32	57,16	1077,47	0,14
5	2,29	5,22	13,29	60,71	1222,53	0,17
5,5	2,32	4,00	12,59	68,23	1305,22	0,20
6	2,33	3,44	12,68	72,85	1202,87	0,26
6,5	2,33	2,91	13,15	77,87	1015,50	0,30
7	2,31	2,18	14,18	84,62	636,47	0,39

Fuente: Elaboración propia.

<b>Mezcla asfáltica con 0,25% fibra de totora</b>		
Contenido asfalto máxima densidad		6,3
Contenido asfalto 4% huecos aire		5,6
Contenido asfalto máxima estabilidad		5,5
Contenido asfalto óptimo, promedio		5,8
<b>Verificación para 5,8% de cemento asfáltico</b>		
Peso específico	2,33	Cumple
Estabilidad (lb)	2778,97	Cumple
% Vacíos en la mezcla	3,76	Cumple
% Vacíos en el agregado	12,69	Cumple
% Vacíos con asfalto	70,48	Cumple
Flujo (0,01")	8,96	Cumple

Porcentaje de cemento asfáltico óptimo es 5,8%

Rango	Mínimo	Máximo	Especificación	
%Cemento asfáltico	5,6	6,20		
Peso específico	2,32	2,33		
Estabilidad (lb)	2841,07	2514,89	1800	Cumple
% Vacíos en la mezcla	4,05	3,21	3%-5%	Cumple
% Vacíos en el agregado	12,66	12,93	12%-13%	Cumple
% Vacíos con asfalto	68,28	74,99	65%-75%	Cumple
Flujo (0,01")	8,20	10,70	8.-14	Cumple

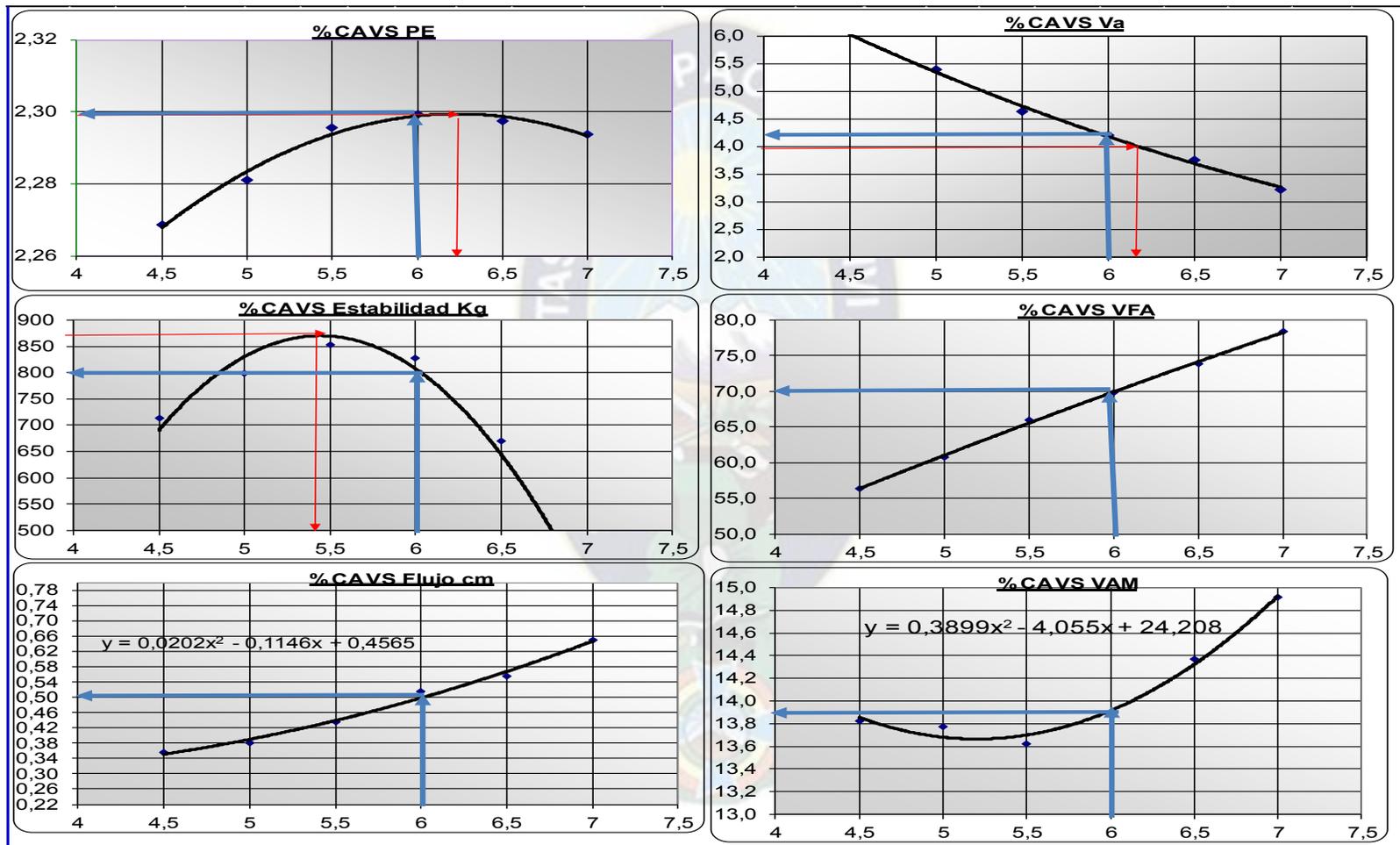
**Tabla 70**

*Diseño de mezcla asfáltica en caliente con 0,35% de fibra natural de totora.*

		Gsb = <b>2,52</b>																							
Comp.	Dosificación		Peso	Vol.	PE max.	No	Alt.	Factor	Pesos de la Probeta (g)				Vol	PE	Asf.	Lect.	Estabilidad			Lect.	Flujo	Est.			
de la	Agreg.	Mezcla	Espec.	Vd	Teor.	Mezc.	Briq.	h	Correc.	seco	SatSupSe	Sumerg.	Muest.	Grm	Util	Dial	Real		Correg.	Dial	Real	Flujo			
Mezcla	%	%	Gs	(cc)	Gmt	Gmm	[cm]	de Briq.		al aire	SSS	c/Canas.	(cc)	Prob.	[%]	0,0001"	[lbr]	[kg]	[kg]	0,01"	[cm]	Kg/cm			
Grava	23	<b>21,88</b>	2,74	9,3	2,36	2,41	1	6,70	0,9225	1185,9	1192,4	670,6	<b>521,8</b>	2,27	3,47	168	1680,0	762,05	702,99	13,8	0,35	2005,6			
Gravilla	28	<b>26,64</b>	2,74	11,3			2	6,70	0,9225	1180,0	1190,0	669,1	<b>520,9</b>	2,27		179,2	1792,0	812,85	749,86	13,5	0,34	2184,9			
Arena	45	<b>42,82</b>	2,29	18,2			3	6,67	0,9300	1191,1	1199,2	674,0	<b>525,2</b>	2,27		162,4	1624,0	736,65	685,08	14,7	0,37	1839,3			
Filler	4	<b>3,81</b>	2,73	1,6																					
Totora		<b>0,35</b>																							
C.A.		<b>4,5</b>	0,99	1,9																					
Grava	23	21,85	2,74	9,3	2,34	2,41	1	6,57	0,9488	1191,7	1195,9	672,5	<b>523,4</b>	2,28	5,18	184,8	1848,0	838,25	795,33	15,2	0,39	2054,6			
Gravilla	28	26,6	2,74	11,4			2	6,61	0,9413	1200,1	1204,3	678,2	<b>526,1</b>	2,28		183,7	1836,8	833,17	784,27	15,2	0,39	2026			
Arena	45	42,75	2,29	18,3			3	6,58	0,9469	1196,2	1200,5	677,0	<b>523,6</b>	2,28		190,4	1904,0	863,65	817,79	14,5	0,37	2217,4			
Filler	4	3,8	2,73	1,6																					
Totora		<b>0,35</b>																							
C.A.		<b>5</b>	0,99	2,1																					
Grava	23	21,735	2,74	9,4	2,32	2,41	1	6,48	0,9675	1191,3	1192,9	673,8	<b>519,1</b>	2,29	5,18	196	1960,0	889,06	860,16	17,4	0,44	1946,2			
Gravilla	28	26,46	2,74	11,4			2	6,53	0,9563	1198,1	1200,1	678,1	<b>522,0</b>	2,30		190,4	1904,0	863,65	825,91	18,1	0,46	1794,5			
Arena	45	42,525	2,29	18,3			3	6,54	0,9544	1198,7	1200,5	678,6	<b>521,9</b>	2,30		201,6	2016,0	914,46	872,76	16,0	0,41	2152,9			
Filler	4	3,78	2,73	1,6																					
Totora		<b>0,35</b>																							
C.A.		<b>5,5</b>	0,99	2,4																					
Grava	23	21,62	2,74	9,4	2,31	2,40	1	6,44	0,9775	1185,4	1185,8	671,3	<b>514,5</b>	2,30	5,38	184,8	1848,0	838,25	819,39	20,3	0,52	1590,7			
Gravilla	28	26,32	2,74	11,4			2	6,41	0,9850	1183,4	1183,8	667,2	<b>516,6</b>	2,29		183,7	1836,8	833,17	820,67	20,4	0,52	1582			
Arena	45	42,3	2,29	18,3			3	6,41	0,9850	1181,3	1181,7	668,8	<b>512,9</b>	2,30		188,2	1881,6	853,49	840,69	20,1	0,51	1643,7			
Filler	4	3,76	2,73	1,6																					
Totora		<b>0,35</b>																							
C.A.		<b>6</b>	0,99	2,6																					
Grava	23	21,505	2,74	9,4	2,29	2,39	1	6,35	1,0000	1109,7	1110,2	626,8	<b>483,4</b>	2,30	5,72	145,6	1456,0	660,44	660,44	22,4	0,57	1158,7			
Gravilla	28	26,18	2,74	11,4			2	6,37	0,9950	1111,5	1112,2	628,2	<b>484,0</b>	2,30		149	1489,6	675,68	672,30	22,1	0,56	1198,8			
Arena	45	42,075	2,29	18,4			3	6,39	0,9900	1108,5	1109,1	627,2	<b>481,9</b>	2,30		151,2	1512,0	685,84	678,98	21,0	0,53	1272,9			
Filler	4	3,74	2,73	1,6																					
Totora		<b>0,35</b>																							
C.A.		<b>6,5</b>	0,99	2,8																					
Grava	23	21,39	2,74	9,4	2,27	2,37	1	6,39	0,9900	1164,00	1164,4	656,8	<b>507,6</b>	2,29	6,36	78,4	784,0	355,62	352,07	26,0	0,66	532,29			
Gravilla	28	26,04	2,74	11,5			2	6,41	0,9850	1164,60	1165,0	657,4	<b>507,6</b>	2,29		87,36	873,6	396,26	390,32	22,4	0,57	684,8			
Arena	45	41,85	2,29	18,4			3	6,41	0,9850	1166,40	1166,8	658,2	<b>508,6</b>	2,29		75,04	750,4	340,38	335,28	28,2	0,72	468,08			
Filler	4	3,72	2,73	1,6																					
Totora		<b>0,35</b>																							
C.A.		<b>7</b>	0,99	3,1																					

Fuente: Elaboración propia.

**Grafica 6**  
Mezclas asfálticas con 0.35% de fibra natural de totora



Fuente: Elaboración propia.

- Graficas para determinar el contenido óptimo de asfalto Marshall.

**Tabla 71**  
*Datos para las gráficas MARSHALL.*

CA	PE Grm Prom.	% de Vacios			Est. Prom. [kg]	Flujo Prom. [cm]
		Mezcla [%]	Agreg. [%]	c/Asf. [%]		
4,5	2,27	6,02	13,82	56,44	712,64	0,36
5	2,28	5,40	13,77	60,82	799,13	0,38
5,5	2,30	4,63	13,63	66,05	852,94	0,44
6	2,30	4,20	13,90	69,81	826,92	0,52
6,5	2,30	3,75	14,37	73,89	670,58	0,55
7	2,29	3,22	14,91	78,38	359,22	0,65

Fuente: Elaboración propia.

<b>Mezcla asfáltica con 0,35% fibra de totora</b>		
Contenido asfalto máxima densidad		6,3
Contenido asfalto 4% huecos aire		6,2
Contenido asfalto máxima estabilidad		5,4
Contenido asfalto óptimo, promedio		6,0
<b>Verificación para 6% de cemento asfáltico</b>		
Peso específico	2,30	Cumple
Estabilidad (lb)	1779,59	No cumple
% Vacios en la mezcla	4,17	Cumple
% Vacios en el agregado	13,91	No cumple
% Vacios con asfalto	69,94	Cumple
Flujo (0,01")	19,53	No cumple

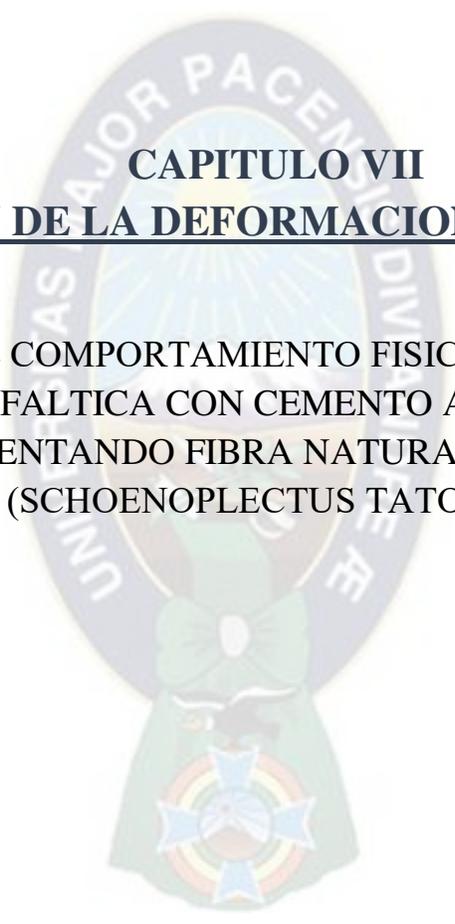
#### 6.5.2.14. Selección del diseño final.

La selección del porcentaje de cemento asfáltico se realizó en función a las especificaciones del Instituto del Asfalto, se puede observar que para mezclas asfálticas sin fibra de totora el porcentaje óptimo de cemento asfáltico es 5,6 %.

Para mezclas asfálticas con fibra natural de totora se obtuvieron los siguientes porcentajes óptimos de cemento asfáltico.

- Para 0,15% de fibra natural de totora el porcentaje óptimo de cemento asfáltico es 5,7%.
- Para 0,25% de fibra natural de totora el porcentaje óptimo de cemento asfáltico es 5,8 %.
- Para 0,35% de fibra natural de totora no se encontró un porcentaje de cemento asfáltico óptimo, esto es debido a que no llega a cumplir las especificaciones de estabilidad y flujo que indica el Instituto del Asfalto.

Se escogió como porcentaje de totora óptimo 0,15%, esto es debido a que con este porcentaje se obtuvieron los mejores resultados en estabilidad y flujo, llega a cumplir las especificaciones propuestas por el instituto de asfaltos para zonas convencionales.



**CAPITULO VII**  
**EVALUACION DE LA DEFORMACION LONGITUDINAL.**

“ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO FISICO-MECANICO DE LA  
MEZCLA ASFALTICA CON CEMENTO ASFALTICO 85-100  
IMPLEMENTANDO FIBRA NATURAL DE TOTORA  
(SCHOENOPLECTUS TATORA)”

## EVALUACION DE LA DEFORMACION LONGITUDINAL.

### 7.1. Introducción.

Para la evaluación de la deformación longitudinal mediante el ensayo de Ahuellamiento se optó por:

- Se utilizará para la mezcla asfáltica convencional el porcentaje de cemento optimo que es 5,6%, esto es debido a que con ese porcentaje la mezcla cumple con todas las especificaciones de diseño.
- Se utilizará para la mezcla asfáltica con fibra natural de totora el porcentaje de cemento óptimo de 5,7% y 0,15% de fibra, esto es debido a que con estos porcentajes se alcanzaron los mejores resultados en mezclas asfálticas con fibra de totora.

### 7.2. Dosificaciones de las probetas de mezclas asfálticas.

Para realizar la dosificación de las probetas se deberá conocer el volumen del molde de la probeta, el peso específico de la mezcla obtenidas en el ensayo Marshall para el porcentaje de cementó asfáltico óptimo, se tomará en cuenta el 97% de la densidad Marshall.

Dosificación de la probeta de Mezcla Asfáltica 85-100 sin fibra natural de totora:

$$V_{\text{volumne molde}} = 4500\text{cc}$$

$$\text{Densidad}_{\text{mezcla}} = 2,33\text{g/cc}$$

$$\text{Densidad}_{\text{mezcla } 97\%} = 2,33\text{g/cc} * 0,97$$

$$\text{Densidad}_{\text{mezcla } 97\%} = 2,26\text{g/cc}$$

$$PESO_{\text{mezcla}} = V_{\text{volumen molde}} * \text{Densidad}_{\text{mezcla } 97\%} \quad (26)$$

$$PESO_{mezcla} = 4500cc * 2,26 \text{ g/cc}$$

$$PESO_{mezcla} = 10170,45g$$

**Tabla72**

Pesos de los materiales a utilizar en la mezcla asfáltica convencional 85-100.

Mezcla asfáltica	Dosificación		
	Agregado %	Mezcla	peso
CA		5,6	569,55
GRAVA	23	21,71	2208,21
GRAVILLA	28	26,43	2688,25
ARENA	45	42,48	4320,41
FILLER	4	3,78	384,04

Fuente: Elaboración propia.

Dosificación de la probeta de Mezcla Asfáltica 85-100 con 0,15% de fibra natural de totora:

$$V_{\text{volumne molde}} = 4500cc$$

$$Densidad_{mezcla} = 2,33 \text{ g/cc}$$

$$Densidad_{mezcla\ 97\%} = 2,33 \text{ g/cc} * 0,97$$

$$Densidad_{mezcla\ 97\%} = 2,26 \text{ g/cc}$$

$$PESO_{mezcla} = V_{\text{volumen molde}} * Densidad_{mezcla\ 97\%}$$

$$PESO_{mezcla} = 4500cc * 2,226 \text{ g/cc}$$

$$PESO_{mezcla} = 10170,45 \text{ g}$$

**Tabla73**

Pesos de los materiales a utilizar en la Mezcla Asfáltica convencional 85-100 con 0,15 de fibra natural de totora

Mezcla asfáltica	dosificacion		
	Agregado %	Mezcla	peso
CA		5,7	579,72
TOTORA		0,15	15,26
GRAVA	23	21,65	2202,36
GRAVILLA	28	26,36	2681,13
ARENA	45	42,37	4308,97
FILLER	4	3,77	383,02

Fuente: Elaboración propia.

### 7.3. Elaboración de las probetas.

Para la elaboración de las probetas para el ensayo de ahuellamiento utilizamos los siguientes criterios:

- **Primer criterio.**

Se realizó el pesado de los agregados a 110°C en caliente utilizando la dosificación calculada con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico obtenido de las gráficas Marshall.

- **Segundo criterio.**

Se calentó el cemento asfáltico hasta que llegue a la temperatura de mezclado.

- **Tercer criterio.**

Se calentó el agregado hasta que llegue a la temperatura de mezclado más treinta grados.

- **Cuarto criterio.**

Se elaboró la mezcla asfáltica 85-100 cumpliendo con los rangos de temperatura de mezclado.

- **Quinto criterio.**

Para la compactación se utilizará la temperatura de compactado del nomograma de Heukelom.

**Figura41**  
*Elaboración de probetas para mezclas asfálticas con fibra natural de totora.*



Fuente: Elaboración propia, laboratorio de asfaltos IEM 2021.

**Figura42**  
*Compactado, preparación de la maquina y colocado de la probeta en la máquina de ahuellamiento.*



Fuente: Elaboración propia, laboratorio de asfaltos IEM 2021.

#### 7.4. Resultados de las probetas de ensayo de ahuellamiento para las mezclas asfálticas.

##### 7.4.1. Probeta de mezcla asfáltica 85-100 sin fibra natural de totora.

Los resultados obtenidos para la mezcla CA 85-100 sin fibra natural de totora se muestran en la siguiente Tabla 75, con su respectiva representación gráfica “Deformación Vs Tiempo” (Gráfico).

**Tabla74**

*Ahuellamiento mezcla asfáltica 85-100 sin fibra natural de totora.*

Tiempo (min)	Deformación (mm)	Velocidad (mm/min)	Especificaciones NLT 173/84	
0	0		Velocidad máxima de ahuellamiento 0,015 mm/min	Ahuellamiento máximo 15mm
1	0,29			
3	0,54			
5	0,72			
10	0,74			
15	0,9			
20	1,46			
25	2,48			
30	2,85			
35	3,04			
40	3,25	V 30/45		
45	3,9	0,070		
60	4,73			
75	5,25	V 75/90		
90	5,84	0,039		
105	6,26	V 75/90		
120	6,47	0,014		

Fuente: Elaboración propia.

**Velocidad Max.: 0,014 < 0,015 CUMPLE**

**Ahuellamiento: 6,47 < 15 CUMPLE**

**Grafica7**  
 “Deformación vs Tiempo”, CA 85-100.



Fuente: Elaboración propia.

**7.4.2. Probeta de mezcla asfáltica 85-100 con 0,15% de fibra natural de totora.**

Los resultados obtenidos para la mezcla CA 85-100 con 0,15% de fibra natural de totora se muestran en la siguiente Tabla 76, con su respectiva representación gráfica “Deformación Vs Tiempo” (Gráfico).

**Tabla75**

Ahuellamiento mezcla asfáltica 85-100 con 0,15% de fibra natural de totora

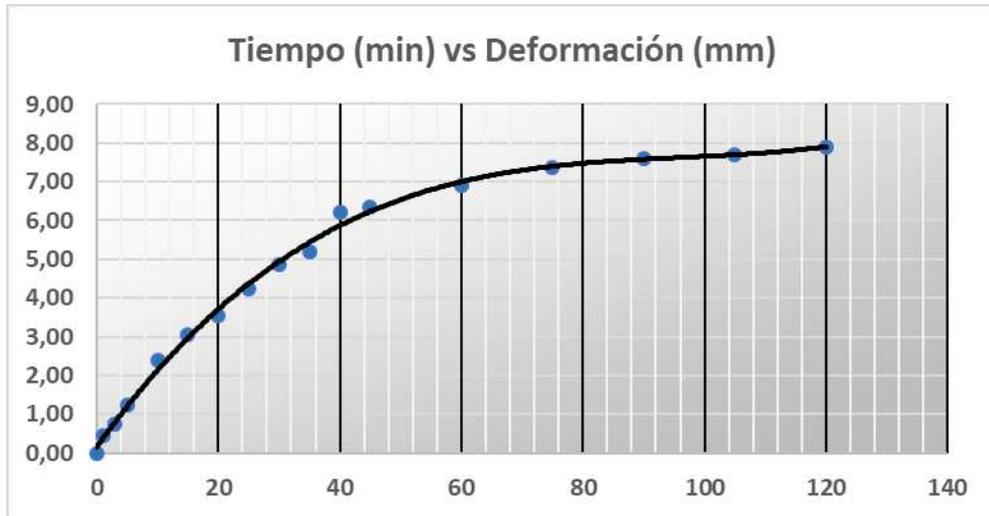
Tiempo (min)	Deformación (mm)	Velocidad (mm/min)	Especificaciones NLT 173/84	
0	0,00		Velocidad máxima de ahuellamiento 0,015 mm/min	Ahuellamiento máximo 15mm
1	0,45			
3	0,73			
5	1,25			
10	2,40			
15	3,05			
20	3,55			
25	4,25			
30	4,85			
35	5,20			
40	6,20	V 30/45		
45	6,35	0,100		
60	6,91			
75	7,38	V 75/90		
90	7,60	0,015		
105	7,70	V 75/90		
120	7,90	0,013		

Fuente: Elaboración propia.

**Velocidad Max.: 0,013 < 0,015 CUMPLE**

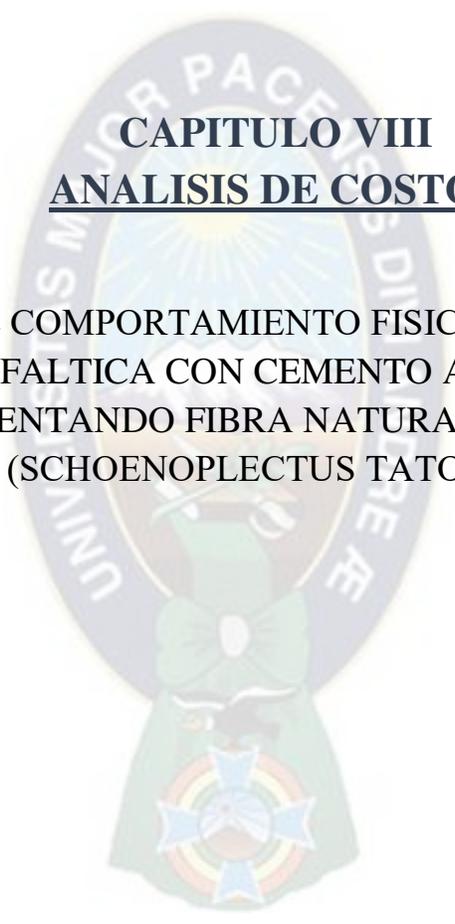
**Ahuellamiento: 7,9 < 15 CUMPLE**

**Grafica 8**  
 “Deformación vs Tiempo”, CA 85-100 con fibra natural de totora.



Fuente: Elaboración propia.





**CAPITULO VIII**  
**ANALISIS DE COSTOS**

“ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO FISICO-MECANICO DE LA  
MEZCLA ASFALTICA CON CEMENTO ASFALTICO 85-100  
IMPLEMENTANDO FIBRA NATURAL DE TOTORA  
(SCHOENOPLECTUS TATORA)”

## ANALISIS DE COSTOS

### 8.1. Introducción.

Para la parte de análisis económico se pretende mostrar en cuanto incrementa el costo de un asfalto convencional en comparación con un asfalto con la adición del 0.15% de fibras de totora.

Este proceso requiere de varias actividades, recursos, mano de obra, materiales, etc., que inciden en el costo de producción de la mezcla. Este costo puede variar de acuerdo al rendimiento que pueda tener la maquinaria y la mano de obra, además de los materiales componentes de la mezcla asfáltica.

No se realiza la estimación de costos con los demás porcentajes ya que se observó que no cumplen con los requerimientos mínimos. Se tomará en cuenta los siguientes materiales, herramientas y equipos.

#### 8.1.1. *Materiales.*

- Arena fina
- Grava 3/4"
- Gravilla 1/2"
- Cemento Asfáltico
- Diésel

#### 8.1.2. *Maquinaria y Equipo.*

- Cargador Frontal W 130
- Carro Imprimador
- Compactador Neumáticos
- Compactador Rodillo Liso

- Planta De Asfaltos
- Terminadora De Asfaltos
- Tracto Camión Con Remolque
- Camión Volqueta 8 M3 C/Chofer
- Camioneta Doble Cabina

## 8.2. Dosificación de la mezcla asfáltica

### 8.2.1. Dosificación de la mezcla asfáltica con 0,15% de fibra natural de totora para carpeta de 7 cm de espesor.

Para el cálculo del volumen de la mezcla asfáltica se utilizará una superficie de un metro cuadrado y una altura de carpeta de siete centímetros.

$$V_{\text{volumne mezcla}} = 100 * 100 * 7$$

$$V_{\text{volumne mezcla}} = 70000\text{cc}$$

$$\text{Densidad}_{\text{mezcla}} = 2,33 \text{ g/cc}$$

$$\text{Densidad}_{\text{mezcla } 97\%} = 2,26 \text{ g/cc}$$

$$\text{PESO}_{\text{mezcla}} = V_{\text{volumen mezcla}} * \text{Densidad}_{\text{mezcla } 97\%} \quad (27)$$

$$\text{PESO}_{\text{mezcla}} = 70000\text{cc} * 2,26 \text{ g/cc}$$

$$\text{PESO}_{\text{mezcla}} = 158207 \text{ g}$$

**Tabla 76**

*Dosificación de la mezcla Asfáltica con adición de fibra de totora.*

Mezcla asfáltica	Dosificación		
	Agregado %	Mezcla	peso (g)
CA		5,6	8859,20
GRAVA	23	21,71	34348,38
GRAVILLA	28	26,43	41815,42
ARENA	45	42,48	67203,36
FILLER	4	3,78	5973,63

Fuente: Elaboración propia.

### 8.2.2. Dosificación de la mezcla asfáltica sin adición de fibra natural de totora para carpeta de 7 cm de espesor

Para el cálculo del volumen de la mezcla asfáltica se utilizará una superficie de un metro cuadrado y una altura de carpeta de siete centímetros.

$$V_{\text{volumne mezcla}} = 100 * 100 * 7$$

$$V_{\text{volumne mezcla}} = 70000\text{cc}$$

$$\text{Densidad}_{\text{mezcla}} = 2,33 \text{ g/cc}$$

$$\text{Densidad}_{\text{mezcla } 97\%} = 2,26 \text{ g/cc}$$

$$\text{PESO}_{\text{mezcla}} = V_{\text{volumen mezcla}} * \text{Densidad}_{\text{mezcla } 97\%}$$

$$\text{PESO}_{\text{mezcla}} = 70000\text{cc} * 2,26 \text{ g/cc}$$

$$\text{PESO}_{\text{mezcla}} = 158207 \text{ g}$$

**Tabla 77**

*Dosificación de la mezcla Asfáltica sin adición de fibra de totora.*

Mezcla asfáltica	dosificación		
	Agregado %	Mezcla	peso (g)
CA		5,7	9017,80
TOTORA		0,15	237,31
GRAVA	23	21,65	34258,93
GRAVILLA	28	26,36	41706,53
ARENA	45	42,37	67028,35
FILLER	4	3,77	5958,08

Fuente: Elaboración propia.

## 8.3. Precios Unitarios

### 8.3.1. Precio unitario mezcla asfáltica con adición de fibras

Para la elaboración de precios unitarios de la fibra natural de totora se tomará como referencia los costos de producción de la totora del año 2002 que serán proyectadas hasta

el año 2021, utilizando el IPC (Índice de precios al consumidor) se tomara 7,18% que es el IPC más alto registrado el año 2010.

**Tabla78**  
*Determinación de costos de producción de totora en una hectárea.*

	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	TOTAL PARCIAL (Bs)
<b>EGRESOS</b>					
<b>A. PLANTACION</b>					
1.	Extracción de plantines	Jornal	5	30	150
2.	Compra de plantines	Camioneta	9	15	135
3.	Transporte de plantines	Camioneta	9	15	135
4.	Carga y descarga de plantines	Jornal	5	30	150
5.	Herramientas	Piezas	5	30	150
6.	Plantación de Totora	Jornal	25	30	750
<b>B. REIMPLANTACION O RECALCE</b>					
7.	Extracción de plantines	Jornal	5	30	150
8.	Compra de plantines	Camioneta	1	15	15
9.	Transporte de plantines	Camioneta	1	15	15
10.	Carga y descarga de plantines	Jornal	2	30	60
11.	Herramientas	Piezas	-	-	-
12.	Reimplanté	Jornal	2	30	60
<b>C. COSECHA</b>					
13.	Herramientas	Piezas	2	10	20
14.	Corte y transporte orilla	Jornal	10	30	300
<b>TOTAL EGRESOS (E)</b>					<b>2090</b>
<b>INGRESOS</b>					
15.	Venta de totora en el lugar de plantación	Carga	9091	5	45455
16.	Venta de totora en productos con valor agregado	Piezas	15	7	105
<b>TOTAL INGRESOS (I)</b>					<b>45560</b>

Fuente: Tomada de (AUTORIDAD AUTONOMA DEL LAGO TITICACA ALT, 2003)

$$\text{Costo totora}_{2021} = \text{Costo totora}_{2002} \times (1 + \text{IPC})^{2021-2002}$$

$$\text{Costo totora}_{2021} = 45560 \times \left(1 + \frac{7,18}{100}\right)^{19}$$

$$\text{Costo totora}_{2021} = 170116 \text{Bs/ha}$$

**Tabla 79**  
Precio unitario de la mezcla con adición de las fibras.

DATOS GENERALES					
Proyecto	:	CARPETA ASFALTICA (E = 7 cm)			
Actividad	:				
Cantidad	:				
Unidad	:	Metro cuadrado			
Moneda	:	Boliviano			
1.-MATERIALES					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
1	CEMENTO ASFÁLTICO	t	0,0103	8500	87,18
2	GRAVA DE 3/4"	m3	0,0126	127	1,60
3	GRAVILLA 1/2"	m3	0,0154	125	1,93
4	ARENA	m3	0,0289	120	3,46
5	Filler	m3	0,0021	86	0,18
6	Torora	ha	1,295E-07	170116	0,02
Total materiales					94,38
2.-Mano de obra					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
1	OBRERO II (PLANTA)	hr	0,077	17,73	1,37
2	OPERADOR II (CARGADOR FRONTAL)	hr	0,0077	17,73	0,14
3	OPERADOR I (PLANTA)	hr	0,0086	21,19	0,18
4	CHOFER I (VOLQUETA)	hr	0,055	15,19	0,84
5	CHOFER II (CAMIONETA)	hr	0,005	12,66	0,06
6	OBRERO I (OBRA)	hr	0,0408	19,71	0,80
7	OBRERO II (ASFALTOS)	hr	0,0298	17,73	0,53
8	CHOFER I (CARRO IMPRIMADOR)	hr	0,013	15,19	0,20
9	OBRERO III (OBRA)	hr	0,0222	15,19	0,34
10	OPERADOR II (COMPACTADORA)	hr	0,0409	17,73	0,73
11	OPERADOR I (TERMINADORA)	hr	0,0071	21,19	0,15
				6	2,52
Cargas sociales				71%	1,79
IVA de MO y cargas sociales				14,94%	0,38
Total mano de obra					4,68
3.-EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
1	CARGADOR FRONTAL W 130	hr	0,0059	293,33	1,73
2	CARRO IMPRIMADOR	hr	0,0099	186,6	1,85
3	COMPACTADOR NEUMATICOS	hr	0,0217	266,34	5,78
4	COMPACTADOR RODILLO LISO	hr	0,0192	233,22	4,48
5	PLANTA DE ASFALTOS	hr	0,0044	3905,15	17,18
6	TERMINADORA DE ASFALTOS	hr	0,0071	292,7	2,08
7	TRACTO CAMION CON REMOLQUE	hr	0,0036	346,22	1,25
8	CAMION VOLQUETA 8 M3 C/CHOFER	hr	0,0281	180	5,06
9	CAMIONETA DOBLE CABINA	hr	0	67,11	0,00
Subtotal EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					8,64
Herramientas				5%	0,23
Total mano de obra					8,87
4.-GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
Gastos generales				8%	8,63
Gastos generales y administrativos					8,63
4.-UTILIDAD					
Utilidad				15%	16,15
Total utilidad					16,15
5.-IMPUESTOS					
IT				3%	3,83
Total impuestos					3,83
Total del precio unitario					136,54

Fuente: Elaboración propia.

## 8.3.2. Precio unitario mezcla asfáltica sin adición de fibras

**Tabla 80**  
Precio unitario de la mezcla sin adición de las fibras.

DATOS GENERALES				
Proyecto	:	CARPETA ASFALTICA (E = 7 cm)		
Actividad	:			
Cantidad	:			
Unidad	:	Metro cuadrado		
Moneda	:	Boliviano		
1.-MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
1 CEMENTO ASFÁLTICO	t	0,0103	8500	87,18
2 GRAVA DE 3/4"	m3	0,0126	127	1,60
3 GRAVILLA 1/2"	m3	0,0154	125	1,93
4 ARENA	m3	0,0289	120	3,46
5 Filler	m3	0,0021	86	0,18
Total materiales				94,36
2.-Mano de obra				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
1 OBRERO II (PLANTA)	hr	0,077	17,73	1,37
2 OPERADOR II (CARGADOR FRONTAL)	hr	0,0077	17,73	0,14
3 OPERADOR I (PLANTA)	hr	0,0086	21,19	0,18
4 CHOFER I (VOLQUETA)	hr	0,055	15,19	0,84
5 CHOFER II (CAMIONETA)	hr	0,005	12,66	0,06
6 OBRERO I (OBRA)	hr	0,0408	19,71	0,80
7 OBRERO II (ASFALTOS)	hr	0,0298	17,73	0,53
8 CHOFER I (CARRO IMPRIMADOR)	hr	0,013	15,19	0,20
9 OBRERO III (OBRA)	hr	0,0222	15,19	0,34
10 OPERADOR II (COMPACTADORA)	hr	0,0409	17,73	0,73
11 OPERADOR I (TERMINADORA)	hr	0,0071	21,19	0,15
				6
Cargas sociales			71%	1,79
IVA de MO y cargas sociales			14,94%	0,38
Total mano de obra				4,68
3.-EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
1 CARGADOR FRONTAL W 130	hr	0,0059	293,33	1,73
2 CARRO IMPRIMADOR	hr	0,0099	186,6	1,85
3 COMPACTADOR NEUMATICOS	hr	0,0217	266,34	5,78
4 COMPACTADOR RODILLO LISO	hr	0,0192	233,22	4,48
5 PLANTA DE ASFALTOS	hr	0,0044	3905,15	17,18
6 TERMINADORA DE ASFALTOS	hr	0,0071	292,7	2,08
7 TRACTO CAMION CON REMOLQUE	hr	0,0036	346,22	1,25
8 CAMION VOLQUETA 8 M3 C/CHOFER	hr	0,0281	180	5,06
9 CAMIONETA DOBLE CABINA	hr	0	67,11	0,00
Subtotal EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				8,64
Herramientas			5%	0,23
Total mano de obra				8,87
4.-GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
Gastos generales			8%	8,63
Gastos generales y administrativos				8,63
4.-UTILIDAD				
Utilidad			15%	16,15
Total utilidad				16,15
5.-IMPUESTOS				
IT			3%	3,83
Total impuestos				3,83
Total del precio unitario				136,52

Fuente: Elaboración propia.

#### 8.4. Comparación de costos

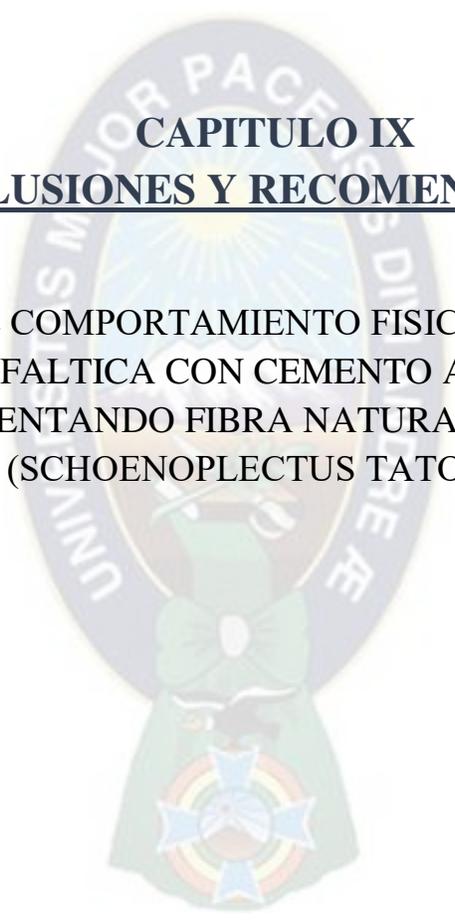
Para la comparación de costos se utilizará una carretera con un ancho de carril de 3,5m y 1 kilómetro de longitud.

**Tabla 81**  
*Cuadro comparativo de costos.*

Costos			
Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total (Bs)
CARPETA ASFÁLTICA (E <sub>min</sub> = 7cm) C/PROVISIÓN DE CEMENTO CON ADICIÓN DE FIBRA NATURAL DE TOTORA	3500	136,54	477890
CARPETA ASFÁLTICA (E <sub>min</sub> = 7cm) C/PROVISIÓN DE CEMENTO SIN ADICIÓN DE FIBRA NATURAL DE TOTORA	3500	136,52	477820

Fuente: Elaboración propia.

El costo total que nos dio la carpeta asfáltica con 0,15% de fibra natural de totora es 477890Bs, el costo de la carretera sin fibra natural de totora es de 477820Bs, la carretera construida con fibra natural de totora es 70Bs más cara que la que contiene fibra esto quiere decir que es aceptable económicamente.



**CAPITULO IX**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

“ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO FISICO-MECANICO DE LA  
MEZCLA ASFALTICA CON CEMENTO ASFALTICO 85-100  
IMPLEMENTANDO FIBRA NATURAL DE TOTORA  
(SCHOENOPLECTUS TATORA)”

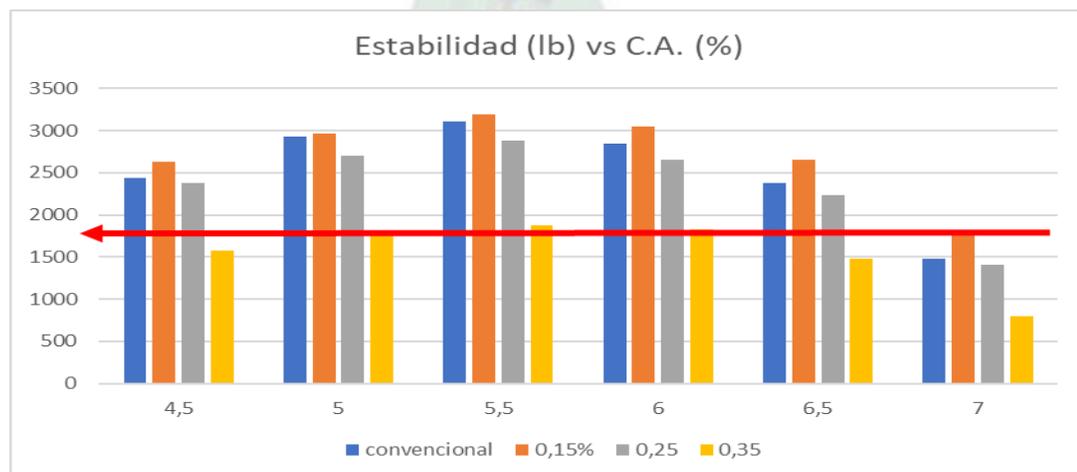
## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 9.1. Conclusiones.

- Después de los resultados tomados en laboratorio de las mezclas asfálticas con fibra natural de totora, se llega a la conclusión que es un buen material para emplearse en mezclas asfálticas en caliente mediante el método Marshall debido a que cumple los parámetros a evaluar, es decir las especificaciones, como ser; el porcentaje de vacíos en el agregado mineral, porcentaje de vacíos llenos de asfalto, estabilidad y flujo.
- Se realizaron mezclas asfálticas con fibra natural de totora utilizando los porcentajes de 0,15%, 0,25% y 0,35%, con los porcentajes de 0,15% y 0,25% se pudo observar que existió una mejora en la estabilidad y fluencia en cambio con 0,35% los valores de estabilidad resultaron más bajos que de la mezcla convencional y los valores de flujo fueron más altos que de la mezcla convencional.

**Grafica 9**

*Comparación de la estabilidad en mezclas asfálticas sin fibra de totora y con 0,15%, 0,25% y 0,35% de fibra de totora*

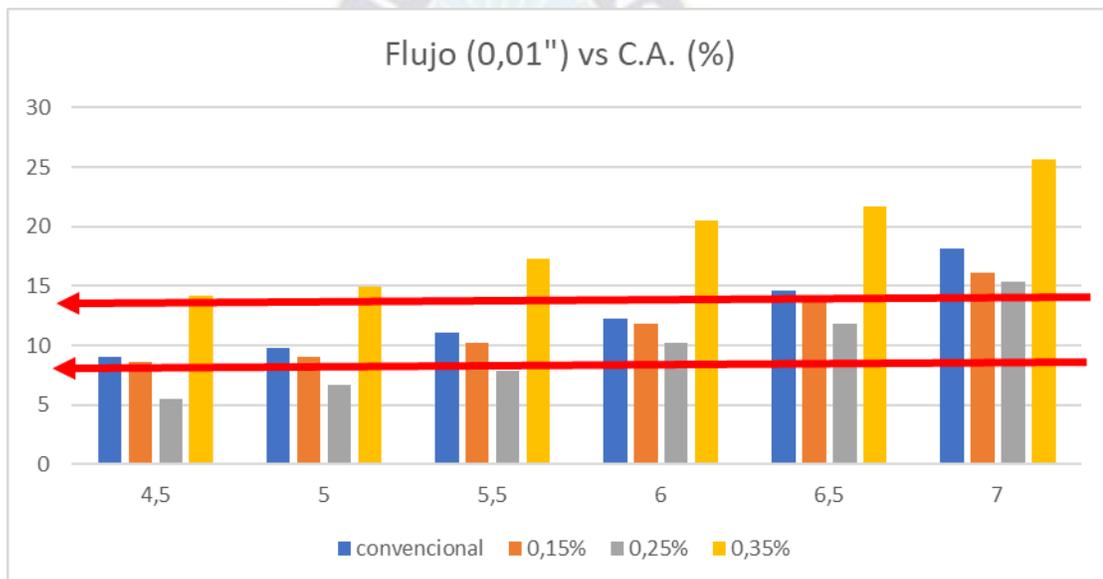


Fuente: elaboración propia

- En el grafico 9, se puede observar que con 0,15% de fibra de totora la estabilidad llega a mejorar, en cambio con 0,35% los niveles llegan a bajar esto es debido a que la totora es un material muy ligero cuando se aumenta un 0,1% de fibra la cantidad que se añade es significativa y afecta a la mezcla hace que no exista una buena interacción entre agregados y cemento asfáltico perjudicando a la adherencia.

**Grafica 10**

Comparación de flujo en mezclas asfálticas sin fibra de totora y con 0,15%, 0,25% y 0,35% de fibra de totora



Fuente: elaboración propia

- En el grafico 10, se puede observar que la mezcla asfáltica con 0,35% de totora tiene un flujo mayor que las demás mezclas esto es debido a que a mayor porcentaje de totora menor será la adherencia en la mezcla.
- Del ensayo Marshall se pudieron obtener porcentajes de cemento asfálticos óptimos que cumplieron con las especificaciones del Instituto del Asfalto en la siguiente tabla 82 se mostrará los resultados obtenidos para mezclas sin fibra de totora y mezclas con 0,15%, 0,25% y 0,35% de fibra natural de totora.

**Tabla 82**  
*Resultados del ensayo Marshall*

Contenido de totora %	0	0,15	0,25	0,35
Contenido asfalto óptimo %	5,6	5,7	5,8	6
Peso específico	2,33	2,33	2,33	2,30
Estabilidad (lb)	3066,86	3164,71	2778,97	1779,59
% Vacíos en la mezcla	3,40	3,57	3,76	4,17
% Vacíos en el agregado	12,39	12,41	12,69	13,91
% Vacíos con asfalto	72,52	71,35	70,48	69,94
Flujo (0,01")	10,95	11,27	8,96	19,53

Fuente: elaboración propia

- De la tabla 82 se puede observar que a mayor porcentaje de totora mayor será el porcentaje de cemento asfáltico, para mezclas asfálticas convencionales el porcentaje de cemento asfáltico óptimo es 5,6 % y para mezclas asfálticas con 0,15% de fibra de totora el porcentaje de cemento asfáltico aumenta a 5,7 % y para 0,25% de fibra de totora aumenta a 5,8% de cemento asfáltico para 0,35% de fibra de totora la mezcla no cumple con los rangos establecidos.
- La mezcla con fibra natural de totora que obtuvo mayor estabilidad es la de 0,15% con 3164,7 lb, la mezcla con 0,35% de totora no llega a cumplir con las especificaciones del Instituto del Asfalto para tráfico pesado.
- La mezcla que presenta las mejores características es la de 0,15% de totora con 5,7 % de cemento asfáltico.
- Porcentaje de incremento de la estabilidad de la mezcla asfáltica con 0,15% de fibra natural de totora con relación a mezclas asfálticas convencionales.

$$\% \text{ Incremento de estabilidad} = \frac{E_{0,15\% \text{ totora}} - E_{\text{convencional}}}{E_{\text{convencional}}} \times 100 \quad (28)$$

$$\% \text{ Incremento de estabilidad} = \frac{3164,7 - 3067}{3067} \times 100$$

*% Incremento de estabilidad = 3,18%*

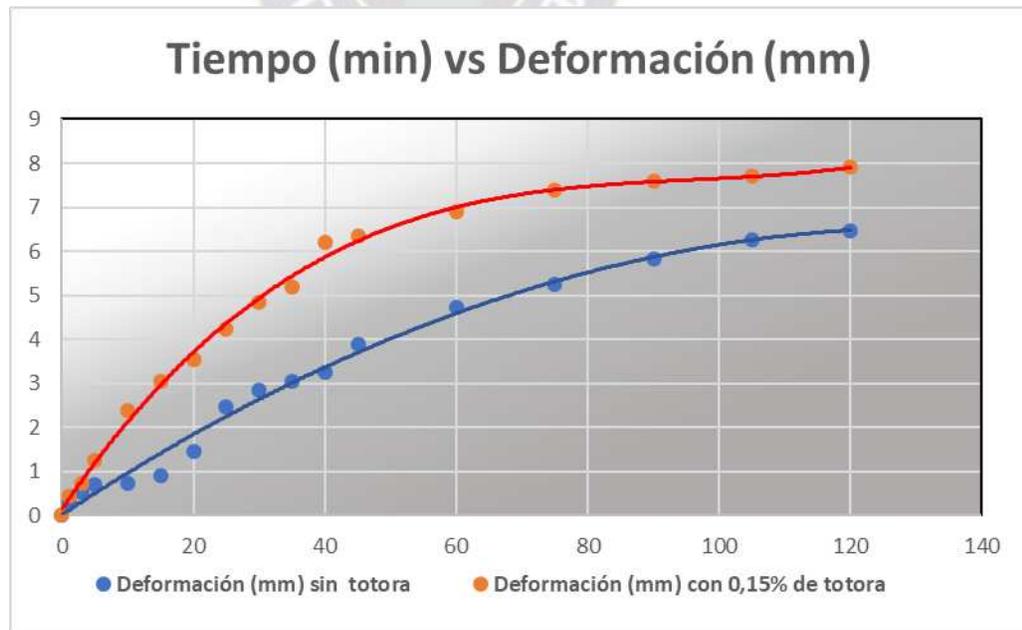
- El porcentaje de fibra natural de totora óptimo es de 0,15% dándonos una mejora de 3,18% en la estabilidad, el flujo aumenta a 11,27 y llega a cumplir con todas las especificaciones del Instituto del Asfaltos para tráfico pesado.
- Se realizó el ensayo de ahuellamiento del cual se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla83**  
*Resultado del ensayo de ahuellamiento.*

<b>Mezclas %CA óptimo</b>	<b>Velocidad máxima de ahuellamiento 0,015 mm/min</b>			<b>Ahuellamiento máximo 15mm</b>
	<b>V 30/45</b>	<b>V 75/90</b>	<b>V 75/90</b>	
Convencional	0,070	0,039	0,014	6,47
0,15% de totora	0,100	0,015	0,013	7,90

Fuente: elaboración propia

**Grafica 11**  
*Deformación de mezcla asfáltica convencional y mezcla asfáltica con 0,15% de totora*



Fuente: elaboración propia

- En los resultados obtenidos del ensayo de ahuellamiento se puede ver que la mezcla con 0,15% de fibra natural de totora tiene un ahuellamiento de 7,9 milímetros que es mayor al ahuellamiento producido por la mezcla convencional que es 6,47milímetros.
- Del gráfico se puede observar el comportamiento de la mezcla con 0,15% de totora, en los primeros 60 minutos su pendiente es mucho mayor teniendo una velocidad de ahuellamiento mayor que la mezcla convencional, después de los 60minutos la mezcla con 0,15% de totora llega a tener menores velocidades de ahuellamiento que la mezcla convencional.
- El tamaño y diámetro de la totora están relacionados, si la totora llega a tener tamaños muy grandes no ayudará a la mezcla al contrario ocasiona problemas en la interacción que existe entre agregados en la mezcla.
- La totora es un material que cuenta con una capacidad de absorción, por eso es importante que cuando se añada a la mezcla se encuentre totalmente seca.
- Se realizaron pruebas de laboratorio en mezclas asfálticas con 0,5% de totora los resultados no fueron buenos no había buena adherencia entre agregados los resultados de estabilidad fueron bajos y los de flujo alto, no es recomendable usar porcentajes altos de totora además de afectar a la adherencia incrementa el porcentaje de cemento asfáltico.
- Se realizó ensayos en mezclas asfálticas con 0,10% de totora los datos obtenidos dieron estabilidades un poco más altas que las mezclas

convencionales, pero no fueron mayores que las mezclas con 0,15% de totora.

## 9.2. Recomendaciones.

Es recomendable implementar fibra natural de totora hasta 0.25% a partir de este porcentaje los resultados llegan a ser perjudiciales en las mezclas asfálticas, generando una mala interacción entre agregados y asfalto, afectando a la granulometría creando vacíos en la mezcla.

**Figura 43**  
*Mezcla asfáltica con 0,5% de totora.*



Fuente: elaboración propia

Es importante cumplir con los tamaños y grosores especificados en la tabla 49, cuando se tiene longitudes de fibra mayores a los de tabla llega a existir problemas en las mezclas asfálticas, la adherencia disminuye dando como resultado estabilidades bajas.

La obtención de la fibra de la totora es un proceso largo esto es debido a que el secado llega a tardar mucho, cumplir con los tamaños y grosores es un proceso tedioso, técnicamente las mezclas asfálticas con fibra natural de totora son más difíciles de elaborar a comparación de una mezcla asfáltica convencional.

Es importante contar con agregado triturado, estos agregados cuentan con una buena cohesión y fricción interna, la estabilidad está ligada a estas propiedades.

Los agregados redondeados sin o con pocas superficies trituradas dan lugar a ahuellamientos altos y canalización.



## CAPITULO X BIBLIOGRAFIA

“ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO FISICO-MECANICO DE LA  
MEZCLA ASFALTICA CON CEMENTO ASFALTICO 85-100  
IMPLEMENTANDO FIBRA NATURAL DE TOTORA  
(SCHOENOPLECTUS TATORA)”

## BIBLIOGRAFIA

- ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS. (2010). *Manual de ensayos de suelos y materiales asfaltos (vol. 4)*.
- Apaza, Y., & Landivar, P. (2019). *Comportamiento Físico - Mecánico de Mezclas Asfálticas (CA 60-70 Y CA 85-100) con la Adición de Fibra Natural de Caña De Azucar [Proyecto de Grado, Universidad Mayor De San Andrés]*.
- Asociacion Boliviana de Teledeteccion Para el Medio Ambiente. (2000). *Estudio y evaluacion de totorales en las cuencas del lago titicaca, rio desaguadero, lago poopo y salar de uyuni*. La Paz, Bolivia.
- AUTORIDAD AUTONOMA DEL LAGO TITICACA ALT. (2003). *Plantacion de totora en las comunidades*. Proyecto de conservacion.
- Aza, L. (2016). *La totora como material de aislamiento térmico: Propiedades y potencialidades [Universidad Politécnica de Catalunya]*. Barcelona.
- Bejarano, J., & Caicedo, C. (2017). *Análisis del Comportamiento Físico- Mecánico de la Mezcla Asfáltica Tipo MDC.19 con Fibra Natural de Caña de Azucar [ Trabajo de Grado, Universidad Catolica de Colombia]*.
- Corredor, G., & Corros, M. (2010). *Mestria en Vias Terrestres [Programa de Capacitacion Academica, Universidad Nacional de Ingenieria]*. Nicaragua.
- Cortez , J., & Guzman Hugo. (s.f.). *Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente*.
- Guerrero, S. (2019). *Guía para inspectores para la aplicación de riego de liga*. Costa Rica. doi:10.13140 / RG.2.2.25371.72487

- Herrera, L., & Polo, R. (2017). *Estudio de las propiedades mecánicas del concreto en la ciudad de arequipoa, utilizando fibras naturales y sintéticas aplicando para el control de fisuras por retaracción plásticas*[Tesis]. Arequipa.
- Hidalgo, J. (2007). *Aprovechamiento de la Totora como Material de Construcción* [Tesis, Universidad de Cuenca]. Cuenca.
- Ing. Cerruto Anibarro, F. (2015). *Introducción al diseño de mezclas*. La paz, Bolivia.
- Ing. Cerruto Anibarro, F. M. (2005). *Guía de ensayos para agregados*. La Paz, Bolivia.
- INSTITUTO CHILENO DEL ASFALTO. (1992). *Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente*. Santiago, Chile.
- Instituto de Asfalto. (1996). Guayaquil, Ecuador.
- Josephia, R. (s.f.). *Estudio de Materiales Calizos como Agregado Grueso en Mezclas*. Oruro, Bolivia: Latinas.
- marcoah. (11 de Mayo de 2021). *Geología y Mapas*. Obtenido de <https://geologiaymapas.com/2021/05/el-lago-de-asfalto-de-guanoco/>
- Moreira, F., & Jimenez, C. (2016). *Análisis comparativo de la estabilidad y la deformación del pavimento asfáltico con fibras celulósicas y pavimento asfáltico tradicional* [Trabajo Experimental, Universidad Técnica de Ambato].
- NNehring. (22 de Agosto de 2019). *iStock*. Obtenido de <https://www.istockphoto.com/es/foto/tar-seep-la-brea-tar-pits-los-angeles-california-gm1169601915-323388811>
- Normas AASHTO . (2004). *Parte I Especificaciones*.
- PELT-ADESU. (2001). *Proyecto "Técnicas de Implante de Totora"* .

- Petroperu. (2021). *Petroperu Asfaltos*. Obtenido de <https://asfaltos.petroperu.com.pe/descripcion-asfaltos.php>
- Quilluya, A., & Flores, D. (2019). *Influencia de las fibras de Totora (Schoenoplectus californicus) en la resistencia mecánica del concreto [Trabajo de Investigación, Universidad Peruana Union]*. Juliaca.
- Sulca, P. (10 de Marzo de 2013). *slideshare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/pietrobert/emulsiones-asfalticas>
- Zambrano, M. (2018). *Totora: análisis de su comportamiento como material en la construcción para futuras aplicaciones [Trabajo de Graduación, Universidad de Cuenca]*. Cuenca.
- Zamprogno, E. (s.f.). *Mapio.net*. Obtenido de <https://mapio.net/pic/p-23143552/>