

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**EFFECTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS EN EL  
COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO-2024**

**PRESENTADO POR:**

BR. JHULIANA CALVO GUARDAPUCLLA

BR. SAULO TRACY ROJAS PAUCAR

**PARA OPTAR AL TÍTULO  
PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**ASESOR:**

Dr. ING. ADAN WILBERT SOLORZANO MONTESINOS

**CUSCO-PERÚ**

**2025**

# INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: .....  
..... EFEECTO DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS TIBIAS EN EL .....  
..... COMPORTAMIENTO MECANICO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE, .....  
..... CUSCO - 2024 .....

Presentado por: JAULIANA CALVO GUARDAPUCLLA ..... DNI N° 70401574 .....

presentado por: SAULO TRACY ROSAS PAUCAR ..... DNI N°: 70380271 .....

Para optar el título profesional/grado académico de .....  
..... INGENIERO CIVIL .....

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de ..... 7 %.

## Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	<input checked="" type="checkbox"/>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	<input type="checkbox"/>
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	<input type="checkbox"/>

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 03 de JUNIO ..... de 2025 .....

.....  
  
.....  
Firma

Post firma..... DR. ING. ADAN WILBERT SOLORZANO MONTESINOS .....

Nro. de DNI..... 23857089 .....

ORCID del Asesor..... 0000 - 0001 - 7072 - 618 X .....

### Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:464202852 .....

# JHULIANA Y SAULO - CALVO y ROJAS

## EFECTO DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS TIBIAS EN EL COMPORTAMIENTO MECANICO DE PAVIMENTO FLEXIBLE, C...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:464202852

198 Páginas

Fecha de entrega

2 jun 2025, 8:19 p.m. GMT-6

44.721 Palabras

234.859 Caracteres

Fecha de descarga

2 jun 2025, 8:26 p.m. GMT-6

Nombre de archivo

EFECTO DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS TIBIAS EN EL COMPORTAMIENTO MECANICO DE PAVIMENT....pdf

Tamaño de archivo

13.7 MB

# 7% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

## Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
- ▶ Quoted Text
- ▶ Small Matches (less than 20 words)

## Top Sources

- 6%  Internet sources
- 0%  Publications
- 5%  Submitted works (Student Papers)

## Integrity Flags

### 1 Integrity Flag for Review



#### Hidden Text

722 suspect characters on 4 pages

Text is altered to blend into the white background of the document.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

## **Presentación**

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco:

Estimados docentes miembros del jurado:

Conforme al reglamento de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil y con el propósito de optar por el Título Profesional de Ingeniero Civil, nos es grato dirigirnos a ustedes para presentar el trabajo de investigación titulado:

“EFECTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO - 2024”.

La presente investigación tiene como objetivo determinar, mediante ensayos experimentales, que la incorporación de un aditivo de base vegetal en las mezclas asfálticas permite reducir las temperaturas de producción y compactación, manteniendo a su vez propiedades volumétricas y de desempeño dentro de los rangos establecidos por las normativas vigentes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, específicamente el Manual de Carreteras EG-2013 y el Manual de Ensayo de Materiales.

Atentamente,

Bach. Calvo Guardapuella, Jhuliana

Bach. Rojas Paucar, Saulo Tracy

## Dedicatoria

*A mis padres, Honorata Guardapuella y René Calvo, por ser el motor de mi vida y las personas que siempre me brindaron su apoyo, cariño y comprensión durante este proceso. Esta meta alcanzada también es de ustedes, queridos padres.*

*A mis hermanos Yimmy, Rudi, Josep, Karina y Yhanina, quienes siempre han estado presentes en los momentos buenos y difíciles, acompañándome con amor y unión incondicional.*

*A mi compañero de tesis, por su apoyo constante a lo largo de este proceso, que aunque fue laborioso y exigente, hoy culmina con satisfacción y orgullo compartido.*

*A Dios, a la Virgen María y a mi Señor de Calvario, quienes han sido mi guía espiritual y fuente inagotable de fe y fortaleza.*

*Con gratitud profunda y el corazón lleno de amor, dedico esta tesis a todos ustedes.*

*Jhuliana Calvo Guardapuella*

*A mi madre, Rosa Paucar Meza, porque con su ejemplo me enseñó el valor del esfuerzo, la honestidad y la perseverancia.*

*Gracias por guiarme siempre con amor incondicional, por mostrarme el camino correcto y por levantarme en cada tropiezo.*

*Tu fortaleza, paciencia y sabios consejos han sido pilares fundamentales en mi formación personal y profesional.*

*Este logro también es tuyo, porque sin tu apoyo, comprensión y sacrificio no habría llegado hasta aquí.*

*A mis abuelos, Marcos Paucar y Cecilia Meza, a mis tíos, tías y primos, por brindarme siempre su cariño, sus palabras de ánimo y por ser un soporte silencioso pero firme a lo largo de mi camino académico y personal.*

*A mis amigos, por estar presentes tanto en los momentos difíciles como en los de alegría, por compartir conmigo el esfuerzo, las risas y las largas jornadas de estudio. Su compañía ha hecho de este proceso algo más llevadero y valioso.*

*Con profundo amor y gratitud, les dedico esta tesis como un homenaje a todo lo que me han dado y significado en mi vida.*

*Saulo Tracy Rojas Paucar*

## **Agradecimiento**

Agradecemos en primer lugar a Dios, por brindarnos la fortaleza, salud y perseverancia necesarias durante todo el proceso de elaboración de esta tesis.

Expresamos nuestro más profundo agradecimiento a nuestros padres, por su apoyo incondicional, comprensión y constante motivación, pilares fundamentales en nuestra formación personal y académica.

Agradecemos también a nuestros asesores y docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, quienes, con su guía, conocimientos y experiencia, enriquecieron significativamente el desarrollo de este trabajo de investigación.

De manera especial, expresamos nuestro agradecimiento a los ingenieros y personal técnico del laboratorio de mecánica de suelos y pavimentos, por su valiosa colaboración en la ejecución de los ensayos experimentales.

Al Dr. Ing. Adán Wilbert Solórzano Montesinos, nuestro asesor de tesis, por su constante apoyo, por compartir sus conocimientos y por guiarnos durante la culminación de esta investigación.

Al Ing. César Edilberto Arbulú Jurado que dio mas luces en el tema de investigación y motivarnos a seguir, al Ing. Nabih Pinto Fuentes, por compartir su experiencia en el campo de la ingeniería; al Ing. Jorge Rojas Ccente, responsable de la planta de asfalto de la Municipalidad Provincial del Cusco; al personal de la planta de asfalto y del Plan COPESCO, quienes nos facilitaron los agregados pétreos necesarios; y a la Ing. Blanca Durand y su equipo, por su colaboración en este proceso.

Finalmente, a todos nuestros compañeros, amigos y personas que, de una u otra forma, contribuyeron con este proyecto, les extendemos nuestro más sincero reconocimiento y gratitud.

## Resumen

La presente investigación evalúa el comportamiento mecánico de mezclas asfálticas tibias (MAT), modificadas con un aditivo de base vegetal, aplicadas en pavimentos flexibles en la región del Cusco. Se realizó un análisis comparativo entre mezclas elaboradas con cemento asfáltico convencional PEN 120/150 y con cemento modificado con polímero SBS (estireno-butadieno-estireno), tanto en su forma tradicional mezcla asfáltica caliente (MAC) como en su versión tibia mezcla asfáltica tibia (MAT) con aditivo vegetal. Las mezclas fueron evaluadas mediante ensayos volumétricos de Marshall, así como mediante pruebas de desempeño como Lottman (resistencia a la humedad) y rueda de Hamburgo (deformación permanente). El estudio se desarrolló en condiciones de laboratorio que simulan el entorno geográfico y climático de zonas altoandinas, por encima de los 3000 msnm, con el objetivo de analizar la influencia del aditivo vegetal en las propiedades volumétricas y en el comportamiento mecánico de las mezclas, así como su impacto ambiental asociado a la reducción de temperatura durante los procesos de producción y construcción. Los resultados evidencian que las mezclas tibias, en ambos tipos de cemento asfáltico, presentan un desempeño mecánico comparable al de las mezclas tradicionales, con ventajas significativas en la reducción de emisiones contaminantes, consumo energético y mejora de la adherencia, lo que las posiciona como una alternativa sostenible para la infraestructura vial en la región del Cusco.

## **Abstract**

This research evaluates the mechanical behavior of warm asphalt mixtures (WAM), modified with a plant-based additive, applied to flexible pavements in the Cusco region. A comparative analysis was carried out between mixtures produced with conventional asphalt binder PEN 120/150 and those with styrene-butadiene-styrene (SBS) polymer-modified binder, both in their traditional hot mix asphalt (HMA) form and in their warm mix asphalt (WMA) version with the plant-based additive. The mixtures were evaluated through Marshall volumetric tests, as well as performance tests such as Lottman (moisture susceptibility) and Hamburg wheel tracking (rutting resistance). The study was conducted under laboratory conditions simulating the geographic and climatic characteristics of high Andean areas, above 3000 meters above sea level, with the aim of analyzing the influence of the plant-based additive on volumetric properties and mechanical performance, as well as the environmental impact associated with temperature reduction during production and construction processes. The results show that warm mixtures, for both types of asphalt binders, exhibit mechanical performance comparable to traditional mixtures, with significant advantages in reducing pollutant emissions, energy consumption, and improving adhesion. This positions them as a sustainable alternative for road infrastructure in the Cusco region.

## Contenido

Introducción.....	1
Capítulo I: Aspectos Generales .....	3
1.1.    Planteamiento del Problema .....	3
1.1.1.    A Nivel International.....	3
1.1.2.    A Nivel Nacional .....	4
1.2.    Formulación de Problemas .....	5
1.2.1.    Problema general .....	5
1.2.2.    Problemas específicos.....	5
1.3.    Justificación de la Investigación .....	5
1.3.1.    Justificación teórica .....	5
1.3.2.    Justificación Ambiental .....	6
1.3.3.    Justificación social .....	7
1.4.    Objetivos de Investigación .....	7
1.4.1.    Objetivo general.....	7
1.4.2.    Objetivos específicos.....	7
1.5.    Delimitación del Estudio.....	8
Capítulo II: Marco Teórico-Conceptual .....	9
2.1.    Antecedentes de la Investigación.....	9
2.1.1.    Antecedentes internacionales .....	9
2.1.2.    Antecedentes nacionales.....	10
2.1.3.    Antecedentes locales.....	11
2.2.    Bases Teóricas .....	11
2.2.1.    Generalidades del pavimento .....	11
2.2.2.    Mezclas asfálticas.....	13
2.2.3.    Métodos de diseño de mezcla asfáltica .....	32
2.2.4.    Mecanismos de daño de mezclas asfálticas .....	43

2.3.	Marco Conceptual.....	49
Capítulo III: Metodología de Investigación .....		52
3.1.	Formulación de Hipótesis.....	52
3.1.1.	Hipótesis general.....	52
3.1.2.	Hipótesis específica.....	52
3.2.	Tipo de Investigación .....	52
3.3.	Nivel de Investigación .....	52
3.4.	Diseño de Investigación.....	53
3.5.	Enfoque de la Investigación .....	53
3.6.	Identificación de Variables .....	53
3.6.1.	Variables.....	53
3.6.2.	Operacionalización de Variables.....	54
3.7.	Población y Muestra .....	54
3.7.1.	Población.....	54
3.7.2.	Tamaño de muestra.....	54
3.7.3.	Técnicas e instrumentación de recolección de datos .....	55
3.7.4.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	55
3.7.5.	Diseño metodológico .....	56
3.8.	Recolección de Datos .....	57
3.8.1.	Exploración de canteras .....	57
3.8.2.	Ensayos realizados a los agregados.....	59
3.8.3.	Ensayos al ligante asfáltico.....	82
3.8.4.	Ensayo para determinación de parámetros volumétricos.....	84
Capítulo IV: Ensayos y Recolección de Datos .....		95
4.1.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	95
4.1.1.	Fichas y formatos .....	95
4.1.2.	Instrumentos y equipos.....	101

4.1.3.	Laboratorios.....	101
Capítulo V: Resultados Obtenidos.....		102
5.1.	Resultados de Ensayos de Componentes de Mezcla Asfáltica .....	102
5.1.1.	Resultados obtenidos de pruebas realizadas a los agregados pétreos.....	102
5.1.2.	Resultados de ensayos de ligante asfáltico .....	103
5.2.	Resultados del Ensayo Marshall .....	103
5.2.1.	Diseño de mezclas asfálticas convencional PEN 120/150 .....	103
5.2.2.	Diseño de Mezcla Asfáltica Modificada .....	113
5.2.3.	Diseño de mezcla asfáltica tibia con cemento convencional PEN 120/150 .	120
5.2.4.	Diseño de mezcla asfáltica tibia con polímero SBS .....	123
5.3.	Resultados de Ensayo Lottman .....	125
5.4.	Resultados del Ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo .....	127
5.5.	Resultados de Costos Estimados de Materiales, Operativo y Producción.....	128
5.5.1.	Costos Estimados de Materiales.....	128
5.5.2.	Costos Estimados de Operación.....	130
5.5.3.	Costos Estimados de Producción .....	131
5.6.	Resultados Referenciales de Impacto Ambiental .....	132
Capítulo VI: Análisis de los Resultados .....		132
6.1.	Análisis de Resultados de los Ensayos de Componentes de Mezcla Asfáltica...	132
6.1.1.	Gradaciones establecidas en la norma ASTM D 3515 para mezcla asfáltica 132	
6.1.2.	Análisis de resultados de los ensayos de agregados pétreos .....	135
6.1.3.	Análisis de resultados de los ensayos de ligante asfáltico .....	138
6.2.	Análisis de Resultados del Ensayo Marshall .....	138
6.2.1.	Requisitos establecidos para el diseño de mezcla asfáltica en caliente .....	138
6.2.2.	Requisitos establecidos para el diseño de mezcla asfáltica tibia.....	144
6.3.	Análisis de Resultados del Ensayo Lottman .....	161

6.4.	Análisis de Resultados del Ensayo de desempeño-Rueda Cargada de Hamburgo	163
6.5.	Análisis de Resultados de Costo de Materiales, Operativo y Producción.....	164
6.6.	Análisis de Resultados de Impacto Ambiental.....	166
6.7.	Determinación de la nueva carta de viscosidad para el asfalto PEN 120/150 y el asfalto modificado con SBS.....	168
	Capítulo VII: Conclusiones .....	171
	Capítulo VIII: Recomendaciones .....	173
	Bibliografía .....	175
	Documentos de Sitio Web .....	178

### Índice de tablas

<b>Tabla 01</b>	Recomendación de cemento asfáltico según condiciones climáticas .....	16
<b>Tabla 02</b>	Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración .....	16
<b>Tabla 03</b>	Especificaciones del cemento asfáltico clasificado grado por viscosidad.....	17
<b>Tabla 04</b>	Rangos de temperatura de aplicación .....	17
<b>Tabla 05</b>	Propiedades Requeridas en Agregados Gruesos según Normativa Técnica .....	18
<b>Tabla 06</b>	Propiedades Requeridas en Agregados Finos según Normativa Técnica.....	19
<b>Tabla 07</b>	Husos granulométricos según la EG-2013 para MAC.....	19
<b>Tabla 08</b>	Especificación de Gradación densa ASTM D 3515.....	20
<b>Tabla 09</b>	Especificaciones del cemento asfáltico modificado con polímeros Tipo I.....	24
<b>Tabla 10</b>	Especificaciones del cemento asfáltico modificado con polímeros Tipo II.....	25
<b>Tabla 11</b>	Requerimientos de Vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA).....	38
<b>Tabla 12</b>	Vacíos llenos con asfalto (VFA) .....	39
<b>Tabla 13</b>	Requerimientos de concreto bituminoso.....	40
<b>Tabla 14</b>	Factores que afectan el ahuellamiento en mezclas asfálticas. ....	46
<b>Tabla 15</b>	Factores que contribuyen con el daño por humedad de las mezclas asfálticas en caliente.....	48
<b>Tabla 16</b>	Secuencia de Tamices para el Análisis Granulométrico .....	60
<b>Tabla 17</b>	Cantidad mínima de muestra de agregado grueso.....	61
<b>Tabla 18</b>	Gradación de las muestras de ensayo.....	70

<b>Tabla 19</b>	Pesos de agregado grueso para ensayo de durabilidad .....	78
<b>Tabla 20</b>	Parámetros de correlación en la Estabilidad Marshall.....	85
<b>Tabla 21</b>	Reporte de requerimientos de agregado grueso .....	102
<b>Tabla 22</b>	Reporte de requerimientos de agregado fino .....	102
<b>Tabla 23</b>	Reporte de requerimientos de Bitúmenes .....	103
<b>Tabla 24</b>	Combinación teórica de agregados #1 .....	103
<b>Tabla 25</b>	Combinación teórica de agregados #2 .....	104
<b>Tabla 26</b>	Combinación teórica de agregados #3 .....	105
<b>Tabla 27</b>	Combinación teórica de agregados #4 .....	106
<b>Tabla 28</b>	Resumen de diseño de mezcla asfáltica con cemento asfáltico PEN 120/150 con 2% de cal hidratada.....	107
<b>Tabla 29</b>	Combinación teórica de agregados #5 .....	107
<b>Tabla 30</b>	Evaluación de RICE de la mezcla asfáltica convencional (3% cal hidratada).....	109
<b>Tabla 31</b>	Resumen de diseño de mezcla asfáltica convencional (3% cal hidratada).....	109
<b>Tabla 32</b>	Cantidad optima de asfalto (C.O.A) para PEN 120/150 .....	113
<b>Tabla 33</b>	Combinación teórica de agregados para POLIMERO SBS.....	113
<b>Tabla 34</b>	Resumen de diseño de mezcla Asfáltica POLIMERO SBS (3% cal hidratada). .....	115
<b>Tabla 35</b>	Evaluación de RICE de la mezcla Asfáltica con polímero SBS (3% cal hidratada). ...	115
<b>Tabla 36</b>	Cantidad optima de asfalto modificada con polímero S.B.S (C.O.A) .....	120
<b>Tabla 37</b>	Combinación teórica de agregados para mezcla asfáltica tibia con 0.3 % aditivo surfactante. ....	120
<b>Tabla 38</b>	Resumen de diseño de mezclas asfálticas convencional adicionando aditivo surfactante al 0.3% .....	122
<b>Tabla 39</b>	Resumen de diseño de mezclas asfálticas convencional adicionando aditivo surfactante al 0.5 % .....	122
<b>Tabla 40</b>	Combinación teórica de agregados para mezcla asfáltica tibia con 0.4 % aditivo surfactante. ....	123
<b>Tabla 41</b>	Resumen de diseño de mezclas asfálticas modificado adicionando aditivo surfactante al 0.4 % a diferentes temperaturas de compactación. ....	124
<b>Tabla 42</b>	Resumen de diseño de mezclas asfálticas modificado adicionando aditivo surfactante al 0.6 % a diferentes temperaturas de compatacion. ....	125
<b>Tabla 43</b>	Cuadro de ensayos de tracción indirecta.....	126
<b>Tabla 44</b>	Cuadro resumen tenido el comportamiento de las condiciones antes mencionadas.	127
<b>Tabla 45</b>	Resultados de desempeño con PEN 120/150 +0.3%Adit. y el POLIMERO SBS +0.4%Adit.....	127
<b>Tabla 46</b>	Costos de Materiales para PEN 120/150 (5.8% asfalto) .....	129

<b>Tabla 47</b> Costos de Materiales para POLÍMERO SBS (5.7% asfalto) .....	129
<b>Tabla 48</b> Costos de Materiales para PEN 120/150 + ADITIVO (5.8% asfalto + 0.3% aditivo) ..	130
<b>Tabla 49</b> Costos de Materiales para POLÍMERO SBS + ADITIVO (5.7% asfalto + 0.4% aditivo) .....	130
<b>Tabla 50</b> Costos Estimados de Operación.....	131
<b>Tabla 51</b> Costos Estimados de Producción .....	131
<b>Tabla 52</b> Estimaciones de Gases de efecto invernadero para el Impacto Ambiental .....	132
<b>Tabla 53</b> Gradación densa ASTM D 3515. ....	132
<b>Tabla 54</b> Cantidad optima de agregado.....	133
<b>Tabla 55</b> Distribución de agregado óptimo de acuerdo a la ASTM D 3515 .....	134
<b>Tabla 56</b> Análisis de resultados de los requerimientos del agregado grueso. ....	135
<b>Tabla 57</b> Análisis de resultados de los requerimientos del agregado fino .....	136
<b>Tabla 58</b> Análisis de resultados de los requerimientos de bitúmenes.....	138
<b>Tabla 59</b> Análisis de resultados de diseño de mezcla asfáltica convencional PEN 120/150.....	139
<b>Tabla 60</b> Análisis de resultados de diseño de mezcla asfáltica con POLIMERO SBS .....	140
<b>Tabla 61</b> Análisis de resultados de diseño de mezcla asfáltica convencional + tibia 0.3% aditivo surfactante .....	144
<b>Tabla 62</b> Análisis de resultados de diseño de mezcla asfáltica convencional +tibia 0.5% aditivo surfactante .....	145
<b>Tabla 63</b> Análisis de resultados de diseño de mezcla asfáltica con POLIMERO SBS +tibia 0.4% aditivo surfactante.....	150
<b>Tabla 64</b> Análisis de resultados de diseño de mezcla asfáltica con POLIMERO SBS +tibia 0.6% aditivo surfactante.....	151
<b>Tabla 65</b> Análisis de resultados de diseño de mezcla asfáltica con POLIMERO SBS VS CEMENTO ASFALTICO CONVENCIONAL PEN 120/150 .....	156
<b>Tabla 66</b> Análisis de resultados de diseño de mezcla asfáltica calientes .....	161
<b>Tabla 67</b> Análisis de resultados de diseño de mezcla asfáltica tibia. ....	161
<b>Tabla 68</b> Análisis de resultados del ensayo de desempeño- rueda cargada de Hamburgo.....	163
<b>Tabla 69</b> Análisis de Costo de Materiales, Operación y Producción .....	164
<b>Tabla 70</b> Análisis de resultados de Impacto Ambiental .....	166

### Índice de figuras

<b>Figura 01</b> Reducción de Aspectos Ambientales .....	6
<b>Figura 02</b> Altitud de la zona de estudio.....	9
<b>Figura 03</b> Clasificación de polímeros.....	24

<b>Figura 04</b> Consumo de Energía Según el tipo de Mezclas Asfálticas Producidas .....	28
<b>Figura 05</b> Descripción de parámetro volumétricas .....	34
<b>Figura 06</b> Ejemplo de resultados de ensayos Marshall, según el contenido de asfalto .....	42
<b>Figura 07</b> Esquema de los resultados de un ensayo en la rueda cargada .....	45
<b>Figura 08</b> Simulación de cargas- Rotura del ensayo de tracción indirecta .....	48
<b>Figura 09</b> Esquema de la METODOLOGIA CONVENCIONAL DE MARSHALL .....	57
<b>Figura 10</b> Ubicación de la cantera Morro Blanco, San Salvador.....	58
<b>Figura 11</b> Cantera Morro Blanco, San Salvador.....	58
<b>Figura 12</b> Ubicación de la Cantera de Cunyac .....	59
<b>Figura 13</b> Secado y cuarteo del material este .....	62
<b>Figura 14</b> Análisis granulométrico de Agregado Pétreo grueso y Fino.....	63
<b>Figura 15</b> Análisis granulométrico de cal hidratada.....	63
<b>Figura 16</b> Se hace el proceso para peso específico.....	65
<b>Figura 17</b> Ensayos de absorción .....	65
<b>Figura 18</b> Determinación de peso específico .....	67
<b>Figura 19</b> Materiales para realizar en ensayo de equivalente de arena (mixto) .....	68
<b>Figura 20</b> Se hace el irrigado del ensayo de equivalente de la mezcla de arenas .....	68
<b>Figura 21</b> Se procede a medir la altura de la muestra .....	69
<b>Figura 22</b> Se hace la clasificación del material, poner el material a la máquina de los ángeles ..	71
<b>Figura 23</b> Se pone la cantidad de esferas correspondientes y se hace el recojo del material para posterior pesado final.....	71
<b>Figura 24</b> Se muestra la clasificación de los agregados para partículas chatas alargadas .....	72
<b>Figura 25</b> Se determina las caras fracturadas que se tengan en los agregados de ½", 3/8" y ¼" .....	74
<b>Figura 26</b> Se tiene todos los materiales que se usan para el azul metileno. ....	75
<b>Figura 27</b> Materiales que se usan para el azul metileno .....	75
<b>Figura 28</b> Índice de plasticidad de la (malla # 40) y (malla N°200).....	77
<b>Figura 29</b> Ensayo de durabilidad de agregado grueso.....	79
<b>Figura 30</b> Se hace el mismo proceso por 5 ciclos .....	79
<b>Figura 31</b> Ensayo de durabilidad de agregado fino .....	80
<b>Figura 32</b> Ensayo de durabilidad de agregado fino 3/8-N°4-N°8-N°16-N°30-N°50 .....	80
<b>Figura 33</b> Ensayo de penetración del ligante .....	83
<b>Figura 34</b> Calentamiento y mezclado de los agregados con el ligante y filler .....	87
<b>Figura 35</b> Se hace el compactado y desmoldeo.....	87
<b>Figura 36</b> Se determina el peso sumergido peso seco, peso saturado .....	88
<b>Figura 37</b> Se observa el proceso Baño María para rotura de los Especímenes.....	88

<b>Figura 38</b>	Rotura de los especímenes .....	89
<b>Figura 39</b>	Ensayo de Rice .....	91
<b>Figura 40</b>	Proceso de TSR.....	92
<b>Figura 41</b>	Rotura de briquetas .....	93
<b>Figura 42</b>	Especímenes para rueda de Hamburgo.....	94
<b>Figura 43</b>	Rotura de Muestras de la rueda de Hamburgo.....	95
<b>Figura 44</b>	Formato de análisis granulométricos ya sea de agregado grueso-fino-cal hidratada .	95
<b>Figura 45</b>	Abrasión de los Ángeles y Gravedad Específica.....	96
<b>Figura 46</b>	Gravedad específica y Partículas fracturadas.....	96
<b>Figura 47</b>	Ensayos de partículas chatas y alargadas, durabilidad al sulfato de magnesio .....	97
<b>Figura 48</b>	Equivalente de Arena, Índice de Plasticidad .....	97
<b>Figura 49</b>	Combinación de agregados y curva granulométrica .....	98
<b>Figura 50</b>	Formato para Diseño de mezclas asfálticas .....	98
<b>Figura 51</b>	Formato para densidad teórica de rice, formato para parámetros volumétricos de Marshall.....	99
<b>Figura 52</b>	Formatos para ensayos de tracción indirectas (TSR).....	99
<b>Figura 53</b>	Formato para ensayo de desempeño -Rueda de Hamburgo.....	100

### Índice de Graficas

<b>Grafica 01</b>	Curva granulométrica de Combinación teórica de agregados #1 .....	104
<b>Grafica 02</b>	Curva granulométrica de Combinación teórica de agregados #2 .....	105
<b>Grafica 03</b>	Curva granulométrica de Combinación teórica de agregados #4 .....	106
<b>Grafica 04</b>	Curva granulométrica de Combinación teórica de agregados #4 .....	107
<b>Grafica 05</b>	Curva granulométrica de Combinación teórica de agregados #5 .....	108
<b>Grafica 06</b>	Curvas de energía de compactación constante PEN 120/150.....	110
<b>Grafica 07</b>	Obtención de C.O.A convencional .....	111
<b>Grafica 08</b>	Curva granulométrica de Combinación teórica de agregados #1 .....	114
<b>Grafica 09</b>	Curvas de energía de compactación constante POLIMERO SBS .....	116
<b>Grafica 10</b>	Obtención de C.O.A modificada.....	118
<b>Grafica 11</b>	Combinación teórica de agregados para mezcla asfáltica tibia con 0.3 % aditivo surfactante. ....	121
<b>Grafica 12</b>	Se observa la curva granulométrica.....	124
<b>Grafica 13</b>	Ensayo de Prueba de Hamburgo .....	128
<b>Grafica 14</b>	Curva granulométrica óptima utilizada para mezcla asfáltica convencional PEN 120/150 y POLIMERO SBS .....	134

<b>Grafica 15</b> Curvas de energía de compactación constante POLIMERO SBS vs Cemento asfáltico convencional PEN 120/150 .....	142
<b>Grafica 16</b> Curvas de energía de compactación constante POLIMERO SBS vs Cemento asfáltico convencional PEN 120/150 .....	147
<b>Grafica 17</b> Análisis de resultados de diseño de mezcla asfáltica con POLIMERO SBS +tibia 0.6% aditivo surfactante.....	153
<b>Grafica 18</b> Curvas de energía de compactación constante cemento asfáltico MODIFICADO CON POLIMERO SBS con aditivo surfactante con aditivos óptimos a diferentes temperaturas de compactación.....	157
<b>Grafica 19</b> Histograma de Resultados de TSR.....	162
<b>Grafica 20</b> Representación de Ahuellamiento .....	163
<b>Grafica 21</b> Representación de Costo de Materiales, Operación y Producción .....	165
<b>Grafica 22</b> Representación de Impacto Ambiental .....	166
<b>Grafica 23</b> Carta de viscosidad del asfalto PEN 120/150 con aditivo de base vegetal .....	168
<b>Grafica 24</b> Carta de viscosidad del asfalto modificado SBS con aditivo de base vegetal .....	169

#### Anexos

<b>ANEXO A</b> Matriz de consistencia de la tesis de investigación .....	179
<b>ANEXO B</b> Análisis granulométrico-Ensayo 01-tamaño máximo del agregado 3/4 .....	180
<b>ANEXO C</b> Análisis granulométrico-Ensayo 01-tamaño máximo 1/2'' .....	181
<b>ANEXO D</b> Análisis granulométrico-Ensayo 01-tamaño máximo 3/8'' .....	182
<b>ANEXO E</b> Análisis granulométrico-Ensayo 01-tamaño máximo 1/2'' .....	183
<b>ANEXO F</b> Análisis granulométrico-Ensayo 02-tamaño máximo 1/2'' .....	184
<b>ANEXO G</b> Análisis granulométrico-Ensayo 02-tamaño máximo 1/2'' .....	185
<b>ANEXO H</b> Análisis granulométrico-Ensayo 02-tamaño máximo 3/8'' .....	186
<b>ANEXO I</b> Análisis granulométrico-Ensayo 03-tamaño máximo 3/4'' .....	187
<b>ANEXO J</b> Análisis granulométrico-Ensayo 03-tamaño máximo 3/4'' .....	188
<b>ANEXO K</b> Análisis granulométrico-Ensayo 03-tamaño máximo 1/2'' .....	189
<b>ANEXO L</b> Análisis granulométrico-Ensayo 03-tamaño máximo 1/2'' .....	190
<b>ANEXO M</b> Análisis granulométrico-Ensayo 03-tamaño máximo 3/8'' .....	191
<b>ANEXO N</b> Análisis granulométrico-Ensayo 03-tamaño máximo 3/8'' .....	192
<b>ANEXO O</b> Combinación teórica de agregados 01 .....	193
<b>ANEXO P</b> Combinación teórica de agregados 02.....	194
<b>ANEXO Q</b> Análisis Granulométrico de filler-Ensayo 01 .....	195
<b>ANEXO R</b> Análisis Granulométrico de filler-Ensayo 02 .....	196
<b>ANEXO S</b> Análisis Granulométrico de filler-Ensayo 03.....	196

<b>ANEXO T</b> Análisis Granulométrico de filler-Ensayo 03.....	197
<b>ANEXO U</b> Combinación teórica de agregados 03 .....	198
<b>ANEXO V</b> Combinación teórica de agregados 04.....	199
<b>ANEXO W</b> Combinación teórica de agregados 05.....	200
<b>ANEXO X</b> Abrasión de Ángeles Gradación "B" .....	201
<b>ANEXO Y</b> Abrasión de Ángeles Gradación "C" .....	203
<b>ANEXO Z</b> Gravedad específica y Absorción de agregado Fino y Grueso .....	205
<b>ANEXO AA</b> Partículas Fracturadas Y Chatas alargadas.....	206
<b>ANEXO BB</b> Ensayo de Durabilidad -Equivalente de Arena -Índice de plasticidad -Azul metileno .....	207
<b>ANEXO CC</b> Diseño De Mezcla Asfáltica En Caliente Con 2% De Cal Hidratada Método De Marshall.....	209
<b>ANEXO DD</b> Diseño De Mezcla Asfáltica En Caliente Con 3% De Cal Hidratada Método De Marshall.....	214
<b>ANEXO EE</b> Diseño De Mezcla Asfáltica Modificadas Con 3% De Cal Hidratada Método De Marshall.....	222
<b>ANEXO FF</b> Mezcla asfáltica convencional PEN120/150 con aditivo con 0.3% de aditivo Surfactante por el método de Marshall.....	230
<b>ANEXO GG</b> Mezcla asfáltica convencional PEN120/150 con aditivo con 0.5% de aditivo Surfactante por el método de Marshall.....	236
<b>ANEXO HH</b> Diseño De Mezcla Asfáltica En Modificada Con 0.4% De Aditivo Surfactante Método De Marshall.....	242
<b>ANEXO II</b> Diseño De Mezcla Asfáltica En Modificada Con 0.6% De Aditivo Surfactante Método De Marshall.....	249
<b>ANEXO JJ</b> Cuadro de Ensayos de Tracción Indirecta. ....	256
<b>ANEXO KK</b> Cuadro resumen tenido el Comportamiento de las Condiciones antes Mencionadas.....	257
<b>ANEXO LL</b> Ensayo de desempeño de rueda de Hamburgo .....	257
<b>ANEXO MM</b> ENSAYO EXTERNOS-Ensayo de Índice de Durabilidad -Ensayo de sales Solubles-Ensayo de angularidad .....	259
<b>ANEXO NN</b> Certificado de uso de laboratorio de mecánica de suelos y materiales de la escuela profesional de Ingeniería Civil .....	265
<b>ANEXO OO</b> Ensayos de Rice-Densidad Máxima-Mezcla asfáltica en Caliente.....	266
<b>ANEXO PP</b> Ensayos de Rice-Densidad Máxima-Mezcla asfáltica en Modificada .....	267
<b>ANEXO QQ</b> Certificados de calibración de Equipos usados .....	268
<b>ANEXO RR</b> Cartas de viscosidad de asfaltos utilizados.....	272

<b>ANEXO SS</b>	Fotos de ensayos realizados en laboratorio de Agregado-Bitumen.....	278
-----------------	---	-----

### Lista de Abreviaturas

<b>Abreviatura</b>	<b>Significado</b>
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	American Society for Testing and Materials
CA	Cemento Asfáltico
COA	Contenido Óptimo de Asfalto
EG-2013	Especificaciones Generales de Carreteras – Manual del MTC
ESSAL	Ejes Simples de Carga Legal
HMA	Hot Mix Asphalt (Mezcla Asfáltica en Caliente)
MAC	Mezcla Asfáltica Convencional
MAT	Mezcla Asfáltica Tibia
MAT+SBS	Mezcla Asfáltica Tibia con Polímero SBS
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
OGFC	Open Graded Friction Course (Curso de Fricción de Gradación Abierta)
PG	Performance Grade (Grado de desempeño del asfalto)
SBS	Estireno-Butadieno-Estireno
SM	Subrasante Mejorada
SMA	Stone Mastic Asphalt (Asfalto Mástico de Piedra)
TSR	Tensile Strength Ratio (Relación de Resistencia a la Tracción)
VFA	Voids Filled with Asphalt (Vacíos llenos con asfalto)
VMA	Voids in Mineral Aggregate (Vacíos en el agregado mineral)
Va	Vacíos de aire

<b>Abreviatura</b>	<b>Significado</b>
VOC	Volatile Organic Compounds (Compuestos Orgánicos Volátiles)
WMA	Warm Mix Asphalt (Mezcla Asfáltica Tibia)

### **Glosario de Términos Técnicos y Abreviaturas**

- **Agregado fino:** Material que pasa por el tamiz N°4 (4.75 mm) y queda retenido en el tamiz N°200. Es esencial para lograr una mezcla densa y trabajable.
- **Agregado grueso:** Material retenido en el tamiz N°4. Proporciona resistencia estructural a la mezcla.
- **Ahuellamiento:** Deformación permanente en la superficie del pavimento, causada por cargas repetidas.
- **Aditivo vegetal:** Compuesto de origen natural que actúa como tensoactivo, mejorando la trabajabilidad de la mezcla y permitiendo reducir las temperaturas de producción y compactación.
- **Asfalto:** Material bituminoso de color negro, obtenido del petróleo, utilizado como ligante en mezclas asfálticas.
- **Base granular:** Capa estructural de agregados no tratados situada debajo de la carpeta asfáltica.
- **Cal hidratada:** Material mineral utilizado como filler o aditivo para mejorar la adhesión en mezclas asfálticas.
- **Carta de viscosidad:** Gráfica que relaciona la temperatura con la viscosidad del asfalto; permite establecer temperaturas de mezcla y compactación.
- **Cemento asfáltico (CA):** Ligante hidrocarbonado utilizado para unir agregados en pavimentos flexibles.
- **Compactación:** Proceso de densificación de la mezcla asfáltica para eliminar vacíos y aumentar su resistencia.

- **Contenido óptimo de asfalto (COA):** Porcentaje de ligante asfáltico que proporciona las mejores propiedades volumétricas y mecánicas según el método Marshall.
- **Durabilidad:** Capacidad de la mezcla asfáltica para resistir los efectos del clima, el tránsito y el envejecimiento.
- **Ensayo Marshall:** Método para diseño de mezclas asfálticas que evalúa estabilidad, flujo y propiedades volumétricas.
- **ESSAL:** Ejes equivalentes estándar a carga legal; parámetro de diseño que representa la demanda de tránsito.
- **Estabilidad Marshall:** Carga máxima que soporta una muestra antes de deformarse, medida en el ensayo Marshall.
- **Filler (Polvo mineral):** Material que pasa el tamiz N°200, como cal hidratada o cemento, usado para llenar vacíos y mejorar la cohesión de la mezcla.
- **Flujo Marshall:** Deformación que experimenta la muestra de mezcla asfáltica al alcanzar la carga máxima durante el ensayo Marshall.
- **Daño por Humedad:** Reducción en la adhesión entre asfalto y agregado debido a la presencia de agua, evaluada mediante el ensayo Lottman.
- **Ligante:** Material que une los agregados; en este caso, el cemento asfáltico o el asfalto modificado.
- **Lottman (TSR):** Ensayo de resistencia a la humedad de una mezcla asfáltica que mide la pérdida de resistencia a la tracción indirecta.
- **MAC:** Mezcla Asfáltica Caliente.
- **MAT:** Mezcla Asfáltica Tibia.
- **MAT+SBS:** Mezcla Asfáltica Tibia modificada con polímero SBS.
- **Mezcla asfáltica en caliente (HMA):** Mezcla producida y compactada a temperaturas elevadas (aprox. 150–165 °C).
- **Mezcla asfáltica tibia (WMA):** Mezcla fabricada y colocada a temperaturas moderadas (110–140 °C) gracias al uso de aditivos.
- **PEN 120/150:** Clasificación del asfalto por su penetración; el número indica la profundidad en décimas de mm que penetra una aguja estándar a 25 °C.

- **Polímero SBS:** Estireno-Butadieno-Estireno; polímero termoplástico que mejora elasticidad y durabilidad del asfalto.
- **RICE (Densidad teórica máxima):** Densidad calculada de la mezcla sin vacíos de aire; usada para determinar contenido de vacíos y compactación.
- **Rueda de Hamburgo:** Ensayo que simula la acción repetitiva de ruedas sobre una muestra para medir su resistencia al ahuellamiento.
- **Subbase:** Capa de material granular situada entre la subrasante y la base.
- **Subrasante:** Capa natural o preparada de suelo sobre la que se construyen las capas del pavimento.
- **Tensoactivo (Surfactante):** Sustancia que reduce la tensión superficial del ligante, permitiendo una mejor cobertura del agregado a menor temperatura.
- **TSR (Tensile Strength Ratio):** Relación entre la resistencia a la tracción indirecta húmeda y seca de una mezcla, expresada en porcentaje.
- **Vacíos de aire (Va):** Porcentaje de espacio vacío entre los agregados no llenado por el asfalto.
- **VFA (Vacíos llenos de asfalto):** Porcentaje del volumen de vacíos en el agregado mineral que está ocupado por el asfalto.
- **VMA (Vacíos en el agregado mineral):** Espacio entre los agregados llenado por asfalto y aire.

## Introducción

Los factores ambientales constituyen uno de los principales factores que contribuyen al deterioro acelerado de los pavimentos, entre los más predominantes que afectan negativamente el desempeño de los pavimentos, son la temperatura, las precipitaciones, radiación solar, la velocidad del viento y la humedad ambiental, todos estos anteriores son responsables del deterioro acelerado de los pavimentos, y los cambios climáticos han provocado variaciones drásticas en estos factores, afectando notablemente en el comportamiento de las mezclas asfálticas convencionales que también se puede decir las mezclas asfálticas calientes(WMA), por lo tanto, es fundamental considerar estas condiciones ambientales adversas durante la construcción de pavimentos, a fin de garantizar su durabilidad y un adecuado nivel de servicio a lo largo del tiempo (Swarna et al., 2021).

La presente investigación tiene como principal objetivo mejorar las formas de pavimentar, ya sea en costos en horas hombre, menos perdidas del asfalto por bajas temperaturas, tomando en cuenta para la elección del asfalto la altitud mayor a 3000 msnm.

En el ámbito de la ingeniería de pavimentos para carreteras situadas en las altas montañas, el ligante asfáltico presenta una mayor susceptibilidad al envejecimiento prematuro por oxidación cuando no se ha realizado un diseño adecuado de las mezclas asfálticas. Esta situación se debe a la exposición prolongada del asfalto a bajas temperaturas ambientales, combinada con la intensa radiación ultravioleta (UV) presente en estas regiones de gran altura, por lo tanto, es fundamental considerar estos factores climáticos adversos durante las diferentes etapas de diseño y construcción en campo de las mezclas asfálticas, a fin de garantizar un adecuado comportamiento y durabilidad de los pavimentos en estas condiciones extremas (Xiangbing et al., 2020).

Es crucial identificar los factores significativos que impactan en el desempeño óptimo del equipo y maquinaria, repercutiendo directamente en su productividad; estos factores incluyen la inclinación y conformación topográfica del terreno, las condiciones meteorológicas imperantes, la naturaleza de la actividad que se está ejecutando, así como la altitud sobre el nivel del mar en la que se encuentran operando, es por eso que se reconoce que las condiciones climáticas ejercen una influencia directa en la

maniobrabilidad y operación de la maquinaria, donde fenómenos como precipitaciones, vientos fuertes y cambios bruscos de temperatura pueden comprometer su capacidad operativa (Cañón et al., 2023).

En el contexto peruano, ciudades ubicadas en la región andina como Cuzco y Arequipa presentan áreas que se emplazan a altitudes superiores a los 3500 metros sobre el nivel del mar, enfrentando un rango amplio de temperaturas que oscilan desde los 21.7°C como máxima hasta los -7.6°C como mínima. Estos estudios tienen como objetivo principal reducir la susceptibilidad al agrietamiento térmico de la carpeta asfáltica, fenómeno que se ve exacerbado por los cambios bruscos de temperatura propios de estas regiones andinas (Orellana, 2022).

Además, en nuestro país, es crucial resaltar que el tránsito de vehículos de carga pesada, sumado a la falta de mantenimiento y conservación adecuada de las carreteras, constituyen factores determinantes que aceleran significativamente el deterioro de la infraestructura vial; en la región del Cusco, según datos del año 2018, la red vial alcanza una extensión de 15,386.36 kilómetros, de los cuales solo el 21% cuenta con pavimento asfáltico; en la mayoría de estas vías asfaltadas se han registrado cuantiosas pérdidas económicas debido al deterioro prematuro de los pavimentos (Arias D., 2021).

Por datos estadísticos en el último año 2024 la concentración atmosférica de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) ha pasado de unas 278 partes por millón (ppm) en el año de 1750 a 420 ppm en el año 2023, lo que supone un incremento de aproximadamente del 51 %

Según Estrada (2022), las mezclas asfálticas tibias emergen como una alternativa prometedora y una solución viable frente a los impactos ambientales asociados a los procesos constructivos convencionales, ya que se consideran tecnologías amigables con el medio ambiente, entre sus principales características destacan el menor requerimiento de temperatura para los procesos de mezclado y compactación, lo cual conlleva a una reducción significativa en la producción de gases que ocasionan el efecto invernadero y de gases de efectos cancerígenos que representan un riesgo para el bienestar humano. Adicionalmente, estas mezclas optimizan el consumo de combustibles fósiles, un recurso no renovable de alto valor económico. Otra ventaja notable es la potencialidad de su uso en combinación con aditivos surfactantes que actúan como lubricantes, mejorando así el desempeño de estas mezclas asfálticas ambientalmente sostenibles.

Como caso de estudio se ha considerado el distrito de Chinchero, se proyecta una vía alterna denominada PE-28 que se ejecutara conforme va avanzando la construcción de dicho aeropuerto, este distrito ubicado en la región Cusco, cuya altitud es de 3,765 msnm. Esta zona representa condiciones reales de la sierra sur peruana, con clima frío y tráfico moderado a pesado. Además, se cuenta con un ESSAL proyectado de  $3.75 \times 10^5$ , lo que permite evaluar la pertinencia de aplicar mezclas asfálticas en este tipo de contextos.

## **Capítulo I: Aspectos Generales**

### **1.1. Planteamiento del Problema**

#### **1.1.1. A Nivel Internacional**

Se indica el uso de cera polietilénica reduciendo la temperatura con respecto a la convencional disminuyendo la viscosidad del asfalto y aumentar la trabajabilidad en un Pen 60/70, hallando el Módulo de rigidez de la mezcla asfálticas caliente y tibias, teniendo un menor envejecimiento durante las distintas fases de la pavimentación en la Paz-Bolivia. (Salazar, 2019)

Aun así, la adopción del WMA en Europa se está desarrollando con mayor lentitud de lo previsto. Con el objetivo de ayudar a la industria europea del asfalto a superar las barreras identificadas y consolidar la implementación del WMA, el presente documento ofrece definiciones, orientación técnica, mejores prácticas y recomendaciones basadas en el conocimiento y la experiencia adquiridos durante más de 20 años a nivel mundial. (EAPA, 2024)

(Sanchez, Sanchez, 2016) indican que en Colombia es el país con mayor atraso en la infraestructura vial teniendo problemas ambientales y económicos debido al consumo de combustible y costos de obtención altos de producción buscando principalmente la implementación de nuevas tecnologías que busquen de alguna forma solucionar los problemas antes mencionados. Basados en la tesis de investigación, "consiste en tomar una mezcla asfáltica en caliente como referencia para modificar su composición adicionando un aditivo hasta ahora desconocido por las plantas productoras de asfalto llamado HUSIL, con el objetivo de reducir la temperatura de la mezcla, reducir las emisiones de gases a la atmósfera y la exposición de los trabajadores a las emanaciones del asfalto, de esta manera, se evidenció que tanto el aditivo como la escoria de alto

horno pueden ser utilizados como reductores de temperatura y de costos en mezclas asfálticas tibias''

### **1.1.2. A Nivel Nacional**

(Flores & Rojas, 2019) analizan el comportamiento de las mezclas de comportamiento tibio, con la adición de aditivos Quimibond 3000 y Zycotherm que tendrán distintas características adherentes u otras, este estudio se dio en la zona de Lima Metropolitana con el afán de buscar nuevas alternativas de mejorar el comportamiento del asfalto ya sea en la vida útil del mismo disminuyendo su oxidación, hacerlo menos rígido. La investigación aporta soluciones ambientales ya sea disminuyendo la emisión de gases de efecto invernadero en una ciudad, donde los últimos estudios indican que el Perú está en el puesto 129 de 184 de un ranking mundial.

La principal falla de los pavimentos asfálticos en el Perú ya sea por sus distintos microclimas, posición geográfica, y una fisiografía compleja.

También se evidencia por las altas cantidades de repeticiones de carga que soporta el pavimento en los años, el comportamiento del asfalto es elástico-lineal en bajas temperaturas desarrollando propiedades Visco-Elásticos y Visco-Plástico pudiendo darse deformaciones permanentes al recibir cargas repetidas del tránsito. Existen algunos productos que mejoran el desempeño del comportamiento del pavimento (Estireno Butadieno Estireno) ofreciendo alto desempeño en la vida útil disminuyendo costos de reparación y mantenimiento de los pavimentos. (Alarcon & Cardenas, 2021)

Caycho y Del rio (2023) indican que en las mezclas asfálticas adicionando polímero exceden algunos valores del parámetro de la relación que existe entre la Estabilidad/Flujo señalado en la norma EG-2013, lo que genera una problemática significativa, ya que el polímero de una u otra forma mejora los valores de Estabilidad-Flujo y por lo tanto la relación entre ellos.

Indica que la relación antes mencionada ya no es relevante para el diseño de las mezclas asfálticas convencionales o las mezclas modificadas con el polímero u otros productos, se sugiere indicar al Ministerio de Transportes y Comunicaciones la posibilidad de analizar su relevancia como requisito o exigencia en la Norma Técnica Peruana para pavimentos EG-2013. (Caycho & Del Rioo Fermor, 2023)

## **1.2. Formulación de Problemas**

### **1.2.1. Problema general**

PG: ¿En qué medida influyen las mezclas asfálticas tibias en el comportamiento mecánico del pavimento flexible, Cusco-2024?

### **1.2.2. Problemas específicos**

Problema específico 01

PE1: ¿En qué medida influye la adición del aditivo de base vegetal en los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas convencionales y con polímero SBS en el pavimento flexible, Cusco-2024?

Problema específico 02

PE2: ¿En qué medida influye la adición del aditivo a base vegetal en mezclas asfálticas convencionales y con polímero SBS en el comportamiento al daño por humedad en el pavimento flexible Cusco-2024?

Problema específico 03

PE3: ¿Cómo incide la adición del aditivo de base vegetal en las mezclas asfáltica convencional y con polímero SBS para los ensayos de rueda de Hamburgo en el pavimento flexible Cusco-2024?

Problema específico 04

PE4: ¿Cómo incide la incorporación del aditivo de base vegetal en procesos de producción y compactación, en términos de costos operativos, consumo energético y emisiones de gases de efecto invernadero, en el pavimento flexible Cusco - 2024?

## **1.3. Justificación de la Investigación**

### **1.3.1. Justificación teórica**

En el ámbito de la ingeniería vial, la mezcla asfáltica en caliente (Hot Mix Asphalt - HMA) representa uno de los materiales más utilizados para la conformación de capas estructurales en pavimentos flexibles.

Esta investigación se enfoca en la aplicación de aditivo de base vegetal a mezclas convencionales tipo PEN 120/150, así como a mezclas modificadas con polímero SBS. El objetivo es reducir las temperaturas requeridas para su producción y compactación, lo cual conlleva beneficios significativos, tanto en términos de ahorro energético como en la disminución de emisiones contaminantes durante el proceso constructivo.

### 1.3.2. Justificación Ambiental

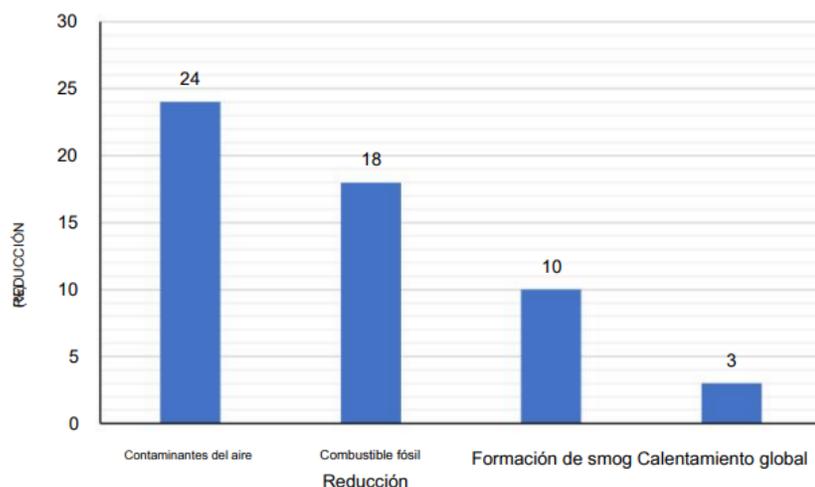
Uno de los principales aportes ambientales de esta investigación radica en el uso de mezclas asfálticas tibias, cuya fabricación y aplicación requieren temperaturas menores a las de una mezcla en caliente. Además, al disminuir la necesidad de calentamiento del asfalto, se logra un menor consumo de combustibles fósiles por parte de la maquinaria, lo que se traduce en un uso más eficiente de la energía y en una disminución de los olores y emisiones nocivas durante la ejecución de la obra.

El uso de mezclas asfálticas tibias reduce significativamente la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) como el CO<sub>2</sub>, gracias a temperaturas de producción y compactación entre 20 °C y 40 °C menores que las mezclas convencionales. Esta característica las convierte en una tecnología clave para mitigar el impacto ambiental de la infraestructura vial.”

Según (EAPA, 2024), “se puede estimar que el uso de WMA puede llevar a reducciones en el orden del 20% al 60% para CO<sub>2</sub> , hasta el 80% para SO<sub>2</sub> (aunque algunos autores reportan casi el 100%), entre el 20% y el 60% para compuestos orgánicos volátiles (VOC), entre el 10% y el 65% para monóxido de carbono (CO), hasta el 60%-70% para óxidos nitrosos (NOx) y alrededor del 20 al 55% para liberación de partículas”. (EAPA, 2024)

**Figura 01**

Reducción de Aspectos Ambientales



*Nota.* Fuente: (EAPA, 2024)

### **1.3.3. Justificación social**

En las regiones altoandinas del Perú, donde las condiciones geográficas y climáticas representan un reto constante para la construcción de carreteras, el uso de mezclas asfálticas tibias como capa de rodadura ofrece ventajas relevantes. Este tipo de tecnología facilita una colocación y compactación más eficiente, incluso en condiciones de altitud extrema. Como resultado, se reduce el costo energético en plantas de producción, se optimiza el consumo de recursos y se mejora la calidad de la infraestructura vial. En consecuencia, se fortalece la sostenibilidad de los proyectos y se promueve un mayor rendimiento técnico y económico de las obras en estas zonas.

Además, este enfoque conlleva a reducciones significativas en los costos de producción del asfalto y en el consumo de energía de las plantas de asfalto. En consecuencia, se logra una mayor eficiencia durante la ejecución de la obra, lo que se traduce en una mejora tanto en el rendimiento como en el costo total del proyecto. En última instancia, este método promete elevar los estándares de calidad de las capas de rodadura de los pavimentos flexibles en las regiones altoandinas.

## **1.4. Objetivos de Investigación**

### **1.4.1. Objetivo general**

OG: Evaluar el impacto del uso de un aditivo de origen vegetal en las propiedades volumétricas y en los resultados de desempeño de mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímero SBS, aplicadas en pavimento flexible en la ciudad del Cusco, durante el año 2024.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

#### **Objetivo específico 1**

OE1: Analizar los parámetros volumétricos de mezclas asfálticas convencionales y con polímero SBS agregando aditivo de base vegetal en el pavimento flexible, Cusco-2024.

#### **Objetivo específico 2**

OE2: Determinar la influencia del aditivo de base vegetal en el comportamiento frente al daño por humedad de mezclas asfálticas convencionales y con polímero SBS en el pavimento flexible, Cusco- 2024.

### **Objetivo específico 3**

OE3: Evaluar el efecto del aditivo de base vegetal en el desempeño de las mezclas asfálticas convencionales y con polímero SBS mediante el ensayo de rueda de Hamburgo en el pavimento flexible, Cusco – 2024.

### **Objetivo específico 4**

OE4: Analizar cómo influye la incorporación del aditivo de base vegetal en procesos de la producción y compactación, en términos generales de costos operativos, consumo energético y emisiones de gases de efecto invernadero, en el pavimento flexible Cusco – 2024.

## **1.5. Delimitación del Estudio**

### **Delimitación geográfica:**

La investigación se desarrollará en el distrito de Chinchero, se proyecta una vía alterna denominada PE-28 que se ejecutara conforme va avanzando la construcción de dicho aeropuerto, este distrito ubicado en la región Cusco, presenta condiciones climáticas altoandinas con temperaturas bajas, alta radiación solar y niveles variables de humedad relativa. Estas condiciones influyen significativamente en el comportamiento y desempeño de los materiales asfálticos.

Asimismo, el tramo de estudio presenta un nivel de tránsito proyectado de  $3.75 \times 10^5$  ESSAL, lo cual clasifica a la vía dentro del rango de tránsito medio-alto según la normativa EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Este parámetro fue fundamental para la selección del tipo de ligante asfáltico y el número de golpes de compactación aplicado en el método Marshall.

**Figura 02**

Altitud de la zona de estudio



*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

### **Delimitación temporal:**

El estudio se llevará a cabo durante el periodo comprendido entre los años 2024 y 2025, tiempo en el cual se realizaron los ensayos de laboratorio, el procesamiento de datos y el análisis técnico de resultados.

### **Unidad de análisis:**

Se considerarán tres tipos de mezclas asfálticas:

- Mezcla Asfáltica Convencional (MAC)
- Mezcla Asfáltica Tibia Modificada con Aditivo (MAT)
- Mezcla Asfáltica Tibia Modificada con Aditivo y Polímero SBS (MAT+SBS)

Estas serán evaluadas en función de sus propiedades volumétricas y su desempeño frente a condiciones operativas específicas de la región.

## **Capítulo II: Marco Teórico-Conceptual**

### **2.1. Antecedentes de la Investigación**

#### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

(Belc,AI;Coleri,E;Belc, 2021) en su investigación tuvieron como propósito analizar el desempeño de mezclas asfálticas tibias (WMA) determinando la tecnología adecuada aplicable al tráfico específico y las condiciones climáticas de Rumania, los resultados señalan que el aditivo utilizado no cambio las propiedades de la WMA realizando los ensayos sobre la susceptibilidad de la mezcla a altas temperaturas (DSR), además que la WMA adicionando aditivo como lubricante obtiene propiedades muy similares a los de la mezcla asfáltica en convencional o también denominada mezcla caliente (HMA), llegando a utilizarse en una temperatura con 40°C menor a la mezcla convencional, siendo 120°C la óptima según la prueba Marshall. Se concluye que, la WMA es la mejor opción para aplicarse al tráfico y a las condiciones climáticas de altura en Rumania.

Jingtao et al., (2020) en su investigación plasmó como objetivo principal analizar cómo un aditivo surfactante, diseñado para mezclas de asfalto a temperaturas moderadas, influye en el comportamiento habitual del asfalto no modificado, específicamente se analizaron los efectos de dicho aditivo sobre las propiedades de viscosidad, temperatura, energía superficial y capacidad de dispersión en superficies de agregados del material asfáltico. Obtuvo como resultado que el aditivo tiene poca influencia sobre las características de penetración, punto de reblandecimiento, ductilidad y viscosidad-temperatura del asfalto; lo cual da por sugerencia que el aditivo no interviene en la disminución de la viscosidad. Concluyendo que el aditivo incrementó la fuerza exterior del asfalto y el punto de vista de contacto asfalto-agua, entre tanto que el integrante polar de esta fuerza disminuyó. Además, ayudó a la productividad de dispersión del asfalto sobre superficies de áridos y redujo el ángulo de contacto asfalto-árido, siendo esta reducción mayor a temperaturas más bajas.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Andagua (2022) propuso la optimización de una mezcla asfáltica tibia modificada con 0.5% de aditivo surfactante, con el fin de mejorar el comportamiento mecánico en contextos de baja temperatura. Las mezclas fueron elaboradas y compactadas a 115°C, 125°C y 135°C, alcanzando una resistencia al daño por humedad del 81.30%. Esto demostró que el uso del aditivo mejora la durabilidad y resistencia sin necesidad de altas temperaturas.

En la investigación realizada por García & Inga (2020), el propósito principal fue determinar la modificación en los parámetros de estabilidad, fluencia y la relación estabilidad/fluencia al emplear técnicas de mezclas asfálticas tibias (WMA) en comparación con las mezclas asfálticas en convencionales o también llamadas calientes. Los resultados obtenidos reflejaron que, según las pruebas de estabilidad Marshall, las mezclas WMA presentaron un incremento del 30.31% en comparación con las mezclas calientes (HMA). Asimismo, se observó un aumento del 31.25% en la fluencia y un notable incremento del 57.21% en la relación estabilidad/fluencia (valores máximos alcanzados con el uso de aditivos). Se concluyó que, en promedio, el desempeño mecánico de las WMA superó en más del 15% a las mezclas HMA convencionales.

### **2.1.3. Antecedentes locales**

En Cusco, Estrada (2017) comparó el comportamiento de una mezcla asfáltica convencional (PEN 85/100 Plus) y una modificada con polímero tipo SBS (PG 70-28). Concluyó que la mezcla modificada presentaba mejor comportamiento mecánico y mayor cohesión, aunque también mostró menor resistencia frente a deformaciones permanentes. Ambos tipos requerían cantidades similares de ligante, pero la mezcla con SBS destacó por su mayor estabilidad estructural.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Generalidades del pavimento**

#### **2.2.1.1. Pavimento generalidades**

El pavimento es una estructura horizontal que está conformada por una o distintas capas de diferentes materiales preparados para poder soportar ciertas sollicitaciones que se darán según ciertas características ya sea ambientales, capacidades de transitabilidad, etc.

Entre las funciones indispensables del pavimento es de resistir, transmitir al terreno las intensidades de carga, originados por los distintivos vehículos que circulan las vías. Es una superficie lisa, debe ser en su mayoría durable y económico.

#### **2.2.1.2. Estructura del pavimento**

El pavimento flexible consiste en una capa de asfalto que se apoya principalmente sobre tres capas no rígidas: la base, la subbase y la subrasante. Sin embargo, estas capas no siempre son indispensables y su uso depende de las especificaciones del

proyecto y de las características del suelo de fundación sobre el cual se construye.

### **Carpeta Asfáltica**

Es la capa más externa-superior de la estructura del pavimento que se coloca sobre la estructura de la base, es la capa que en forma directa absorbe la carga emitida por los automóviles, esta capa tiene la función de impermeabilizar la superficie, evitando el desgaste de la capa superior, esta capa está sometido a condiciones climáticas extremas ya sea, temperatura, radiación UV, lluvias extremas.

#### **-Base**

Es una capa ubicada bajo la superficie bituminosa teniendo como función principal la de distribuir las cargas del tráfico hacia las siguientes capas estructurales que es la subbase y la subrasante, siendo esta la capa más resistente después de la superficie de rodadura, donde existen dos tipos de bases.

#### **-Base Granular**

Corresponde a una de las capas fundamentales dentro de la estructura del pavimento, localizada entre la subbase y la superficie de rodadura. Su conformación incluye piedra triturada que cumple con normas de calidad específicas, además de grava, arena, materiales finos y componentes de relleno debidamente seleccionados. Su estabilidad dependerá de la gradación de las partículas utilizadas en el diseño, densidad relativa, fricción interna y cohesión, según la norma que corresponda, todas estas propiedades están influenciadas por la relación entre la cantidad y calidad de finos y el agregado grueso.

#### **-Base Estabilizada**

Es una capa estructural compuesta por una mezcla de piedra triturada, suelo con contenido gravoso y materiales de relleno, los cuales se combinan con agentes estabilizantes como el cemento, el asfalto o emulsiones asfálticas, entre otros. Esta combinación se prepara con el propósito de optimizar las propiedades mecánicas del material, especialmente en términos de resistencia y estabilidad, permitiendo así una base capaz de soportar adecuadamente las cargas inducidas por el tránsito vehicular..

#### **-Sub-Base**

Es la capa intermedia que se pondrá entre la base y la subrasante ofreciendo un soporte adicional a la estructura del pavimento distribuyendo la carga ala siguiente capa

estructural que es la subrasante, con respecto a la calidad de los materiales indican que puede tener materiales de menor calidad que la base ya que la primera fuerza emitida es para las primeras capas como son la carpeta asfáltica o también llamada capa de rodadura, disminuyendo esta fuerza a medida que va profundizándose

### **-Sub-Rasante**

Es la capa inferior sobre la cual se apoya todo el sistema de pavimento. Suele estar compuesta por suelos naturales que, dependiendo de sus características, pueden requerir procesos de estabilización para garantizar una base sólida.

### **2.2.2. Mezclas asfálticas**

La capa asfáltica de rodadura constituye un material monolítico que se consolida una vez que la mezcla disminuye su temperatura hasta alcanzar el ambiente. La compactación con rodillos asfálticos es una mezcla de piedras: piedra triturada, arena natural y/o artificial, polvo mineral y ligante bituminoso, calculada racionalmente (diseño MAC) para asegurar la densidad requerida del hormigón asfáltico, mezclada a una temperatura que garantice que el ligante asfáltico cubra la superficie de la piedra de manera más completa y uniforme. (Lugo, 2006)

#### **2.2.2.1 Clasificación de las mezclas asfálticas**

La principal clasificación para mezclas asfálticas se da principalmente por varios parámetros pudiendo según: (Padilla, 2004)

a) Según las fracciones del agregado pétreo utilizado:

Masilla asfáltica: Compuesta por una mezcla de ligante asfáltico y polvo mineral.

Mortero asfáltico: Resulta de la combinación de agregado fino con masilla.

Concreto asfáltico: Formado por la unión de mortero y agregado grueso.

Macadam asfáltico: Se obtiene al mezclar directamente agregado grueso con el ligante asfáltico.

b) Según la temperatura de aplicación en obra:

Mezclas en caliente: Se producen, transportan y colocan a altas temperaturas.

Mezclas en frío: Pueden ser elaboradas y aplicadas a temperatura ambiente.

Mezclas tibias: Se manipulan a temperaturas intermedias, menores que las calientes pero superiores a las frías.

c) Según el contenido de vacíos en la mezcla:

Mezclas cerradas o densas: Tienen un porcentaje de vacíos inferior al 6 %.

Mezclas semi-cerradas o semi-densas: Presentan vacíos en el rango del 6 % al 10 %.

Mezclas abiertas: Su contenido de vacíos excede el 12 %.

Mezclas porosas o drenantes: Alcanzan porcentajes de vacíos superiores al 20 %, favoreciendo la evacuación de agua.

d) Según el tamaño máximo del agregado:

Mezclas gruesas: Utilizan agregados cuyo tamaño máximo es superior a 10 mm.

Mezclas finas: Emplean agregados con tamaño máximo menor a 10 mm.

e) Según la estructura del agregado:

Con esqueleto mineral: El agregado forma una estructura portante dentro de la mezcla.

Sin esqueleto mineral: La mezcla carece de una estructura interna definida por el agregado.

f) Según su distribución granulométrica:

Mezclas continuas: Presentan una curva granulométrica uniforme, con presencia de todos los tamaños de partículas.

Mezclas discontinuas: Tienen vacíos en ciertas fracciones granulométricas, lo que genera una curva no uniforme.

En nuestro medio la mayoría de las vías tiene una constitución de mezcla asfáltica calientes convencionales como también mezclas asfálticas modificadas ya sea por los distintos pisos altitudinales, en el caso de la investigación que se tiene se usara el PEN 120/150 y el cemento asfáltico con polímero SBS que se usara en zonas mayor a 3000 msnm según la norma EG-2013.

#### **2.2.2.1. Mezcla asfáltica en caliente**

Las mezclas HMA llamadas por sus siglas en inglés (HMA) que en nuestro medio las llamaremos como mezclas convencionales, también conocidas como convencionales, se fabrican con agregados (93–97%) y cemento asfáltico (3–7%). Su elaboración exige temperaturas elevadas, lo cual garantiza que el ligante cubra adecuadamente los agregados y facilite la compactación.

### **Tipos de mezclas asfálticas en Caliente.**

Las mezclas asfálticas en caliente (HMA) se clasifican en tres tipos según su granulometría:

Gradación densa: Incluye mezclas convencionales de tipo continuo, de piedra de gran tamaño y mezclas arena-asfalto.

Gradación abierta (open-graded): Abarca mezclas como el OGFC y bases permeables tratadas con asfalto, que permiten un buen drenaje.

Gradación discontinua (gap-graded): Comprende mezclas como el concreto asfáltico discontinuo y el asfalto mástico de piedra (SMA), utilizadas por su resistencia y durabilidad.

Si las mezclas se clasificasen según la cantidad de vacíos atrapada en la mezcla luego de la compactación se clasificarían de la siguiente manera (Minaya & Ordoñez, 2006)

- Mezclas Densas Vacíos de aire,  $V_a < 6\%$

Mezclas convencionales

Mezclas Superpave

Mezclas SMA

- Mezclas semi-cerradas  $6\% < V_a < 12\%$
- Mezclas abiertas  $V_a > 12\%$
- Mezclas porosas  $V_a > 20\%$  (Minaya & Ordoñez, 2006)

### **Componentes de mezcla Asfálticas en Caliente**

#### **Asfalto**

Según Kaloush et al. (2002) y la norma ASTM, el cemento asfáltico es un material cementante de color oscuro cuya rigidez varía con la temperatura. A temperatura ambiente puede presentarse en estado sólido o semisólido. En la industria vial, se utiliza en estado sólido a unos  $135\text{ }^\circ\text{C}$  según su carta de viscosidad. Además, actúa como impermeabilizante y resiste ataques de ácidos, álcalis y sales, lo que lo hace ideal para pavimentos duraderos y resistentes a daños químicos.

**Tabla 01**

Recomendación de cemento asfáltico según condiciones climáticas

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

*Nota.* Recuperado de “Manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” de EG- (2013). La elección del cemento asfáltico en nuestro caso de investigación se dio desde -1°C hasta 15°C en promedio.

**Tabla 02**

Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración

Tipo		Grado Penetración									
Grado	Ensayo	PEN 40-50		PEN 60-70		PEN 85-100		PEN 120-150		PEN 200-300	
		min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx
<b>Pruebas sobre el Material Bituminoso</b>											
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de Inflamación, °C	MTC E 312	232		232		232		218		177	
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100		100		100		100		100	
Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302	99,0		99,0		99,0		99,0		99,0	
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica) <sup>(1)</sup>	MTC E 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
<b>Ensayo de la Mancha (Ollensies) <sup>(2)</sup></b>											
Solvente Nafta – Estándar	AASHTO M 20	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Nafta – Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Heptano – Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
<b>Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3,2 mm, 5 h</b>											
Pérdida de masa, %	ASTM D 1754		0,8		0,8		1,0		1,3		1,5
Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304	55+		52+		47+		42+		37+	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm <sup>(3)</sup>	MTC E 306			50		75		100		100	

*Nota.* Recuperado de “Manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” de EG- (2013)

**Tabla 03**

Especificaciones del cemento asfáltico clasificado grado por viscosidad

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

*Nota.* Recuperado de “Manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” de EG- (2013)

**Tabla 04**

Rangos de temperatura de aplicación

Tipo y Grado del Asfalto	Temperaturas de Esparcido <sup>(2)</sup>		Temperaturas de Mezclado en Planta <sup>(1)</sup>	
	Mezclas in situ	Tratamientos superficiales	Mezclas Densas	Mezclas Abiertas
<b>Asfaltos Diluidos</b>				
MC-30	-,-	30	-,-	-,-
RC-70 o MC-70	20	50	-,-	-,-
RC-250 o MC-250	40	75	55-80	-,-
RC-800 o NC-800	55	95	75-100	-,-
<b>Emulsiones Asfálticas</b>				
CRS-1	-,-	50-85	-,-	-,-
CRS-2	-,-	50-85	-,-	-,-
CMS-2	20-70	-,-	10-70	-,-
CMS-2h, CSS-1, CSS-1h	20-70	-,-	10-70	-,-
<b>Cemento Asfáltico</b>				
Todos los grados	140 máx (4)		140 máx (4)	

*Nota.* Recuperado de “Manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” de EG- (2013)

- (1) La temperatura indicada corresponde a la condición térmica de la mezcla inmediatamente después de su fabricación.
- (2) La temperatura máxima de uso no debe superar el límite en el que se generan vapores o espuma, lo cual comprometería la seguridad y calidad del proceso.
- (3) En determinadas situaciones, la temperatura de aplicación puede superar el punto de inflamación del ligante, por lo que es fundamental aplicar medidas de prevención frente a riesgos de incendio o explosión.
- (4) Es posible ajustar la temperatura de aplicación utilizando como referencia la curva de viscosidad-temperatura establecida en el (Manual de Carreteras MTC, 2013)

### **Agregados**

Los agregados pétreos empleados deberían ajustarse a los requerimientos que se tengan. (Manual de Carreteras MTC, 2013)

**Tabla 05**

Propiedades Requeridas en Agregados Gruesos según Normativa Técnica

Ensayos	Norma	Requerimientos	
		Altitud(msnm)	
		≤ 3000	> 3000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% max	15 % max
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% max	35% max
Adherencia	MTC E 517	95	95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% min	35% min
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% max	10% max
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% max	0.5 % max
Absorción *	MTC E 206	1.0 max	1.0% max

*Nota.* Recuperado de “Manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” de EG- (2013)

**Tabla 06**

Propiedades Requeridas en Agregados Finos según Normativa Técnica

Ensayos	Norma	Requerimientos	
		Altitud(msnm)	
		≤3000	> 3000
Equivalente de arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	ASTHO TP 57	8 max	8 max
Indice de Plasticidad (malla N.° 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18 % max
Indice de Durabilidad	MTC E 214	35 min	35 min
Indice de Plasticidad (malla N.° 200)	MTC E 111	4 max	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% max	0.5 % max
Absorción	MTC E 205	0.5% max	0.5 % max

*Nota.* Recuperado de “Manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” de EG- (2013)

### Gradación

Este requerimiento es una de los más importantes en cuanto se refiere a los agregados, este es uno de los factores más importantes en cuanto se refiere a mezclas asfálticas en general, siendo una de las primeras consideraciones, se dice que es mejor tener una gradación densa o bien gradada. (Minaya & Ordoñez, 2006)

Presentan una gradación determinada por la norma EG-2013 en donde nos muestra las siguientes

#### A) Gradación de mezclas asfáltica en Caliente

**Tabla 07**

Husos granulométricos según la EG-2013 para MAC

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC-1	MAC-2	MAC-3
25,0 mm (1")	100		
19,0 mm (3/4")	80-100	100	
12,5 mm (1/2")	67-85	80-100	
9,5 mm (3/8")	60-77	70-88	100

4,75 mm (N.º 4)	43-54	51-68	65-87
2,00 mm (N.º 10)	29-45	38-52	43-61
425 µm (N.º 40)	14-25	17-28	16-29
425 µm (N.º 40)	8-17	8-17	9-19
75 µm (N.º 200)	4-8	4-8	5-10

Nota. Recuperado de “Manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” de EG- (2013)

### B) Gradación especificada ASTM D3515(Opcional)

Es la gradación alternativa que nos proporciona el Instituto del Asfalto y esta gradación es la que se usara en esta presente investigación.

#### Tabla 08

Especificación de Gradación densa ASTM D 3515

Tamaño del tamiz	Mezcla Densa								
	Tamaño Máximo Nominal de Agregados								
	2 "	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8 "	Nº 4	Nº 8	Nº 16
Gradación de agregados (Grava; Fino y Filler si se requiere Porcentaje en Peso)									
2 1/2 "(63 mm)	100	-	-	-	-	-	-	-	-
2 "(50 mm)	90-100	100	-	-	-	-	-	-	-
1 1/2"(37.5 mm)	-	90-100	100	-	-	-	-	-	-
1"(25.0 mm)	60-80	-	90-100	100	-	-	-	-	-
3/4"(19.0 mm)	-	56-80	-	90-100	100	-	-	-	-
1/2"(12.50 mm)	35-65	-	56-80	-	90-100	100	-	-	-
3/8 "(9.5 mm)	-	-	-	56-80	-	90-100	100	-	-
Nº 4 (4.75 mm)	17-47	23-53	29-59	35-65	44-74	55-85	80-100	-	100
Nº 8 (2.36 mm)	10-36	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67	65-100	-	95-100
Nº 16 (1.18 mm)	-	-	-	-	-	-	40-80	-	85-100
Nº 30 (600 µm)	-	-	-	-	-	-	25-65	-	70-95
Nº 50 (300 µm)	3-15	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23	7-40	-	45-75
Nº 100 (150 µm)	-	-	-	-	-	-	3-20	-	20-40
Nº 200 (75 µm)	0-5	0-6	1-7	2-8	2-10	2-10	2-10	-	9-20

Nota. Fuente. Hot Mix Asphalt Material, Mixture Design and Construction. NAPA 1996

Se cumplen ciertos requisitos de calidad de sus componentes usados como son el agregado grueso y fino siendo libres de cúmulos de arcilla y aceptando como porcentaje máximo de partículas deleznable el 1 %, materia orgánica, materiales deletéreos y otros normados por ensayos de la MTC E 212. (Manual de Carreteras MTC, 2013)

### **C) Consideraciones del Diseño de mezclas Asfálticas**

Las mezclas asfálticas convencionales o también llamadas calientes, trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas de acuerdo a características específicas de temperatura que están plasmadas en sus cartas de viscosidad.

Mientras menor sea la cantidad de tipos de agregados a emplear en la mezcla, más sencillo resultará mantener su control durante el proceso de producción en planta. Para ello, se dispone de un método teórico basado en aproximaciones sucesivas.

#### **Filler**

El filler o rellenos son de origen vegetal que rellenan espacios vacíos, este material mejora la adherencia, en su composición su fórmula es la de hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), un polvo blanco fino que se añade como material de relleno (filler) en mezclas asfálticas, generalmente en proporciones de 1 % a 2 % del peso de la mezcla o del ligante pero en el caso de nuestra investigación se dio en una proporción de 3% para alcanzar a una granulometría adecuada y alcanzar los requerimientos de los parámetros de Marshall

#### **Aporte de la cal hidratada a la mezcla asfáltica**

##### **1. Mejora la adhesión árido-asfalto**

- Neutraliza los compuestos ácidos del asfalto.
- Aumenta la afinidad química entre el ligante y los agregados.
- Reduce el stripping (daño por humedad o desprendimiento del asfalto).

##### **2. Aumenta la resistencia a la humedad**

- Es uno de los mejores aditivos anti-desprendimiento.
- Mejora la resistencia conservada en el ensayo Lottman (AASHTO T-283).
- Ideal para zonas de alta precipitación o con presencia de aguas subterráneas.

##### **3. Mejora el comportamiento mecánico**

- Aumenta la estabilidad Marshall y la rigidez estructural.
- Actúa como un micro-refuerzo al ocupar espacios entre partículas finas.

#### 4. Reduce el envejecimiento del asfalto

- La cal actúa como antioxidante del ligante.
- Ayuda a conservar sus propiedades viscoelásticas por más tiempo.

#### 5. Es económica y abundante

- Es un material disponible a nivel nacional y de bajo costo.
- Su aplicación no requiere tecnologías complejas.

Normas en donde podemos encontrar relación con el Cal hidratada (Filler) y las mezclas asfálticas.

#### **AASHTO-M303**

**Título:** Standard Specification for Lime for Asphalt Mixtures.

Esta norma cumple dos tipos de cal que se usa para reducir la susceptibilidad al agua en mezclas asfálticas

#### **ASTM D242**

**Título:** *Standard Specification for Mineral Filler for Bituminous Paving Mixtures*

Esta norma especifica que el filler mineral puede ser piedra caliza pulverizada, cemento portland, cal hidratada, ceniza volante u otros materiales aprobados. Debe pasar el tamiz N.º 30 y cumplir con criterios químicos y físicos (como contenido de carbonato de calcio, pH, etc.)

#### **AASHTO M17**

**Título:** *Standard Specification for Mineral Filler Used in Hot-Mix Asphalt (HMA)*

AASHTO también permite el uso de cal hidratada como filler.

Establece que los fillers deben ser secos, finamente divididos y no tener materiales nocivos para el asfalto en donde debería ser pasante ala malla N°30 y malla N°200, es plasticos, y tiene una interesante interacción con ligante

#### **Normas técnicas peruanas (MTC – EG-2013)**

Aunque la norma EG-2013 del Ministerio de Transportes del Perú no especifica detalladamente la cal hidratada, sí permite el uso de fillers minerales aprobados por el supervisor o entidad, siempre que:

- Pasen el tamiz N.º 200
- Sean químicamente estables
- No interfieran con el ligante

### **2.2.2.2. Mezclas asfálticas modificadas**

Como material viscoelástico, el asfalto tiene una gran importancia en la determinación de muchos aspectos del comportamiento de la carretera. Por ejemplo, una mezcla bituminosa necesita ser lo suficientemente flexible a temperaturas bajas de servicio, para prevenir los agrietamientos térmicos, y lo suficientemente resistente para soportar las deformaciones permanentes. (Minaya & Ordoñez, 2006)

#### **2.2.2.2.1 Mezcla Asfáltica Modificada Con Polímero**

Es un material bituminoso aglomerante, de consistencia sólida al que se le agrega un polímero para mejorar algunas propiedades viscoelásticas. (Manual de Carreteras MTC, 2013). Se le llama también como material bituminoso al cemento asfáltico modificado con polímero especificando cada tipo de proyecto, el polímero son sustancias de alto peso molecular formadas por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas.

En el mundo se utiliza el polímero o aditivo para poder modificar algunas propiedades de las mezclas asfálticas modificando de forma húmeda o seca.

El primero se da por vía húmeda se adiciona algún polímero o aditivo a temperaturas altas como podrían ser entre 170 a 200 °C, y la segunda el aditivo se adiciona al cemento asfáltico ya sea cualquier tipo que requiera el proyecto.

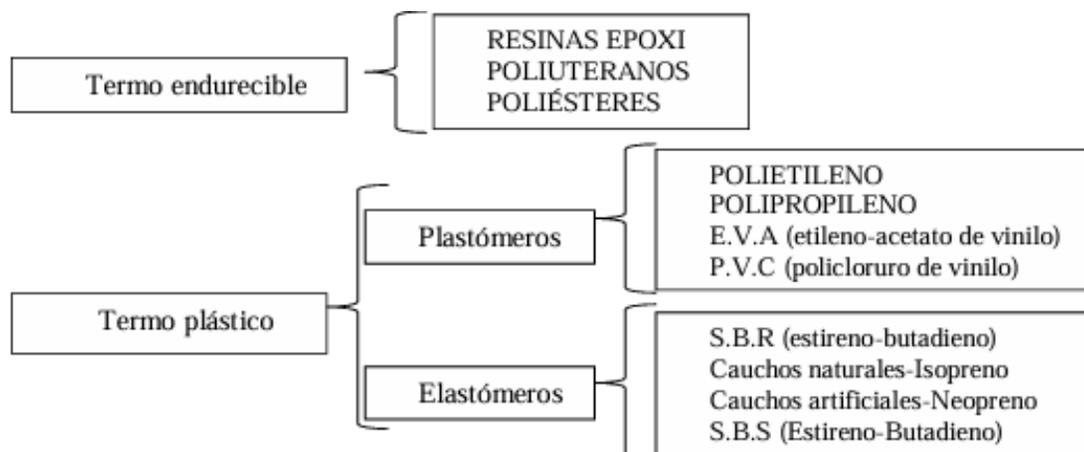
Los objetivos que se persiguen cuando se modifican asfaltos es mejorar algunas propiedades como podrían ser, resistencia a la fisuración, mayor resistencia a la deformación permanente (ahuellamiento), mayor adherencia y cohesividad a los agregados pétreos, mayor resistencia al envejecimiento, fatiga y daños por humedad

#### **Clasificación de polímeros**

Los polímeros se clasifican en dos grandes grupos que son llamados termo endurecibles y termoplásticos, el primero se usan básicamente para poder modificar asfaltos que a muy altas temperaturas se disgregan y disminuyen sus propiedades el segundo grupo mencionado al contrario del primero son usados para poder modificar propiedades reológicas del asfalto y se pueden usar a altas temperaturas sin degenerar sus propiedades del asfalto. (Rondon; Reyes, 2015)

**Figura 03**

Clasificación de polímeros



Nota. Fuente. Montejo 2002

**POLÍMERO TIPO I**

El polímero tipo I mejora el comportamiento de las mezclas asfálticas en distintos rangos de temperatura, gracias a su composición basada en bloques de estireno como SBS ( Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas, 2006).

**Tabla 09**

Especificaciones del cemento asfáltico modificado con polímeros Tipo I

Características		TIPO I (*)							
		I-A		I-B		I-C		I-D	
		min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.
<b>Pruebas sobre el producto original</b>									
Penetración, 25°C. 100g. 5s, dmm	MTC E-304	100	150	75	100	50	75	40	75
Viscosidad absoluta 60°C, poise	MTC E-308	1.250		2.500		5.000		5.000	
Viscosidad. 135°C, cSt	MTCE-310		3.000		3.000		3.000		3.000
Punto de inflamación. COC. °C	MTC E 303	232		232		232		232	
Solubilidad en tricloroetileno; % (**)	MTC E 302	99		99		99		99	
Separación, diferencia entre punto de ablandamiento (anillo y bola) de porción superior e inferior; °C	MTC E 307 MTC E 319		2,2		2,2		2,2		2,2
Recuperación elástica, 25°C; %	ASTM D 6084	60		60		60		60	
Recuperación elástica. 5°C; %	ASTM D 6084	50				--		--	
Punto de Ablandamiento (anillo y bola). %	MTC E 307	45		50		60		60	
<b>Pruebas en el residuo de película fina y rotatoria (1)</b>									
Recuperación elástica 25°C, 10 cm do elongación; %	ASTM D 6084	60		60		60		60	
Penetración. 4°C. 200g. 60s; dmm	MTC E-304	20		15		13		10	
Separación, diferencia entre punto de ablandamiento (anillo y bola) de porción superior e inferior; °C	MTC E 307	≤10		≤10		≤10		≤10	

Nota. Fuente: (Manual de Carreteras MTC, 2013)

## POLÍMERO TIPO II

El polímero tipo II actúa como un modificador de asfaltos que optimiza el rendimiento de las mezclas asfálticas en climas fríos. Su formulación se basa en polímeros elastoméricos lineales, entre los que destacan configuraciones como el caucho de estireno, butadieno-látex y neopreno-látex. Este tipo de polímero es fundamental para la fabricación de emulsiones empleadas en tratamientos superficiales ( Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas, 2006).

**Tabla 10**

Especificaciones del cemento asfáltico modificado con polímeros Tipo II

Características		TIPO II (*)							
		II-A		II-B		II-C		II-D	
		min	max	min	máx	min	máx	min	max
<b>Pruebas sobre el producto original</b>									
Penetración, 25°C. 100g. 5s;dmm	MTC E-304	100		70		85		80	
Viscosidad, 60°C. 1 s-\ poise	MTC E-308	800		1.600		800		1.600	
Viscosidad. 135°C, C; cSt	MTCE-310	300		300		300		300	
Ductilidad. 4°C. 5cm/min; cm	MTCE-306	50		50		25		25	
Punto de inflamación. COC, °C	MTC E 303	232		232		232		232	
Recuperación elástica, 25°C; %	ASTM D 6084	50		50		50		50	
Separación, diferencia entre punto de ablandamiento (anillo y bola) de porción superior e inferior; °C	MTC E. 307 MTC E 319		3		3		3		3
Punto de Ablandamiento (anillo y bola):%	MTC E307	45		50		50		50	
Pruebas en el residuo de película fina y rotatoria (1)									
Ductilidad. 4°C. 5cm/min; cm	MTC E 306	25		25		10		10	
Viscosidad, 60°C. 1 s-\ poise	MTC E-308		4.000		8.000		4.000		8.000

Nota. Fuente: (Manual de Carreteras MTC, 2013)

## POLIMERO TIPO III

El polímero tipo III es un aditivo plastomérico que se utiliza para modificar asfaltos, mejorando significativamente la resistencia de las mezclas al ahuellamiento y reduciendo la susceptibilidad del ligante asfáltico frente a variaciones de temperatura, especialmente en climas cálidos. Este tipo de polímero se produce a partir de compuestos como etilvinil-acetato (EVA) o polietileno, tanto de alta como de baja densidad. Es empleado principalmente en mezclas para carpetas estructurales en pavimentos de alto tránsito,

así como en emulsiones destinadas a tratamientos superficiales ( Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas, 2006).

El cemento asfáltico modificado con polímeros debe ser homogenizado exclusivamente mediante agitación manual al momento de la preparación de las muestras destinadas a la realización de los distintos ensayos. El cemento asfáltico modificado no deberá calentarse a una temperatura superior a lo indicado por el proveedor, a fin de evitar posible daño al elastómero ó plastómero adicionado. (Manual de Carreteras MTC, 2013)

#### **2.2.2.2. Mezcla Asfáltica Modificada Con Polímero (Betutec IB)**

También llamado Estireno-Butadieno-Estireno, es de la clasificación antes mencionada llamada como termoplástico-elastómero que es creado mediante la polimerización de estireno y butadieno. Este producto fue desarrollado en Estados Unidos en la década de los 60 C° en adhesivos y suelos después de un tiempo ya se agrega al asfalto.

Sus componentes actúan de manera interna entre moléculas teniendo alteraciones en el sistema coloidal en el asfalto cambiando las propiedades del asfalto, estos cambios dependen de algunos factores:

- a) Características químicas y estructurales del polímero incorporado, tales como su peso molecular, composición, polaridad y temperatura de transición vítrea.
- b) Naturaleza coloidal y composición química del cemento asfáltico base.
- c) Relación proporcional entre el polímero y el asfalto dentro de la mezcla.
- d) Condiciones del proceso de incorporación, incluyendo el método de fabricación, temperatura de mezclado y duración del proceso (Montaje 2002).

#### **2.2.2.3. Mezclas asfálticas tibias**

Por los últimos 20 años se ha visto la manera más óptima para reducir el consumo energético y las emisiones de gases asociados y buscando formas para obtener estos resultados. Al efecto de para producir el mismo efecto en el betún, pero a temperaturas más bajas se le denomina (WMA) Warm-Mix Asphalt que traducido en el idioma son denominadas, Mezclas asfálticas tibias que son mezclas asfálticas fabricadas a temperaturas más bajas (es decir, 20-50 °C) con respecto a las mezclas asfálticas en caliente o también llamadas las mezclas convencionales. (Alvarez; Carbajal; Reyes, 2012)

Por lo tanto, en comparación con el HMA; el WMA ofrece varias ventajas en esta rama de la ingeniería como pueden ser ventajas económicas y medioambientales. Este trabajo se centra en analizar el comportamiento de estas mezclas tibias de la estructura

Esta es una tecnología que se aplica principalmente en el viejo continente europeo (EAPA)

Alemania se hace uso de los aditivos orgánicos (Ceras) y también técnicas de espumación y también se centró sus esfuerzos en otras tecnologías verdes, como la reutilización y el reciclaje del asfalto recuperado siendo este uno de los principales países líderes en tecnologías verdes.

Francia se desarrollaron mediante estudios de laboratorio o (incluyendo ensayos giratorios para la trabajabilidad y la estimación de la compactación en campo, ensayos de rodadura para la resistencia a la formación de roderas, el ensayo de Duriez para la resistencia a la humedad y ensayos de fatiga, esta información esta actualizada hasta el año 2022.

Noruega, aunque se desarrolló de igual forma que en Francia y Alemania la administración de noruega empezó a a hacer tramos de prueba tras la producción a 30 °C. La Administración Noruega de Carreteras Públicas también se fijó el objetivo de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> del asfalto en un 70 % para 2030. (EAPA, 2024)

. Por ejemplo, en 2021, se llevaron a cabo cuatro contratos piloto en los que la combinación de la vida útil del asfalto, las emisiones de CO<sub>2</sub> y el precio determinó qué contratista resultó ganador. En un contrato en Østfold, lograron un aumento de 3,6 años en la vida útil del asfalto, a la vez que redujeron las emisiones de CO<sub>2</sub> a 36,7 kg por tonelada de asfalto. En un contrato en Trøndelag, el aumento de 1,4 años en la vida útil fue de 44,6 kg. Los resultados también fueron positivos en los contratos piloto en Nord-Troms y Buskerud/Asker. (EAPA, 2024)

Turquía, hasta la fecha no se tiene con experiencias en carreteras, las juntas de transporte de algunas universidades están realizando estudios de investigación sobre aditivos y asfalto espumado

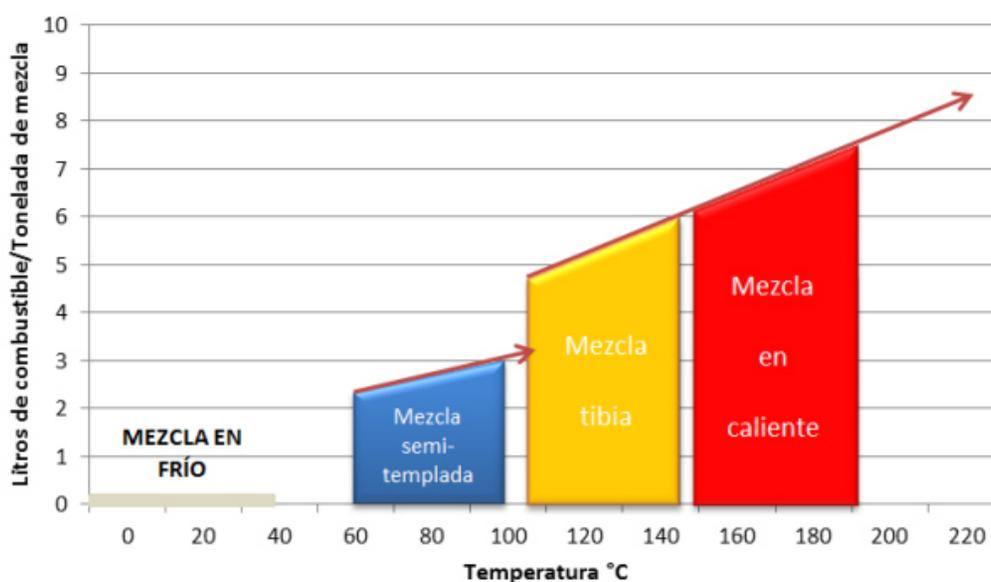
Suiza, igual forma no se adoptó esta tecnología, pero si se está dando uso de nuevas tecnologías como son el pavimentos silenciosos y pavimentos asfálticos con un alto porcentaje de asfalto reciclado, que alcanza hasta el 50 % (EAPA, 2024)

### Producción actual de WMA

Como se puede observar, en los países mencionados, la producción de WMA ha ido en aumento en los últimos años, alcanzando un valor de 8,3 Mt en 2020. Además, el porcentaje de la producción total dedicada a WMA también aumenta de forma muy similar, lo que significa que dicho incremento no se debe a un aumento general de la producción total, sino a la sustitución de otros tipos de mezclas asfálticas por WMA. El porcentaje promedio en los países mencionados fue del 7,9 % en 2020. (EAPA, 2024)

**Figura 04**

Consumo de Energía Según el tipo de Mezclas Asfálticas Producidas



*Nota.* Fuente: (EAPA, 2024)

Las rigurosas normativas medioambientales de los últimos años, así como las elevadas emisiones de CO<sub>2</sub> por las distintas actividades humanas, nos obligan a buscar nuevas tecnologías e investigaciones que busquen reducir en algún porcentaje algunas emisiones de distintos gases de efecto invernadero (GEI) aplicadas en la industria de la construcción.

### Técnicas de producción de mezclas tibias.

Procesos de Espumación Indirecta

Una de las formas de producción de este tipo de asfalto es el espumado, teniendo al asfalto expandido mediante un proceso de carácter físico intercambiar calor es decir inyectar las pequeñas cantidades de agua en el asfalto caliente o también añadir a los agregados en el tambor de premezclado.

Cuando el agua entra en contacto con el asfalto a alta temperatura, se evapora rápidamente debido al calor, generando vapor que queda confinado dentro de la estructura del ligante asfáltico. De este modo se genera un volumen considerable de vapor que se encarga de incrementar de manera temporal el volumen del asfalto y disminuye la viscosidad del mismo. (Salazar, 2019)

Se debe adicionar en medida suficiente una cantidad de agua asegurando el proceso de espumación, teniendo en cuenta los problemas de cohesión si se agrega más agua de lo necesaria.

#### Aditivos Orgánicos.

Estos aditivos por lo general son ceras o amidas grasas reduciendo la viscosidad del ligante que se encuentran a altas temperaturas, Se pueden utilizar diferentes aditivos orgánicos para reducir la viscosidad del ligante (betún) a temperaturas superiores a unos 90 °C. El tipo de aditivo debe seleccionarse cuidadosamente para que su punto de fusión sea superior a las temperaturas de servicio previstas (de lo contrario, podría producirse una deformación permanente) y para minimizar la fragilización del asfalto a bajas temperaturas. (EAPA, 2024)

Por lo general este aditivo se adiciona en estado sólido adicionando directamente a las plantas tipo Bach, también a través de sistemas de tuberías en plantas continuas, y finalmente realizar un premezclado en el reservorio del ligante asfáltico.

Este aditivo orgánico forma cadenas hidrocarbonadas que cambian algunas propiedades del ligante asfáltico a temperaturas de 80 a 130 C°, el porcentaje de uso de estos materiales se da entre 2 a 4 % del total de la masa del cemento asfáltico a usar, observando una reducción de temperatura aproximadamente de 20 a 28 C°, mejorando en varias propiedades de resistencia a deformaciones que se producen en el asfalto.

Tienen características de ser un polvo blanco o marrón siendo de apariencia granulada, con puntos de inflamación que van en un rango desde 100 a 140 C°, y puntos

de viscosidad dinámica que van desde 130 a 150 C°, las ceras que se usaran son las Ficher-Tropsch, Amidas Acidas Grasas, y Ceras Montanas.

Aditivos Químicos.

En este proceso no depende de ninguno de los procesos anteriormente mencionados, estos productos combinan emulsificantes surfactantes, polímeros ya antes mencionados que mejoran muchas propiedades del asfalto. La cantidad usada de asfalto es de acuerdo con la cantidad de ligante que se a usado en cada ensayo, existe una reducción de temperatura en estos productos que oscilan entre 14 a 28 C°. Estos productos son de mayor efectividad en el desarrollo de mezclas tibias que se tienen. Existe distintos productos en el mercado que pueden ser:

Evotherm(MeadWestvaco, EEUU)

Cecabase RT (CECA, Francia)

Rediset WMX (AkzoNobel, Holanda)

Iterlow T (Iterchimica SRL, Italia)

En la lista anterior se observa aditivos químicos usados según su lugar de procedencia como vemos la mayoría de los aditivos son usados en el continente europeo.

Evotherm(MeadWestvaco, EEUU)

Permite la producción de las mezclas asfálticas en tibio a temperaturas menores hasta en un 50 C° menos que la mezcla convencional también usado en asfaltos reciclados, este aditivo químico indica que su contenido es entre 4 a 5.5% de la masa general de la mezcla teniendo una mezcla entre 115 a 130 C° una compactación entre 125 a 110 C°.

Ventajas

-No requiere un trato especial si se agregara en alguna planta para poder agregarlo, se mide en condiciones que podemos encontrar con facilidad

-Tienen las mismas características que la mezcla asfáltica en caliente, usando menos energía que el convencional. (Flores & Rojas, 2019)

Cecabase RT (CECA, Francia)

Este producto se basa la materia prima renovable en proporción de al menos un 50% se tiene una reducción de temperatura de 50 C° sin cambios reológicos en el comportamiento del pavimento.

Comparando con las mezclas calientes el uso de este aditivo permite reducir el consumo de energía entre 20 a 50% dependiendo del proceso, y considerablemente reduce las emisiones dañinas a la atmosfera. (Arteaga, Salazar 2019) (Salazar, 2019)

Rediset WMX (AkzoNobel, Holanda)

Este aditivo fue hecho necesariamente para la existencia de agua en la mezcla asfáltica tibia, se observa una rigidez reducida con respecto a las mezclas convencionales ya sea por sus bajas temperaturas u otras condiciones que se tengan.

Este aditivo es uno de los aditivos químicos que modifican el asfalto en el cual no se adiciona ninguna cantidad de agua a la mezcla con cemento asfáltico. Este producto es en forma solida que se agregan al ligante asfáltico en cualquier momento del proceso.

Por sus características dadas con anterioridad este producto disminuye la viscosidad a su temperatura de mezclado aumentando su rigidez a la temperatura que se tiene en la carta de viscosidad. (Salazar, 2019)

Iterlow T (Iterchimica SRL, Italia)

Este producto es de característica de tipo líquido que se añade al asfalto, según su ficha técnica viene en proporciones que van desde 0.3% a 0.5% en base a la cantidad de cemento asfáltico que se tiene, este producto no modifica sus características reológicas del asfalto.

Fue usado por primera vez en 2002 en áreas de prueba alrededor de Europa, en capas de rodadura, intermedia y bases, así como con la adición de RAP. (Salazar, 2019)

#### **2.2.2.4. Mezclas asfálticas frías**

Mezcla Fría (Cold Mix Asphalt) La mezcla fría es un tipo de mezcla asfáltica que se elabora y aplica a temperatura ambiente o con poco calentamiento, a diferencia de la mezcla caliente tradicional. Está compuesta por agregados y un ligante asfáltico modificado para poder mezclarse sin calentarse a altas temperaturas.

##### **Características principales:**

**Temperatura de aplicación:** Se puede aplicar a bajas temperaturas, generalmente entre 10 y 40 °C.

**Ligante:** Se usan emulsiones asfálticas o ligantes asfálticos modificados en frío.

##### **Ventajas:**

Ahorro energético al no requerir calentamiento.

Menor emisión de gases contaminantes.

Fácil aplicación en reparaciones rápidas y obras pequeñas.

Puede usarse en condiciones climáticas frías o húmedas donde la mezcla caliente no es viable.

**Usos comunes:**

Reparaciones temporales o provisionales en pavimentos.

Base o subbase estabilizada.

Caminos rurales o vías de bajo tránsito.

**Desventajas:**

Menor resistencia mecánica y durabilidad comparada con la mezcla caliente.

Mayor tiempo de curado y endurecimiento.

**2.2.3. Métodos de diseño de mezcla asfáltica**

En la actualidad, el diseño de mezclas asfálticas se basa en procedimientos estandarizados que permiten garantizar un desempeño óptimo del pavimento. Entre los más utilizados se encuentran el método Hveem, el método Superpave y el método Marshall, cada uno con criterios específicos que evalúan parámetros como estabilidad, vacíos, fluencia, resistencia a la humedad, entre otros.

**2.2.6.1 Método Hveem**

Desarrollado por el Departamento de Transporte de California en la década de 1940, este método se enfoca en determinar el contenido óptimo de asfalto a partir de ensayos de estabilidad, expansión y absorción.

Los procedimientos incluyen:

- Análisis granulométrico por vía húmeda
- Determinación del peso específico y área superficial de los agregados
- Evaluación de la estabilidad mediante carga aplicada a probetas compactadas

Este método es aplicable principalmente a mezclas densas con tamaños de agregado menores a 25 mm, y se utiliza para evaluar la durabilidad, trabajabilidad, resistencia al deslizamiento y estabilidad.

**2.2.6.2 Método Superpave**

Basado en el contenido de vacíos.

En 1987 se desarrolló un nuevo sistema del material asfáltico conocido como SUPERPAVE (Superior performing Asphalt Pavement), representa un sistema de los últimos años en donde especifica los componentes, diseño de mezclas asfálticas y su análisis, y una predicción de grado de performance de los pavimentos, incluyendo equipos de ensayos métodos y criterios que se tienen en cuenta.

Este sistema Superpave proporciona requerimientos más específicos como el tránsito, el clima y la sección estructural del pavimento según su localización. (Tamayo & Bolívar, 2020)

Este método evalúa las características de una mezcla asfáltica de forma individual agregados pétreos naturales, cemento asfáltico y su relación cuando están mezclados (Garnica, Delgado, Gomez, Alonso, & Humberto, 2004)

El sistema es aplicable en mezclas densas en caliente que sean vírgenes o también reciclables, como ya se mencionó líneas arriba este método observa las siguientes características que son:

**Agregados Minerales:** Se puede ver lo específico del método superpave mediante propiedades de consenso y propiedades de origen del agregado.

**Mezclas Asfálticas:** Unos de los sistemas importantes del Superpave son la compactación y ensayos de performance

**Ensamblando Todo:** A diferencia del resto de métodos su uso depende del nivel de tráfico que se tenga para el diseño se tiene tres niveles.

**Sección del ligante:** Se usa nuevos ensayos para la selección de ligante asfáltico este sistema especifica el ligante en base al clima y la temperatura prevista en el pavimento.

Una de las principales diferencias entre métodos de Marshall y método de SUPERPAVE es la forma de compactar el primer método mencionado utiliza el martillo de Marshall en cambio el segundo usa el compactador giratorio el cual compacta los especímenes mediante un proceso de amasado, que es más representativo de las condiciones de campo. (Garnica, Delgado, Gomez, Alonso, & Humberto, 2004)

### **2.2.6.3 Método Marshall:**

Basado en la estabilidad y contenido de vacíos

Es el método más difundido en América Latina, y también el más usado en el Perú según la norma DG-2013. Fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de EE.UU. y

evalúa parámetros como la estabilidad, fluencia, densidad, vacíos y VMA mediante la compactación de briquetas y la aplicación de cargas.

**Procedimiento:**

- Preparación de probetas cilíndricas (102 mm de diámetro x 63 mm de alto)
- Mezcla y compactación a temperatura según carta viscosidad del asfalto
- Ensayos de estabilidad y fluencia (carga máxima y deformación)
- Parámetros clave evaluados:
- Peso específico total
- Estabilidad Marshall (resistencia a la carga)
- Flujo (deformación)
- Vacíos de aire, VMA, VFA
- Relación Estabilidad/Flujo
- Resistencia conservada (pruebas de humedad, AASHTO T-283)

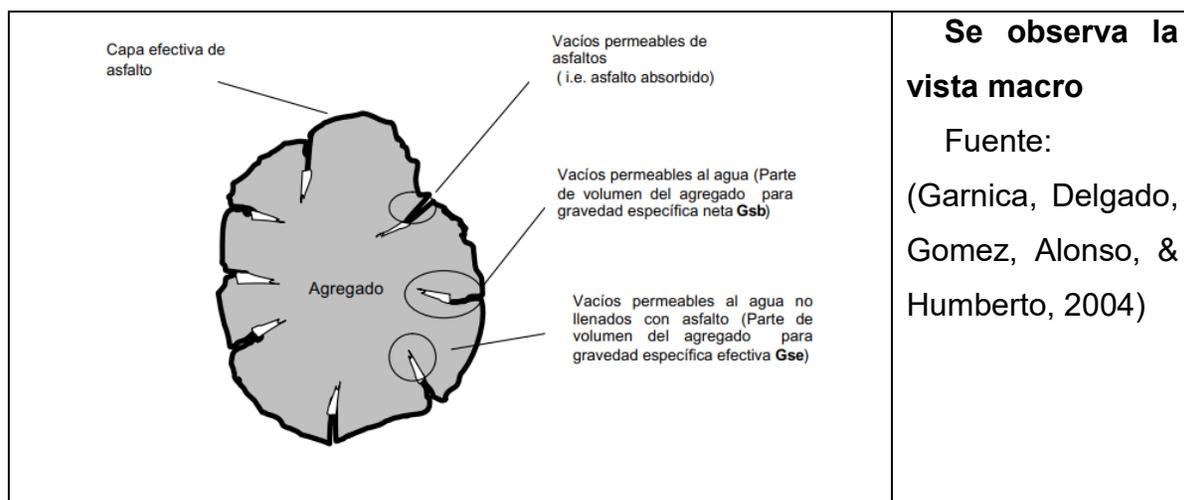
El contenido óptimo de asfalto se determina mediante gráficos comparativos entre contenido y propiedades físicas (estabilidad, vacíos, flujo, etc.).

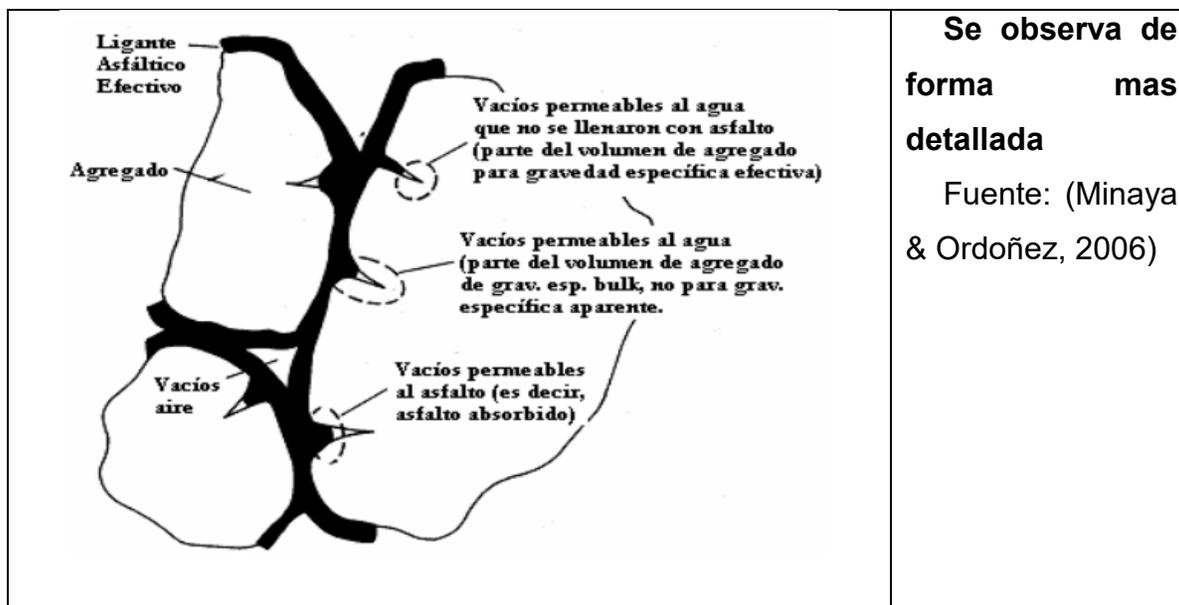
**Parámetros del método de Marshall**

Las propiedades volumétricas como  $V_a$ , VMA, VFA y  $P_{be}$  permiten estimar el desempeño de la mezcla asfáltica, ya que influyen en su comportamiento estructural y durabilidad (Garnica, Delgado, Gomez, Alonso, & Humberto, 2004)PAG 29-30

**Figura 05**

Descripción de parámetro volumétricas





**-Gravedad específica neta (Gsb):** Proporción de la masa al aire (incluyendo vacíos permeables e impermeables del material) a una temperatura indicada

**-Gravedad específica efectiva (Gse):** Proporción de la masa en aire (excluyendo vacíos permeables de asfalto)

**-Gravedad específica aparente (Gsa):** Proporción de la masa en aire de una unidad de volumen de un material impermeable a una temperatura indicada

**Vacíos en el agregado mineral (VMA):** Representan el volumen de espacios vacíos entre los granos del agregado dentro de una mezcla asfáltica compactada, considerando tanto el contenido de aire como el asfalto efectivo presente.

**Contenido de asfalto efectivo (Pbe):** Es la cantidad de ligante asfáltico que permanece disponible en la mezcla, excluyendo el asfalto absorbido por los agregados.

**Vacíos llenos con asfalto (VFA):** Corresponden al porcentaje del volumen intergranular (VMA) que está ocupado por el asfalto efectivo, calculado como la diferencia entre el VMA y el contenido de vacíos de aire (Va).

$$VFA = VMA - Va$$

### Propiedades Volumétricas de Agregados

Gravedad Específica Neta del Agregado

Los agregados gruesos, finos, Fille, etc, se suman hasta dar un agregado total combinando las gravedades específicas de cada uno, se calcula de la siguiente forma.

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

Dónde:

$G_{sb}$ : Gravedad específica aparente correspondiente a la combinación total de agregados.

$P_1, P_2, \dots, P_n$ : Porcentaje en peso de cada fracción individual de agregado dentro de la mezcla.

$G_1, G_2, G_3$ : Gravedad específica aparente de cada tipo de agregado considerado de forma individual.

### **Gravedad Especifica Efectiva del Agregado**

Esta propiedad se calcula con la gravedad específica teórica máxima llamada de forma comercial como RICE que está en la norma (ASTM D-2041/AASHTO T 209)

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

Dónde:

$G_{se}$ : Gravedad específica efectiva del agregado.

$P_{mm}$ : Porcentaje en masa del total de la mezcla suelta=100.

$P_b$ : Porcentaje de asfalto para el peso total de la muestra (ASTM D 2041), % total de la masa.

$G_{mm}$ : Gravedad específica teórica máxima (ASTM D-2041) de la mezcla de asfalto (sin vacíos de aire).

$G_b$ : Gravedad específica del asfalto.

### **Gravedad específica teórica máxima de mezclas Asfálticas**

Este parámetro se calcula para determinar el porcentaje de vacíos de aire para cada contenido de asfalto.

$$G_{mm} = \frac{P_{ms}}{P_s + \frac{P_b}{G_b}}$$

Dónde:

$G_{mm}$ : Gravedad específica teórica máxima (ASTM D-2041) de la mezcla (sin vacíos de aire).

$P_{ms}$ : Representa el 100 % del peso total de la mezcla no compactada.

Ps: Fracción porcentual, en base al peso, correspondiente al agregado dentro de la mezcla global.

Pb: Porcentaje en masa del ligante asfáltico respecto al total de la mezcla.

Gse: Densidad específica efectiva del conjunto de agregados, considerando solo la parte que no absorbe asfalto.

Gb: Densidad específica del ligante asfáltico utilizado en la mezcla.

### **Absorción de asfalto**

La cantidad de asfalto absorbido se expresa en función del peso del agregado, y no como porcentaje del peso total de la mezcla. Este valor se determina mediante la siguiente fórmula:

$$Pba = 100 \times \frac{Gse - Gsb}{Gse \cdot Gsb} Gb$$

Dónde:

Pba: Porcentaje de asfalto absorbido con respecto a la masa del agregado.

Gse: Gravedad específica efectiva del agregado, considerando solo los poros accesibles al asfalto.

Gb: Gravedad específica del cemento asfáltico.

Gsb: Gravedad específica aparente del agregado, incluyendo poros no accesibles.

### **Contenido de asfalto efectivo de la mezcla**

Este parámetro permite calcular el contenido real de asfalto disponible para recubrir los agregados, considerando únicamente el volumen que no ha sido absorbido por ellos. Se obtiene restando el asfalto absorbido del contenido total, ajustado al porcentaje de agregados presentes:

$$Pbe = Pb - \frac{Pba}{100} P_s$$

Dónde:

Pbe: Contenido efectivo de asfalto, expresado como porcentaje del peso total de la mezcla.

Pb: Contenido total de asfalto en la mezcla, en relación al peso de la muestra.

Pba: Porcentaje de asfalto absorbido por los agregados.

Ps: Proporción de agregados con respecto a la masa total de la mezcla.

### **Porcentaje de VMA en mezcla compactada**

Este indicador representa el volumen de vacíos presentes entre las partículas de agregado dentro de una mezcla asfáltica compactada. Dichos vacíos comprenden tanto el aire atrapado como el volumen ocupado por el asfalto. El cálculo se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$VMA = 100 - \frac{Gmb \cdot Ps}{Gsb}$$

Dónde:

VMA: Vacíos en el agregado mineral, expresados como porcentaje del volumen total de la mezcla.

Gsb: Gravedad específica aparente del agregado.

Gmb: Gravedad específica de la mezcla compactada, determinada según normas AASHTO T166 o ASTM D1188/D2726.

Ps: Porcentaje en masa de agregados en relación con la mezcla total.

### Tabla 11

Requerimientos de Vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA)

Tamiz	Vacíos mínimos en agregado mineral %	
	Marshall	Superpave
2,36 mm (N.º 8)	21	-
4,75 mm (N.º 4)	18	-
9,50 mm (3/8")	16	15
12,5 mm (½")	15	14
19,0 mm (3/4")	14	13
25,0 mm (1")	13	12
37,5 mm (1 ½")	12	11
50,0 mm (2")	11,5	10,5

Nota. Fuente: (Manual de Carreteras MTC, 2013)

### Porcentaje de vacíos de aire en mezcla compactada

Este parámetro representa los pequeños vacíos de aire entre las partículas de agregados recubiertos en la mezcla total compactada.

$$Va = 100 - \frac{Gmm - Gmb}{Gmm}$$

Dónde:

Va: Porcentaje de aire en el volumen total de la mezcla compactada.

Gmm: Valor teórico de densidad máxima de la mezcla, sin considerar vacíos (según ASTM D2041).

Gmb: Densidad aparente de la mezcla luego de su compactación.

### Porcentaje VFA en mezclas compactadas

Este indicador representa el porcentaje del volumen de vacíos entre los agregados (VMA) que ha sido ocupado por el asfalto disponible en la mezcla, excluyendo el asfalto absorbido por los agregados.

$$VFA = 100 \times \frac{(VMA - Va)}{VMA}$$

Dónde:

VFA: Fracción de los vacíos del agregado mineral que está rellena con asfalto efectivo.

VMA: Volumen relativo de vacíos entre partículas de agregado dentro de la mezcla.

Va: Porcentaje de aire contenido en la mezcla compactada.

### Tabla 12

Vacíos llenos con asfalto (VFA)

Tráfico (millones de ejes equivalentes)	VFA
≤0,3	70-80
>0,3-3	65-78
>3	65-75

Nota. Fuente: (Manual de Carreteras MTC, 2013)

### Requisitos volumétricos de diseño Marshall

#### A) Peso Específico Total

Este parámetro se usa para determinar el peso unitario de una mezcla bituminosa compactada y enfriada a la temperatura ambiente, junto con el método de ensayo conseguir el porcentaje de vacíos de aire en la mezcla, también se usa para determinar el grado relativo de compactación, siendo este un parámetro importante.

#### B) Ensayos de Estabilidad

Este ensayo es una media de la carga en la cual una probeta que se compacta cede o falla, aplicando una carga de manera lenta en donde los cabezales se acercan de forma

continua, en donde se hace la lectura del dial, se suspende la lectura de la carga máxima cuando se obtiene la carga.

La estabilidad Marshall indica cuan deformable es nuestra mezcla, si nuestra lectura del dial es más alta este parámetro será mejor. Para mezclas asfálticas la resistencia es una medida de calidad, en donde se obtiene a medida de la costa de la durabilidad.

### C) Ensayo de Fluencia

Este parámetro se mide en centésimas de pulgada y representa la deformación que sufre la briqueta, evidenciada por la reducción de su diámetro vertical. Las mezclas con baja fluencia y elevada estabilidad Marshall suelen presentar un comportamiento frágil y excesivamente rígido, lo cual no es adecuado para pavimentos en servicio. Por otro lado, aquellas con fluencia elevada tienden a ser demasiado plásticas y susceptibles a deformaciones bajo el tránsito vehicular (Jorge, 2019).

### D) Análisis de Parámetros de Estabilidad y Fluencia

Cuando ya se culminaron los ensayos estabilidad y fluencia se continua el análisis de densidad y vacíos para cada serie de probetas que se tenga.

En la DG-2013 se tiene requisitos establecidos para valores de estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica

**Tabla 13**

Requerimientos de concreto bituminoso

Parámetros de Diseño	Clases de Mezcla		
	A	B	C
1. Compactación, # de golpes	75	50	35
2. Estabilidad (min)	8.15 KN	5.44 KN	4.53 KN
3. Flujo 0.01"(0.25 mm)	8-14	8-15	8-16
4. Porcentaje de vacíos con aire	3-5	3-6	3-7
5. Vacíos de agregado mineral	Ver tabla 423-10		
Inmersión – Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2.1	2.1	2.1
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo – Asfalto (2)	0.6-1.3	0.6-1.3	0.6-1.3
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)	1700-4000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 min		

Nota. Fuente: (Manual de Carreteras MTC, 2013)

De acuerdo con el Instituto del Asfalto:

$$P=0.035a+0.045b+Kc+F$$

Donde:

P: porcentaje de asfalto en peso, del total de la mezcla

a = % retenido en la malla N° 8

b= % pasante en la malla N° 8 y retenido en la malla N° 200

c =depende de l % pasante de la malla N° 200

Si c está entre 11 y 15 %, K= 0.15

Si c está entre 6 y 10 %, K = 0.18

Si c es 5 % o menos, K= 0.20

F: Factor de corrección (0.8)

### **E) Evaluación de Vacíos**

Los vacíos son pequeñas burbujas de aire presentes entre los granos de agregado recubiertos con ligante asfáltico. Su determinación se basa en la diferencia entre la densidad de la mezcla compactada y la densidad teórica máxima sin vacíos, la cual se calcula a partir de las densidades individuales del agregado y del asfalto en estado suelto.

#### **Análisis del Peso Unitario**

Para hallar el peso unitario promedio de cada muestra, se multiplica la densidad de la mezcla por 1000 kg/m<sup>3</sup> (o 62.4 lb/ft<sup>3</sup> en el sistema inglés).

#### **Análisis del VMA**

El VMA representa el volumen de vacíos entre los agregados dentro de una mezcla compactada. Este valor incluye tanto el aire como el asfalto no absorbido, y se expresa como porcentaje del volumen total. Se calcula restando el volumen de los agregados del volumen total de la mezcla.

#### **Análisis del VFA**

El VFA (vacíos llenos con asfalto) indica el porcentaje del volumen de vacíos del agregado (VMA) que está ocupado por el ligante asfáltico. Para determinarlo, se resta el volumen de vacíos de aire (Va) del VMA, y el resultado se divide entre el VMA. El valor final se expresa en porcentaje (Carrizales, 2015).

## F) Contenido de cemento asfáltico

Una vez obtenidas las gráficas de densidad-vacíos, estabilidad y flujo se determina el contenido que corresponde al promedio del mayor valor del Peso unitario del espécimen compactado, mayor estabilidad y menor cantidad de vacíos  $V_a$ , siendo este contenido óptimo de cemento asfáltico (The Asphalt Institute, 1997).

### Procedimiento del diseño Marshall

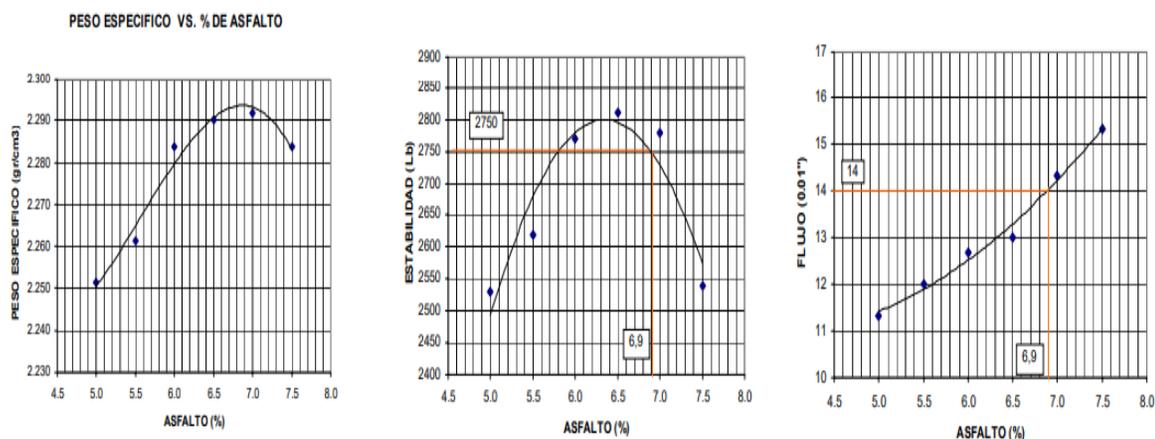
Estos gráficos indican el rango

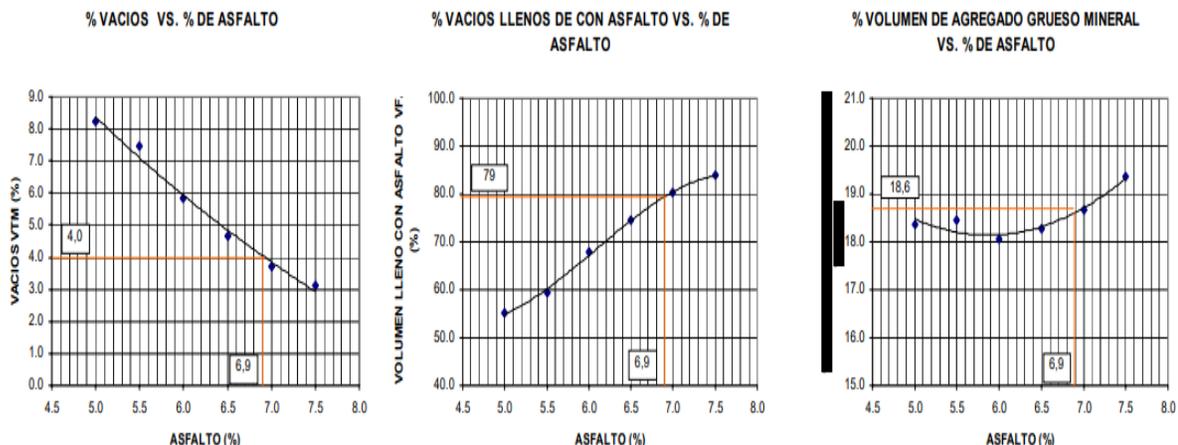
- % Asfalto sobre Peso de Mezcla// % Vacío
- % Asfalto sobre Peso de Mezcla// VMA
- % Asfalto sobre Peso de Mezcla // VFA
- % Asfalto sobre Peso de Mezcla // % Polvo/Asfalto
- % Asfalto sobre Peso de Mezcla// Flujo (1/100) mm
- % Asfalto sobre Peso de Mezcla// Estabilidad

Los anteriores resultados se representan en gráficos que se hacen de forma iterativa en donde se determina la cantidad óptimo del asfalto que se dará en cada espécimen de mezcla asfáltica.

## Figura 06

Ejemplo de resultados de ensayos Marshall, según el contenido de asfalto





*Nota.* Fuente. (Minaya & Ordoñez, 2006)

## 2.2.4. Mecanismos de daño de mezclas asfálticas

Cuando se tiene una mezcla asfáltica y esta se incorpora dentro de una estructura que es una carpeta, esta estructura está sujeta a distintos factores que afectan en su mayoría su vida útil de la mezcla, estas están relacionadas principalmente a factores como pueden ser el paso de vehículos, factores ambientales que de forma directa o indirecta afectan en el deterioro

Existe según bibliografías encontradas se tiene cuatro mecanismos de daños para mezclas asfálticas que estarán en servicio, se debe tener en cuenta que los principales serán, el ahuellamiento, los agrietamientos por fatiga (piel de cocodrilo), el daño por humedad del pavimento, envejecimiento. En este capítulo se realizará una descripción del daño por humedad y el ahuellamiento.

### 2.2.4.1. Ahuellamiento en Mezclas Asfálticas

Según (Rondon; Reyes, 2015) describen el ahuellamiento como unos de los principales mecanismos de daños en la carpeta asfálticas en la estructura del pavimento flexible.

Este fenómeno se describe evaluar la deformación permanente al daño por humedad de mezclas asfálticas en caliente cuando se han sumergido bajo una acción de ruedas oscilantes en una rueda de Hamburgo, que se rigen bajo la norma de referencia AASHTO T 324, este procedimiento se da mediante la compactación de un compactador giratorio de la tecnología Superpave.

El tránsito repetido de vehículos provoca la formación de depresiones longitudinales poco profundas en el recorrido de las ruedas, lo que puede derivar en fallas estructurales o funcionales del pavimento.

### **Causas:**

Las repeticiones de las cargas del tránsito originan Ahuellamiento como consecuencia de alguno de los factores siguientes:

- Insuficiente estabilidad de las mezclas asfálticas por inadecuada compactación o deficiente dosificación.
- Insuficiente estabilidad de las capas del pavimento o de la subrasante (falla por corte, compresión o desplazamiento lateral material) ya sea por ingreso de agua o deficiente calidad.
- Espesores de pavimento insuficientes (infra diseño estructural) para las repeticiones de carga soportadas.
- Exagerado incremento en las cargas del tránsito.

### **Medición**

El ahuellamiento se mide en metros cuadrados multiplicando su longitud por el ancho afectado por la huella.

Ensayo de Rueda Carga de Hamburgo (Wheel-Tracking) (American Association of State Highway and Transportation, 2011)

### **Desarrollo**

Es un procedimiento en donde, un bloque cortado del sitio o un núcleo extraído del pavimento, es cargado repetidamente utilizando una llanta de acero oscilatoria. El cuerpo de prueba se sumerge en un baño de agua a temperatura controlada, generalmente entre 50 °C y 60 °C, según las características del ligante asfáltico empleado. Luego, se registra la deformación inducida por el paso repetido de la rueda de carga.

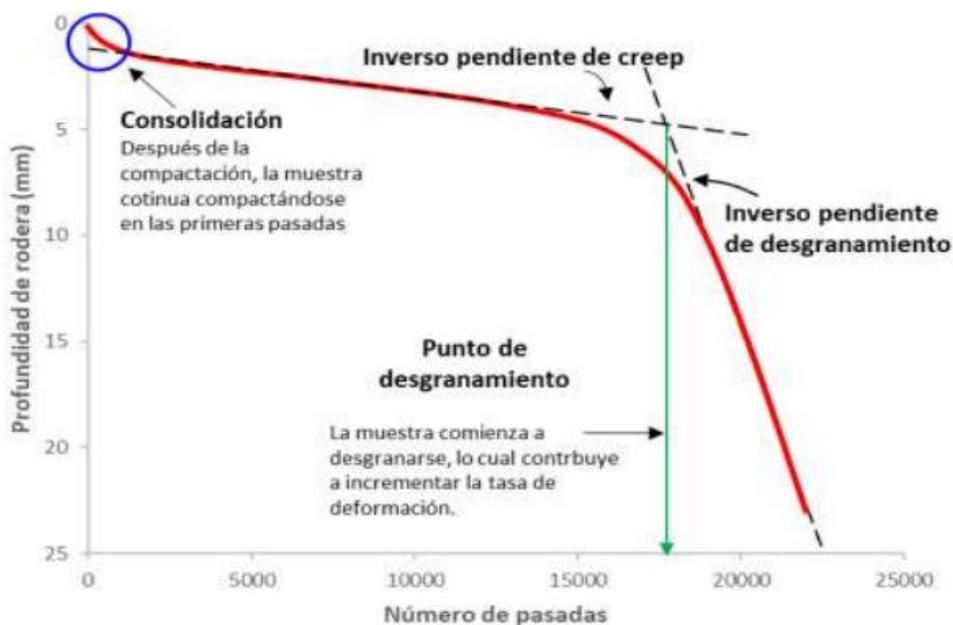
Dicha deformación se representa gráficamente en función del número de pasadas de la rueda. El espécimen es sumergido en un baño de agua a una temperatura controlada de 50°C a 60°C a una temperatura adecuada de acuerdo con el ligante asfáltico utilizado. La deformación del espécimen, causada por la carga de la llanta, es medida.

La impresión es graficada como función del número de pasadas de la llanta. Un aumento abrupto en la tasa de deformación coincide con el desprendimiento de la película de ligante asfáltico del agregado en el espécimen de MAC

Se recomienda, para especímenes compactados en el laboratorio, que el contenido de vacíos neta sea de  $(7,0 \pm 1,0) \%$ . (ASTM, Standard method of test for Hamburg wheel-track testing of compacted hot mix asphalt (HMA) (AASHTO T 324-23), 2019)

**Figura 07**

Esquema de los resultados de un ensayo en la rueda cargada



*Nota.* Fuente: (Flores, Delgado, & Gomez, 2018)

De acuerdo con la literatura, los principales factores que afectan la resistencia a la deformación permanente de mezclas asfálticas son:

- (1) Carga
- (2) Temperatura, velocidad de carga y humedad
- (3) Densidad compactación
- (4) Tamaño, granulometría, tipo del agregado
- (5) Tipo de ligante asfáltico.

En el siguiente cuadro se tiene el cambio de factores sobre el aumento o disminuciones de deformaciones permanente.

**Tabla 14**

Factores que afectan el ahuellamiento en mezclas asfálticas.

	<b>FACTOR</b>	<b>CAMBIO EN EL FACTOR</b>	<b>EFFECTO SOBRE LA RESISTENCIA AL AHULLAMIENTO</b>
Agregados Pétreos	Textura Superficial	Liso a Rugoso	Incrementa
	Forma	Redonda a regula	Incrementa
	Tamaño	Incremento en tamaño máximo	Incrementa
Ligante	Rigidez	Incremento	Incrementa
Mezcla	Contenido del ligante	Incremento	Disminuye
	Contenido de vacíos	Incremento	Disminuye
	Grado de Compactación	Incremento	Incrementa
	Temperatura	Incremento	Disminuye
Condiciones de Campo	Esfuerzo o Deformación	Incremento	Disminuye
	Repeticiones de Carga	Incremento	Disminuye
	Agua	Seco a Húmedo	Disminuye

Nota. Fuente: (Rondon; Reyes, 2015)

#### **2.2.4.2. Ensayo De Tsr (Resistencia Conservada En El Ensayo De Tracción Indirecta O Tensión Diametral) (AASHTO T 283).**

Según la (AASHTO, 2011) indica que este tipo de falla conocido por daño por humedad se define mediante el deterioro de la capacidad estructural de la mezcla asfáltica, causada por la presencia de agua en distintos estados como son el líquido y el gaseoso en su interior.

De acuerdo con estudios previos, se han identificado fenómenos como el stripping y el raveling. El primero hace referencia a la pérdida de adherencia entre el ligante asfáltico y los agregados, mientras que el segundo describe la desintegración progresiva de la capa superficial de la mezcla, provocada por el tráfico vehicular constante (PLAZA TORRALVO & RINCON CALCEDO, 2014).

Este método cubre la preparación de especímenes y la medida del cambio de resistencia a la tensión diametralmente que resulta de los efectos de la saturación del

agua y acondicionamiento en agua acelerado con un ciclo de congelamiento-deshielo de mezclas compactadas. (AASHTO, 2011)

**Existe dos tipos de ensayos:**

#### **Ensayo De Tracción Indirecta Lottman Original**

En 1970, Robert P. Lottman, investigador de la Universidad de Idaho, desarrolló un método para evaluar la resistencia a la pérdida de adhesión en mezclas asfálticas expuestas a saturación con agua y ciclos térmicos. El procedimiento original empleó nueve especímenes compactados con un contenido de vacíos representativo del observado en campo, divididos en tres grupos de tratamiento:

Primer grupo: Evaluado directamente, sin ningún tipo de acondicionamiento previo.

Segundo grupo: Sumergido en agua bajo condiciones de vacío para inducir saturación durante 30 minutos, seguido de una exposición al ambiente por 2 horas.

Tercer grupo: Sometido al mismo proceso de saturación que el segundo grupo, pero luego almacenado a  $-18^{\circ}\text{C}$  durante 15 horas. Posteriormente, se colocó en un baño maría a  $60^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas antes de realizar el ensayo de rotura.

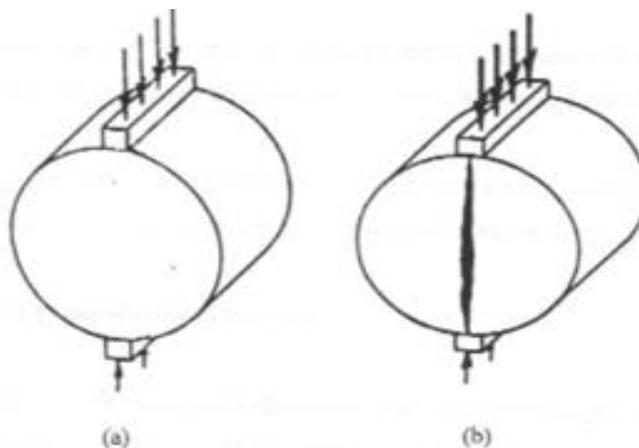
#### **Ensayo De Tracción Indirecta Lottman Modificado**

Este ensayo de Lottman modificado conocido como "Resistencia de mezclas bituminosas compactadas a los daños por humedad inducida", es el procedimiento que determina la susceptibilidad a la humedad que genera la pérdida de adhesividad en las mezclas asfálticas HMA, de cierta forma es de igual forma que el original las diferencias fundamentales son:

- Una de las diferencias más relevantes radica en que el nuevo procedimiento permite alcanzar una saturación del 70 % al 80 % en tan solo cinco minutos, mientras que el método original propuesto por Lottman requiere aproximadamente 30 minutos para lograrlo.
- Asimismo, se emplea una mayor velocidad de carga y una temperatura elevada, lo cual elimina la necesidad de un sistema de refrigeración. Esta metodología fue incorporada en la tecnología Superpave con el fin de evaluar los daños provocados por la humedad en las mezclas asfálticas (Programa de Infraestructura del Transporte(PITRA), 2018).

**Figura 08**

Simulación de cargas- Rotura del ensayo de tracción indirecta



Nota. Fuente: (Padilla, 2004)

Procedimiento:

En las últimas investigaciones se ha estudiado el comportamiento del ligante en su condición física, química y reológica, en donde se encuentra las características del ligante en el siguiente cuadro vemos factores que aportan al daño por humedad.

**Tabla 15**

Factores que contribuyen con el daño por humedad de las mezclas asfálticas en caliente.

DISEÑO DE LA MEZCLA	Química del asfalto y agregado
	Contenido de asfalto
	Vacios con aire
	Aditivo
PRODUCCIÓN	Porcentaje de recubrimiento de agregado y calidad del material que pasa el tamiz 200
	Temperatura en planta
	Exceso de humedad en los agregados
	Presencia de arcilla
CONSTRUCCIÓN	Compactación
	Altas permeabilidad
	Segregación de la mezcla

	Cambio del diseño de la mezcla respecto al sitio de colocación
	Áreas muy lluviosas
CLIMA	Ciclos de congelamiento y descongelamiento Separación del vapor de agua
	Drenaje superficial Drenaje subsuperficial
OTROS FACTORES	Estrategias de rehabilitación-sellos de materiales marginales sobre las mezclas asfálticas en caliente Paso de latas cargas vehiculares

Nota. Fuente. (Moisture Sensitivity of Asphalt Pavements, 2003)

### 2.3. Marco Conceptual

#### Agregados

Son aquellos materiales pétreos que son empleados en la ejecución de cualquier tratamiento o mezclas asfálticas, deben poseer una naturaleza que al aplicarse con material asfáltico estas no se deben desprenderse; estos agregados pueden ser agregados finos y agregados gruesos. (Flores & Rojas, 2019)

#### Agregado grueso

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, la parte del agregado pétreo total que queda retenido en el tamiz #4. (Jorge, 2019)

#### Granulometría

La granulometría es la característica física principal y fundamental de todo conjunto de partículas porque influye de forma muy importante en la resistencia mecánica del conjunto (esqueleto mineral). (Jorge, 2019)

#### Adhesividad del agregado grueso

Se observa la comprobación de las propiedades de adhesividad entre agregado y el ligante mediante una evaluación global de resistencia conservada en los ensayos de inmersión – compresión, se observa este ensayo por abrasión en el ensayo Cántabro.

#### Agregado fino

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

#### Polvo Mineral (Filler)

Se define como polvo mineral, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz #200, por lo general es caliza, polvos de roca, cal hidratada o cemento portland.

#### Tamaño máximo nominal y tamaño máximo

Se define como aquel tamaño de tamiz que retiene más del 10 % del total del material tamizado. El tamaño máximo es el siguiente tamiz mayor que el tamaño máximo nominal. (Minaya & Ordoñez, 2006)

#### Cemento Asfáltico

Los asfaltos son una mezcla compleja de hidrocarburos de peso molecular elevado, sus propiedades fundamentales son la adhesividad, impermeabilidad y durabilidad usando en la fabricación de pavimentos flexibles.

#### Tensoactivos

Son sustancias químicamente o también orgánicas, aditivadas que disminuyen la tensión o fuerza en la superficie de contacto entre dos fases, este material no cambia la viscosidad del aglomerante. (EAPA, 2024)

#### Temperatura de compactación

Es la temperatura a la cual una mezcla asfáltica debe ser compactada en obra. Es utilizada para el diseño de mezclas asfálticas calientes y el rango o valor de este debe ser respetada de acuerdo a la carta de viscosidad (Manual de Carreteras MTC, 2013)

#### Temperatura de producción

Es la temperatura a la cual una mezcla asfáltica es producida en una planta de asfalto. Esta temperatura guarda una estrecha relación con la temperatura de compactación, ya que la temperatura de producción debe ser necesariamente superior a esta última para garantizar una adecuada trabajabilidad del material.

#### Polímero

Es una macromolécula de estructura lineal o ramificada que se incorpora al asfalto para mejorar sus propiedades, aportando mayor flexibilidad, resistencia mecánica y durabilidad frente a condiciones de carga y clima.

### Viscosidad

Es un parámetro que indica la resistencia de un fluido al flujo; en el caso del asfalto, se utiliza principalmente para evaluar su consistencia y comportamiento frente a la temperatura.

### Penetración de materiales bituminosos.

La penetración se define como la distancia la cual penetra el material bituminoso verticalmente con una aguja normalizada en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura.

### Densidad Neta-Bulk

Relación entre masa y volumen que incluye los espacios vacíos entre las partículas del material, evaluando su compacidad (Condori & Vera, 2024)

### Densidad

Magnitud escalar referida a la masa de un determinado por un volumen.

### Vacíos

Espacios de aire de una mezcla que está en los especímenes compactada y estos rodean a las partículas.

### Porosidad de mezclas asfálticas

Es la propiedad que tiene el asfalto de absorber, en algunos casos es conveniente que el agregado sea poroso para que el asfalto penetre dentro del agregado. (Crystian, 2016)

### Estabilidad

Es la capacidad de resistir un desplazamiento y deformación bajo cargas de tránsito, dependiendo en gran parte de este último.

### Trabajabilidad

Es la facilidad con la que una mezcla es fácil de hacer el manejo y por lo tanto se coloca y compacta mejor.

### Flujo

Es la capacidad de una mezcla de resistir a la distorsión, el flujo aumenta la cantidad de asfalto que se ponga en la mezcla asfáltica.

## Capítulo III: Metodología de Investigación

### 3.1. Formulación de Hipótesis

#### 3.1.1. Hipótesis general

HG: La incorporación de un aditivo de base vegetal en mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímero SBS produce diferencias significativas en el comportamiento mecánico del pavimento flexible en la ciudad del Cusco, durante el año 2024.

#### 3.1.2. Hipótesis específica

Hipótesis específica 01

HE1: Existen diferencias significativas en los parámetros volumétricos de mezclas asfálticas convencionales y con polímero SBS al incorporar un aditivo de base vegetal.

Hipótesis específica 02

HE2: La adición de un aditivo de base vegetal genera variaciones significativas en el comportamiento frente al daño por humedad de las mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímero SBS.

Hipótesis específica 03

HE3: El desempeño frente al ahuellamiento, evaluado mediante el ensayo de rueda de Hamburgo, varía significativamente en las mezclas asfálticas convencionales y con polímero SBS al incorporar un aditivo de base vegetal.

Hipótesis específica 04

HE4: La incorporación del aditivo de base vegetal en mezclas asfálticas modifica significativamente los costos operativos, el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero durante los procesos de producción y compactación.

### 3.2. Tipo de Investigación

Es de tipo **aplicativo** porque busca resolver un problema en este caso mejorar el desempeño del pavimento en zonas por encima de los 3000 msnm. Su propósito no es la producción de teorías nuevas, sino la implementación de propuestas prácticas que generen resultados observables y funcionales.

### 3.3. Nivel de Investigación

Además, la investigación presenta un alcance **explicativo**, el cual se destaca por establecer relaciones de causa y efecto entre variables, ofreciendo un nivel más profundo

y estructurado en comparación con los alcances anteriores. Estos estudios incorporan variables independientes (causas) y variables dependientes (efectos), permitiendo la formulación de hipótesis que buscan establecer relaciones causales (Arias, 2021). En ese sentido, de acuerdo con lo mencionado, responde las causas en las mezclas asfálticas convencionales y con polímero SBS al de adicionar un aditivo de base vegetal.

### **3.4. Diseño de Investigación**

La presente investigación adopta un **diseño experimental explicativo**, según la clasificación de Hernández Sampieri (2014). Se considera experimental porque se manipula una variable independiente la incorporación de un aditivo de base vegetal en mezclas asfálticas y se observan sus efectos en variables dependientes como las propiedades volumétricas, comportamiento ante daño por humedad y deformación permanente.

### **3.5. Enfoque de la Investigación**

La investigación adoptará un enfoque CUANTITATIVO, el cual implica la recolección y análisis de aspectos numéricos, tal como lo señala Baena (2017). En este sentido, se obtendrán datos numéricos provenientes de ensayos de laboratorio, los cuales serán presentados y analizados mediante gráficos y cuadros estadísticos. Este enfoque cuantitativo permitirá cuantificar y medir las variables de interés, así hacer comparaciones del comportamiento de las mezclas asfálticas convencionales y mezclas con polímeros, haciendo una comparación, así como establecer relaciones numéricas entre ellas, con el fin de obtener resultados objetivos y generalizables.

### **3.6. Identificación de Variables**

#### **3.6.1. Variables**

Variables Independientes (X1): Uso de aditivo vegetal en mezclas asfálticas

Variables Dependientes (Y1): Propiedades volumétricas de Marshall

Variables Dependientes (Y2): Desempeño Daño por Humedad

Variables Dependientes (Y3): Desempeño-Rueda de Hamburgo

Variables Dependientes (Y4): Impacto en costos, energía y emisiones

### 3.6.2. Operacionalización de Variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Técnica	Instrumento
<b>X. Tipo de mezcla + aditivo vegetal</b>	Uso de aditivo vegetal en mezclas asfálticas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tipo de asfalto (PEN 120/150, SBS)</li> <li>% de aditivo (0%, 0.3%, 0.5%, 0.4%, 0.6%)</li> </ul>	Diseño y control de mezclas	Ficha de dosificación
<b>Y1. Propiedades volumétricas (Marshall)</b>	EstabilidadFlujo Contenido de vacíos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estabilidad (kg)</li> <li>Flujo (mm)</li> <li>VMA (%)</li> <li>VFA (%)</li> <li>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</li> </ul>	Ensayo Marshall	Compactador, prensa Marshall, balanza
<b>Y2. Daño por humedad</b>	Resistencia a la humedad	<ul style="list-style-type: none"> <li>TSR (%)</li> <li>Retención de estabilidad</li> </ul>	Ensayo de humedad (AASHTO T283)	Cámara de curado, prensa Marshall
<b>Y3. Desempeño frente al ahuellamiento</b>	Deformación permanente	<ul style="list-style-type: none"> <li>Profundidad del ahuellamiento (mm)</li> <li>Nº de pasadas a falla</li> </ul>	Ensayo de rueda de Hamburgo	Máquina de rueda de Hamburgo
<b>Y4. Impacto ambiental-operativo</b>	Costos, Consumo energético Y Emisiones GEI	<ul style="list-style-type: none"> <li>Costos operativos (S/.)</li> <li>Energía consumida (kWh)</li> <li>Emisiones CO<sub>2</sub> eq. (kg)</li> </ul>	Registro técnicoEstimación ambiental	Información referencial de planta, conferencias de medio ambiente

## 3.7. Población y Muestra

### 3.7.1. Población

La población se denomina a los objetos en observación la cual será dada por la cantidad de cuerpos de prueba para mezcla asfáltica convencional, mezcla asfáltica modificada con polímero SBS, adicionalmente a eso se agregará aditivo a cada uno de los anteriores mencionados.

### 3.7.2. Tamaño de muestra

Según (Gutiérrez & Salazar, 2008) indica que en el diseño de experimentos es una decisión importante decidir el número de réplicas que se hará por cada tratamiento si se esperan diferencias pequeñas entre tratamientos será necesario un mayor tamaño de muestra, en la mayoría de experimentos el factor que involucra varía entre cinco y diez en algunos casos no conocidos del tema de investigación puede ser hasta 30 especímenes.

Según la (ASTM, ASTM D6927 – Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures, 2022) indica establece que, para el diseño de mezclas, los resultados

de estabilidad y flujo deben consistir en el promedio de un mínimo de **tres especímenes** por cada incremento de contenido de ligante. Con el propósito de determinar el contenido óptimo de ligante, se elaboraron mezclas con diferentes porcentajes de asfalto, aumentando el contenido del mismo en incrementos del 0,5 % en peso de la mezcla total.

Para la presente investigación por cada porcentaje de asfalto evaluado, se prepararon un mínimo de cinco (5) especímenes compactados. Posteriormente, se realizaron los ensayos de estabilidad y flujo, y los resultados obtenidos se expresaron como el promedio de dichos especímenes. Este procedimiento garantiza la representatividad de los datos y permite una mejor estimación de las propiedades mecánicas de la mezcla.

Para muestras de ensayos de las mezclas asfálticas convencionales y la mezcla asfáltica modificada se le agrega el aditivo de base vegetal en porcentajes de (0.3 % , 0.5%) y (0.4% , 0.6%) respectivamente.

Para los ensayos de desempeño como son la Rueda de Hamburgo (AASHTO T-324), y el ensayo Lottman modificado AASHTO T-283, se respetó la cantidad de muestras que se expresa su norma estipulada, tanto para mezcla convencional con aditivo (óptimos C.O.A 5.8% y 0.3% AD) y modificada con aditivo (óptimos C.O.A 5.7% y 0.4% AD).

También (Manual de Carreteras MTC, 2013) indica que en pruebas de campo y/o laboratorio en temas de control de calidad se tomara como mínimo 5 muestras los cuales serán evaluados.

### **3.7.3. Técnicas e instrumentación de recolección de datos**

La investigación se llevó con un diseño experimental por sus variables dependientes e independientes, por lo que se registró de manera organizada y detallada toda la información obtenida de los experimentos.

Se hizo revisión de bibliografía en donde revisamos normas internacionales ASTM, AASHTO, normas del ministerio de transporte y comunicaciones como EG-2013, Manual de suelos y materiales, manual de ensayos, tesis de investigación, artículos científicos, en donde resumimos en un cuadro de Meta data.

### **3.7.4. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

El evaluar observar y analizar los datos del laboratorio y viendo el comportamiento que haya tenido con los distintos materiales, se debe tener en cuenta las variables, así como también los indicadores que se identificaron anteriormente.

Se hace el uso de las siguientes normativas:

Ensayos Materiales - Requerimientos para los Agregados Grueso

Ensayo de Análisis Granulométrico De Agregado Grueso 1/2" y 3/8"

- Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio y Ensayo de Abrasión Los Ángeles
- Peso Específico de Agregado Grueso y ensayo de Partículas chatas y alargadas (MTC E 223)
- Ensayo de Caras fracturadas y ensayos de Sales Solubles Totales (MTC E 219)
- Absorción de Agregado Grueso y ensayo de Revestimiento Y Desprendimiento De Mezclas Agregado – Cemento Asfáltico Convencional Pen 120/150
- Revestimiento Y Desprendimiento De Mezclas Agregado – Cemento Asfáltico Modificado Con Polímero SBS.

Ensayos Materiales - Requerimientos para los Agregados fino

- Ensayo de Análisis Granulométrico De Agregado Fino Arena Chancada, Arena Fina, Cal Hidratada.
- Ensayo de Equivalente de Arena y Ensayo de Azul de metileno.
- Ensayo de Índice de Plasticidad de malla N° 40 y malla N° 200
- Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio y Ensayo de Absorción de Agregado Fino
- Ensayo de Gravedad Especifica De Agregados Finos

Ensayos Materiales -Ensayos para Bitúmenes

Penetración De Los Materiales Bituminosos Cemento Asfáltico Convencional PEN 120/150(MTC E 304)

Penetración De Los Materiales Bituminosos Cemento Asfáltico Modificado Con SBS (MTC E 304)

Ensayos de Parámetros Volumétricos

Ensayos de Marshall (Estabilidad-Flujo) (MTC E 504)

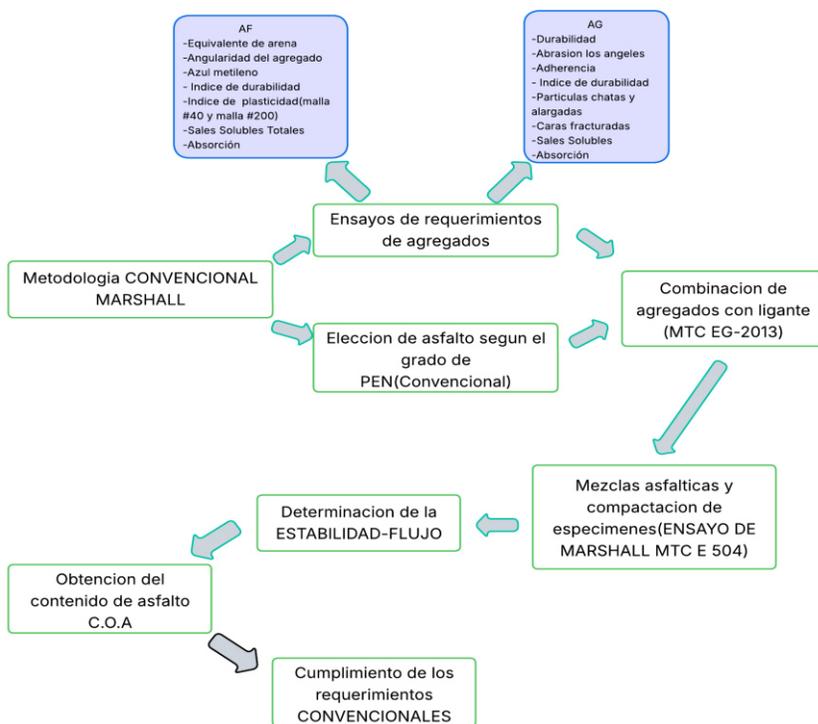
### **3.7.5. Diseño metodológico**

La investigación presenta ciertos procesos que se representan en un diagrama de flujo, en el siguiente diagrama se hace el proceso para obtener el contenido óptimo de

asfalto teniendo en cuenta la DG-2013 y algunas normativas que se mencionaron anteriormente.

**Figura 09**

**Esquema de la METODOLOGIA CONVENCIONAL DE MARSHALL**



Nota. Fuente. Elaboración Propia

### 3.8. Recolección de Datos

#### 3.8.1. Exploración de canteras

En la presente investigación se hizo uso de dos canteras el primero ubicada en el distrito de San Salvador que pertenece a unos de los 8 distritos de Calca y el segundo ubicado en la región de Cusco en el departamento de Cusco-Apurímac cercana al puente de Cunyac que cruza el río Apurímac.

Cantera Morro Blanco: Ubicada en el distrito de San Salvador en el distrito de Calca la forma más rápida de acceder a la cantera es por la carretera 28B a 45.2 km a 55 min de la ciudad del Cusco.

Latitud: 13°28'50.57''S - Longitud: 71°48'2.20''O

### Figura 10

Ubicación de la cantera Morro Blanco, San Salvador.

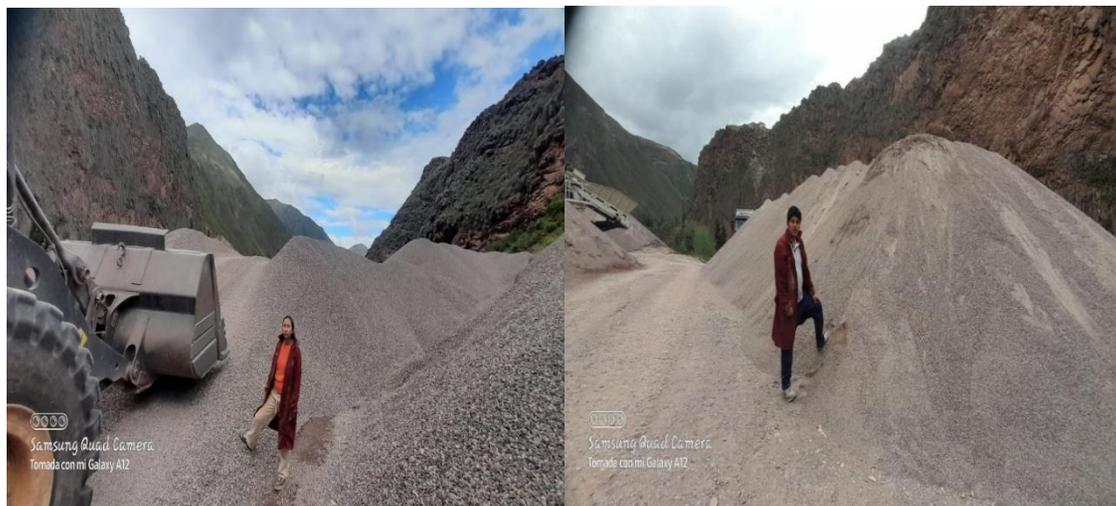


Nota. Fuente: Google Earth. Elaboración Propia

En la cantera se identificó el uso de maquinaria pesada típica para actividades de explotación, tales como excavadoras, cargadores frontales y volquetes, especialmente durante la temporada de estiaje.

### Figura 11

Cantera Morro Blanco, San Salvador



*Nota.* Fuente: Imagen Izquierda: Chancado de material de Canto Rodado de tamaño  $\frac{1}{2}$ " y  $\frac{3}{8}$ " Imagen Derecha: arena Chancada de canto rodado

Cantera Cunyac: En la región de Cusco en el departamento de Cusco-Apurímac cercana al puente de Cunyac que cruza el río Apurímac ubicado a 102 km y 2h.15 min de la ciudad del Cusco. Latitud:  $13^{\circ}33'46''$ .55"S, Longitud:  $72^{\circ}34'26.68''$ O

## Figura 12

Ubicación de la Cantera de Cunyac



*Nota.* Fuente: Google Earth. Elaboración Propia

La cantera se observó equipo de maquinaria de explotación que usualmente se utiliza es excavadora, cargador, volquete, y durante la época de estiaje usualmente.

### 3.8.2. Ensayos realizados a los agregados

Los ensayos que se realizaron a los agregados pétreos en este caso que serán de procedencia de canto rodado, tiene exigencias según el Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas para la Construcción EG 2013 estas exigencias se darán para nuestra investigación para mezclas asfálticas en caliente.

#### **Gradación de Mezclas Asfálticas Calientes (MAC) (MTC E 107)**

##### Concepto

La gradación de los agregados destinado para la producción de mezclas asfálticas son una combinación de agregados gruesos y agregados finos, la gradación debe estar

dentro del uso granulométrico que se especifique en la norma en este caso nosotros aremos uso de la granulometría ASTM D3515 e Instituto del Asfalto.

#### Equipos y Materiales

Se emplearon balanzas, horno, tamices, recipientes y cepillos. De acuerdo con el Manual de Ensayo de Materiales, la serie de tamices con malla cuadrada utilizada corresponde a los especificados en la tabla siguiente.

**Tabla 16**

Secuencia de Tamices para el Análisis Granulométrico

Tamaño del tamiz	Mezcla Densa
	Tamaño Máximo Nominal de Agregados
	1/2"
Gradación de agregados (Grava; Fino y Filler si se requiere Porcentaje en Peso)	
2 1/2 "(63 mm)	-
2 "(50 mm)	-
1 1/2"(37.5 mm)	-
1"(25.0 mm)	-
3/4"(19.0 mm)	100
1/2"(12.50 mm)	90-100
3/8 "(9.5 mm)	-
N° 4 (4.75 mm)	44-74
N° 8 (2.36 mm)	28-58
N° 16 (1.18 mm)	-
N° 30 (600 µm)	-
N° 50 (300 µm)	5-21
N° 100 (150 µm)	-
N° 200 (75 µm)	2-10

Nota. Fuente: Hot Mix Asphalt Material, Mixture Design and Construction. NAPA 1996

## Procedimiento

### Agregado grueso

Se procedió el cuarteo del material seleccionado para luego ver que el material ingrese en el huso granulométrico separando la proporción de las muestras retenidas en la malla N° 4 que es la malla frontera entre agregado grueso y fino que se tenga

Se mueve el conjunto de tamices de un lado a otro haciendo una circunferencia de manera que se mantenga en movimiento, seguidamente se pesa las fracciones detenidas en cada malla, la suma de pesos de cada malla debe pesar igual al peso inicial que se tenga o no debe diferir en más de 1 %.

La cantidad de muestra de agregado grueso, después de secado, debe ser de acuerdo con lo establecido en la tabla 17.

**Tabla 17**

Cantidad mínima de muestra de agregado grueso

Tamaño Máximo Nominal Abertura Cuadrada		Cantidad mínima de muestra de ensayo
Mm	(pulg)	Kg
9.5	3/8	1
12.5	1/2	2
19.0	3/4	5
25.0	1	10
37.5	1 1/2	15
50.0	2	20
63.0	2 1/2	35
75.0	3	60
90.0	3 1/2	100
100.0	4	150
125.0	5	300

Nota. Fuente: (Manual de Carreteras MTC, 2013)

### Agregado fino

El análisis granulométrico de la fracción que pasa el tamiz de (N° 4), los materiales arenosos tienen terrones y se desintegran con facilidad, se prepara mediante cuarteo.

La cantidad de muestra de agregado fino, después de secado, debe ser de 300 g mínimo.

Cálculos de agregados

Se calcula el porcentaje retenido sobre cada tamiz en la siguiente forma:

$$\% \text{Retenido} = \frac{\text{Peso retenido en el tamiz}}{\text{Peso total}} \times 100$$

Se calcula el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 0,074 mm (Nº 200) de la siguiente forma:

$$\% \text{ Pasa } 0.074 = \frac{\text{Peso total} - \text{Peso retenido en el tamiz de } 0.074}{\text{Peso total}} \times 100$$

Se calcula el porcentaje más fino. Restando en forma acumulativa de 100 % los porcentajes retenidos sobre cada tamiz.

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido Acumulado}$$

### Figura 13

Secado y cuarteo del material este



*Nota.* Fuente: Elaboración propia. Se observa el secado de material de ½ y 3/8 que son materiales de la cantera de Morro Blanco, luego se hace el cuarteo del material

**Figura 14**

Análisis granulométrico de Agregado Pétreo grueso y Fino



*Nota.* Fuente: Elaboración propia. Se aprecia el proceso para obtener la curva granulométrica de la cantera de Morro Blanco y cantera de Cunyac

**Figura 15**

Análisis granulométrico de cal hidratada



*Nota.* Fuente: Elaboración propia. Se

hace el proceso de granulometría de la cal hidratada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) tiene un porcentaje útil entre 33 a 36% de color blanco, inodoro, retenido (M-40) entre 20 a 25%

## Gravedad Específica y Absorción (MTC E 205)

### Concepto

#### Agregado Fino (MTC E 205)

Este ensayo determina el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas de que los agregados se hayan sumergido en agua en este caso el agregado fino, se calcula principalmente para el volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contienen, concreto bituminoso, y otras mezclas que son proporcionadas y analizadas en base al volumen.

### Equipos y Materiales

Balanza, estufa, frasco volumétrico 500 m<sup>3</sup>, molde cónico, varilla para apisonado.

### Procedimiento

Introducir en el frasco una muestra de 500 g del material preparado llenando con agua el mismo hasta alcanzar 500 cm<sup>3</sup>, agitando el frasco para eliminar las burbujas del aire de manera manual o mecánica, después de determinar el peso total del frasco, espécimen y agua.

Remover el agregado fino y secar en la estufa hasta un peso constante

### Cálculos

Peso específico de masa (P<sub>em</sub>):

$$P_{em} = \frac{W_o}{(V - V_a)} \times 100$$

P<sub>em</sub> = Peso específico de masa

W<sub>o</sub> = Peso en el aire de la muestra secada en el horno, g;

V = Volumen del frasco en cm<sup>3</sup> V<sub>a</sub> = Peso en gramos o volumen en cm<sup>3</sup> de agua añadida al frasco.

Peso específico de masa saturado con superficie seca (P<sub>esss</sub>)

$$P_{esss} = \frac{500}{(V - V_a)} \times 100$$

Peso específico Aparente (P<sub>e a</sub>)

$$P_{e a} = \frac{W_o}{(V - V_a) - (500 - W_o)} \times 100$$

Absorción (A<sub>b</sub>)

$$A_b = \frac{500 - W_o}{(W_o)} \times 100$$

**Figura 16**

Se hace el proceso para peso específico



Nota. Fuente: Elaboración propia. Se hace el llenado del recipiente de 500 g, alcanzando la marca de 500 cm<sup>3</sup> agitando mecánicamente para que saque todas las burbujas que se tengan

**Figura 17**

Ensayos de absorción



Nota. Fuente: Elaboración propia. Se aprecia el ensayo de absorción con el cono

## **Agregado Grueso (MTC E 206)**

### **Concepto**

Se determinará peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción (después de 24 horas) del agregado grueso.

La muestra de agregado grueso se sumerge en agua por 24 hr para llenar los poros esencialmente. Luego se retira del agua, se seca el agua de la superficie de las partículas, y se pesa. La muestra se pesa posteriormente mientras es sumergida en agua. Finalmente, la muestra es secada al horno y se pesa una tercera vez

### **Equipos y Materiales**

Balanza, cesta de malla de alambre, tamices #4, horno

### **Procedimiento**

Se hace un tamizado en estado seco, luego este se pone en agua y sacarla de 24 hr, al sacarla del agua poner en un trapo que absorba hasta que desaparezca la superficie de agua que se tenga, teniendo la superficie interna saturada y la externa seca, en este estado se hace el pesado

Cálculos

### **Peso específico de masa (Pem)**

$$Pem = \frac{a}{(b-c)} \times 100$$

Donde:

a= Peso de la muestra seca en el aire, gramos;

b = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, gramos

c = Peso en el agua de la muestra saturada.

### **Peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS)**

$$Pess = \frac{b}{(b-c)} \times 100$$

### **Peso específico Aparente**

$$Pea = \frac{a}{(a-c)} \times 100$$

### **Absorción**

$$Ab (\%) = \frac{(b-a)}{a} \times 100$$

**Figura 18**

Determinación de peso específico



Nota. Fuente: Elaboración propia. Al dejar el agregado grueso remojando por 24 hrs se hace el secado superficial del agregado

### **Equivalente de arena MTC E 114**

#### **Concepto**

Este método indica la proporción de arcillosos o finos plásticos y polvo en suelos granulares y agregados finos que pasan el tamiz N°4, determinar cambios en la calidad de los agregados durante la producción o colocación en nuestro caso para la producción de las mezclas asfálticas

#### **Equipos y Materiales**

Cilindro graduado que sea transparente acrílico, tapón de jebes, tubo irrigador, horno agitador mecánico, lata de medición, tamiz # 4, embudo, botellas, la solución, la solución debe ser cloruro de calcio

#### **Procedimiento**

El volumen medido del agregado fino y una proporción de solución de cloruro de sodio, estas son vertidas en el cilindro de plástico en donde se agita para liberar las arcillas de las partículas de las arenas que se tengan el espécimen es irrigado usando la solución floculante forzando al material arcilloso a suspenderse arriba de la arena como tal, estas se dejan sedimentando, se lee la altura floculada y se determina la altura del recipiente.

Estas se toman dos medidas la altura de la arena sedimentada, y la altura total de la muestra solución.

### Cálculos

$$\text{Equivalente de arena} = \frac{\text{altura de arena sedimentada (mm)}}{\text{altura total de la mezcla (mm)}}$$

### Figura 19

Materiales para realizar en ensayo de equivalente de arena (mixto)



Nota. Fuente: Elaboración propia Se aprecian los materiales para el ensayo de Equivalente de Arena.

### Figura 20

Se hace el irrigado del ensayo de equivalente de la mezcla de arenas



Nota. Fuente: Elaboración propia. Se hace el irrigado y se observa la suspensión de la muestra usando la solución floculante.

### Figura 21

Se procede a medir la altura de la muestra



Nota. Fuente: Elaboración propia.

### **Abrasión los Ángeles (L.A.) al Desgaste de los Agregados de Tamaños Menores de 37,5 mm (1 ½") (MTC 207)**

#### **Concepto**

Este ensayo nos muestra la medida del desgaste que tiene el agregado mineral, el tambor rota con bolas de acero dependiendo del tamaño del agregado y así escoger una gradación

Este ciclo es repetido mientras el tambor gira con su contenido. Tras completar un número determinado de revoluciones, el material se extrae del tambor y se tamiza con el fin de cuantificar el grado de desgaste, expresado como porcentaje de pérdida.

#### **Equipos y Materiales**

Máquina de los ángeles, tamices, balanza, agregado según tamaño del agregado

#### **Procedimiento**

Primeramente, se lava y seca al horno las muestras dependiendo la gradación de la muestra

En el caso de la investigación se tiene la gradación “B” y “C” en donde se tiene material de ½”-3/8” y 3/8” a ¼” en donde se tendrá 5 kg según la tabla que se indica líneas abajo.

**Tabla 18**

Gradación de las muestras de ensayo

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

Nota. Fuente: (Manual de Carreteras MTC, 2013)

Se pone en la máquina de los ángeles con la cantidad de esferas que corresponden conforme a la norma, al terminar el tiempo se saca el material que se puso y se tamiza por la malla Nº12.

El material retenido es lavado, llevado al horno y pesado. Al final se pesa y se determina el desgaste.

### Cálculos

$$\text{Pérdida} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100\%$$

**Figura 22**

Se hace la clasificación del material, poner el material a la máquina de los ángeles



Nota. Fuente: Elaboración propia

**Figura 23**

Se pone la cantidad de esferas correspondientes y se hace el recojo del material para posterior pesado final.



Nota. Fuente: Elaboración propia. Se recoge las muestras luego del 500 rpm que dará la máquina de los ángeles y posterior a ello se tamiza por la malla N°12

## Partículas Chatas y Alargadas (MTC E 223)

### Concepto

Este método de prueba cubre la determinación de los porcentajes de partículas Este método de prueba cubre la determinación de los porcentajes de partículas planas, alargadas o alargadas y planas de agregado grueso.

### Equipos y Materiales

Aparato calibrador, tamices, balanza

### Procedimiento

Se hace el tamizado de la muestra, determinado por tamaños y seguidamente se hace uso del aparato calibrador viendo la relación en el mismo, se observa tres grupos: 1) Chatas, 2) Alargadas y 3) Ni chatas ni alargadas, finalmente se pesa cada una de estas, observando el porcentaje que ocupa dentro del peso total de la muestra.

### Cálculos

Se debe determinar el porcentaje de partículas chatas y alargadas con una aproximación del 1 % para cada fracción retenida en mallas superiores a 9,5 mm (3/8") o 4,75 mm (N°4), según corresponda.

En caso de que alguna fracción no sea evaluada por representar menos del 10 % del total de la muestra, se puede asumir que su porcentaje de partículas chatas y alargadas es igual al de la siguiente malla inferior o superior, o bien se puede utilizar el promedio entre ambas mallas, según lo más conveniente (Manual de ensayos de materiales).

### Figura 24

Se muestra la clasificación de los agregados para partículas chatas alargadas



*Nota.* Fuente: Elaboración propia. Se tiene el equipo calibrador.

Método De Ensayo Estándar para la Determinación Del Porcentaje de Partículas

### **Fracturadas en el Agregado Grueso (MTC E 210)**

#### **Concepto**

Este ensayo identifica las partículas con caras fracturadas que cumplen con los requisitos establecidos. Su propósito principal es mejorar la estabilidad en tratamientos superficiales y aumentar la fricción mediante la textura del agregado, especialmente en pavimentos con superficies granulares.

#### **Equipos y Materiales**

Balanza, tamices, espátula

#### **Procedimiento**

Primeramente, se selecciona la cantidad establecida de agregado grueso, para luego tamizar por las mallas indicadas hasta la malla N°4, seguidamente se cuantifica de acuerdo a las caras fracturadas 1 cara fracturada, 2 caras fracturadas, 3 o más caras fracturadas, según el tamiz retenido que se tenga, al final se anota el peso de cada uno de ellos, para conocer el porcentaje de cada uno de los tamices frente al total

#### **Cálculos**

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

P: Porcentaje de partículas que presentan al menos el número requerido de caras fracturadas.

F: Masa o cantidad de partículas que cumplen con el criterio de fractura especificado.

N: Masa o cantidad de partículas que no cumplen con dicho criterio o que no presentan fractura.

**Figura 25**

Se determina las caras fracturadas que se tengan en los agregados de  $\frac{1}{2}$ " ,  $\frac{3}{8}$ " y  $\frac{1}{4}$ "



*Nota.* Fuente: Elaboración propia. Las caras fracturadas que se tenga en los agregados según las mallas que se tenga.

## Ensayo de Azul de Metileno (AASTHO TP 57)

### Concepto

Este ensayo determina la cantidad de material potencialmente dañino como son la arcilla y material orgánico, de los agregados finos que se tenga para la mezcla asfáltica.

### Equipos y Materiales

Bureta, agitador magnético, balanza, varilla de vidrio, cronometro, platón y tamiz de malla (#200), matraz volumétrico, papel filtro, vasos precipitados de 500 ml tipo Griffin, agua destilada, horno T 110+-5 C.

### Procedimiento

Se hace un tamizado por la malla # 200 en este caso se hace una mezcla de todos los agregados finos que se tengan, de todos

Posteriormente, se llena la bureta con la solución de azul de metileno y se añade al material en incrementos de 0.5 ml cada minuto. La mezcla se agita constantemente hasta observar la formación de una aureola azul-turquesa sobre papel filtro, lo que indica la saturación. Se registra el volumen total utilizado al momento de evidenciar dicha aureola.

### Cálculos

$$V_a = \frac{5V}{10} = 0.5V$$

El  $V_a$  se calcula con aproximación al 0.1 mg/g

**Figura 26**

Se tiene todos los materiales que se usan para el azul metileno.



*Nota.* Fuente: Elaboración propia. Se tiene la varilla de vidrio en donde gotea el azul metileno al vaso precipitado.

**Figura 27**

Materiales que se usan para el azul metileno



*Nota.* Fuente: Elaboración propia. Se observa en la figura que se forma en el 5<sup>to</sup> min y seguidamente comprobamos después de 5 min en donde se corrobora la formación del halo turquesa.

### **Índice De Plasticidad (I.P.) (malla #200) (MTC E 111)**

#### **Concepto**

Este ensayo permite determinar el límite plástico de un suelo (en este caso agregado fino).

#### **Equipos y Materiales**

Espátula, recipientes, balanza, horno, cuchara de Casagrande.

#### **Procedimiento**

Primero, se tamiza el material que pasa la malla N°200 y se toma una muestra de al menos 30 gramos. Esta se mezcla con agua hasta lograr una consistencia que permita cerrar la ranura en la copa de Casagrande con un mínimo de 15 golpes. Se registran los golpes requeridos. Si no se alcanza este valor, se concluye que el material no presenta límite líquido ni índice de plasticidad.

### **Índice De Plasticidad (I.P.) (malla N°40)**

#### **Concepto**

Este ensayo permite determinar el límite plástico de un suelo (en este caso agregado fino)

#### **Equipos y Materiales**

Espátula, recipientes, balanza, horno, cuchara de Casagrande.

#### **Procedimiento**

Primero, se tamiza el material que pasa la malla N°40 y se toma al menos 30 g. La muestra se humedece hasta lograr una consistencia adecuada para cerrar la ranura en la copa de Casagrande con al menos 15 golpes. Si no se cumple este criterio, se considera que el material no tiene límite líquido ni índice de plasticidad.

**Figura 28**

Índice de plasticidad de la (malla # 40) y (malla N°200)



*Nota.* Fuente: Elaboración propia

## Ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio (MTC E 209)

### Concepto

Este ensayo se dio para determinar la resistencia de los agregados a la resistencia para que los agregados se desintegren por medio de una solución saturada de sulfato de sodio o sulfato de magnesio

Los agregados se desintegran por medio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, durante no menos de 16 h ni más de 18 h,

Se realizó 5 ciclos de inmersión. Tras eliminar la solución en el último ciclo, la muestra se seca en horno por 30 minutos y se pesa para comparar con el peso inicial.

### Equipos y Materiales

Tamices, envases, balanzas, horno de secado, sulfato de sodio o sulfato de magnesio,

### Procedimiento

Para agregado grueso (material retenido en el tamiz #4), la muestra debe contener al menos un 5% de cada tamaño nominal según la norma.

**Tabla19**

Pesos de agregado grueso para ensayo de durabilidad

Tamaño (tamices normalizado de abertura cuadrada)	Peso en g
<b>Consistiendo de:</b>	
9,5 mm (3/8") a 4,75 mm (Nº 4)	300 ± 5
19,0 mm (3/4") a 9,5 mm (3/8")	1 000 ±10
<b>Consistiendo de:</b>	
Material de 12,5 mm (1/2") a 9,5 mm (3/8")	300 ± 5
Material de 19,0 mm (3/4") a 12,5 mm (1/2")	670 ±10
37,5 mm (1 ½") a 19,0 mm (3/4")	1 500 ± 50
<b>Consistiendo de:</b>	
Material de 25,0 mm (1") a 19,0 mm (3/4")	500 ± 30
Material de 37,5 mm (1 ½") a 25,0 mm (1")	1 000 ± 50
63,0 mm (2 ½") a 37,5 mm (1 ½")	5 000 ± 300
<b>Consistiendo de:</b>	
Material de 50,0 mm (2") a 37,5 mm (1 ½")	2 000 ± 200
Material de 63,0 mm (2 ½") a 50,0 mm (2")	3 000 ± 300
Para Tamaños mayores se aumentará el tamaño del tamiz en Incrementos de 25,0 mm (1") para cada fracción.	7 000 ± 1 000

Nota. Fuente: (Manual de Carreteras MTC, 2013)

**Cálculos**

Después de completar el ciclo final y enfriado la muestra a temperatura ambiente se lava cada fracción por separado para eliminar el sulfato de sodio o sulfato de magnesio. Los lavados finales se realizarán con agua destilada, y se verificará la ausencia de sales mediante la reacción con cloruro de bario ( $BaCl_2$ ).

Figura 29

Ensayo de durabilidad de agregado grueso



Nota. Fuente: Elaboración propia. El agregado grueso se pone a remojar durante 18 a 24hrs.

Figura 30

Se hace el mismo proceso por 5 ciclos

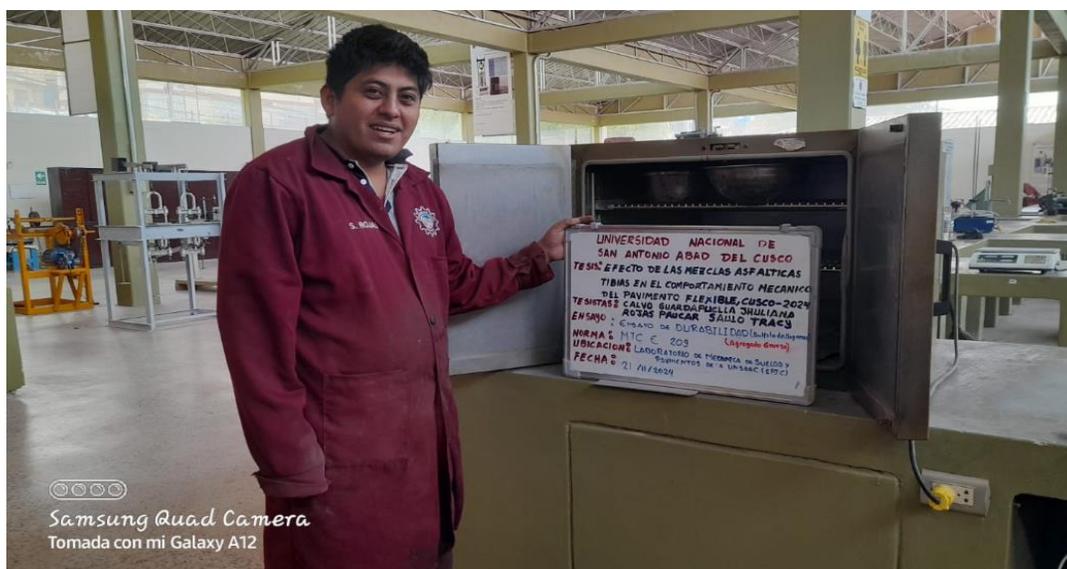


Figura 31

Ensayo de durabilidad de agregado fino



*Nota.* Fuente: Elaboración propia. El agregado fino se pone a remojar durante 18 a 24 hrs.

Figura 32

Ensayo de durabilidad de agregado fino 3/8-N°4-N°8-N°16-N°30-N°50



*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

## Índice de durabilidad (MTC E 214)

### Concepto

Este ensayo determina el índice de durabilidad, calculando la resistencia relativa del agregado para producir partículas dañinas que serían las arcillas, y así ponerlos en

degradación mecánica, este parámetro es importante debido a que se prohíbe en la construcción.

Este ensayo permite una evaluación rápida de la calidad del agregado, especialmente útil para identificar materiales susceptibles a degradación y formación de finos con características arcillosas.

### **Equipos y Materiales**

Vaso mecánico de lavado, recipiente colector, agitador, equipos del equivalente de arena, tamices, balanza

### **Procedimiento**

El material se tamiza según su gradación y se coloca en un recipiente con 7 ml de solución de cloruro de calcio. Luego se añade agua destilada hasta cubrirlo y se agita durante 10 minutos (600 revoluciones). Finalizado el proceso, se lava el material a través de la malla #200 en 13 ciclos, recolectando el material fino, el cual se transfiere a probetas para ser agitado durante 40 segundos antes del análisis.

### **Cálculos**

$$D_c = 30.3 + 28.8 \cot(0.29 + 0.15H)$$

Dónde:

$D_c$  = Índice de durabilidad

H = Altura de sedimentación en mm

### **Sales Solubles Totales (MTC E 219)**

#### **Concepto**

En este ensayo se determina el contenido de sulfatos y cloruros, así como sales solubles de agregados empleados en este caso para mezclas asfálticas

#### **Equipos y Materiales**

Balanza, estufa, mechero, matraz, mechero, matraz, pipeta, vasos precipitados, tubos de ensayo.

Agua destilada, Solución de Nitrato de Plata, Solución de Cloruro de Bario

#### **Procedimiento**

Se coloca la muestra en un vaso precipitado y se cubre con agua destilada, llevándola a ebullición. Se agita durante 1 minuto y se repite el proceso por 10 minutos. Luego, se deja decantar por otros 10 minutos hasta obtener un líquido claro. Este ciclo se repite

hasta que no se detecten sales, recolectando los líquidos sobrenadantes. El líquido final se enfría, se transfiere a un matraz y se completa con agua destilada. Se toma una alícuota (50–100 ml), se evapora en horno hasta masa constante, y se registra el peso resultante.

### **Angularidad del agregado fino (MTC E 222)**

#### **Concepto**

Este ensayo se determina principalmente para cálculos de vacíos de aire y la forma de angularidad de los agregados finos la cual es importante en el ensayo de desempeño que es el ahuellamiento

Determina este parámetro presente en las partículas menores de 2,36 mm (pasante malla N° 8), levemente compactados

#### **Equipos y Materiales**

Tamices, cilindro metálico de volumen, embudo metálico, marco metálico,

#### **Procedimiento**

Primero se tamiza el material que pasa por la malla N°8 y que está retenido en la malla N°20 seguidamente se pesa el cilindro de volumen conocido que será llenado del material para después verter el material tamizado en un recipiente diferente, y luego por medio de un embudo llenar el cilindro de volumen conocido hasta que rebose al Final se enrasa el material excedente y se pesa el cilindro de volumen conocido para determinar los valores establecidos.

#### **Cálculos**

$$A^{\circ} = \frac{V - \frac{W}{Gsb}}{V} \times 100$$

A° = Angularidad de agregado fino

w= Peso de agregado fino

Gsb = Gravedad específica del agregado fino

### **3.8.3. Ensayos al ligante asfáltico**

El ensayo ligante describe todas las características para el ligante o bitumen estos requerimientos están dentro del Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas para la Construcción EG 2013.

## Penetración de materiales bituminosos (MTC E 304)

### Concepto

Es el procedimiento que se hace para determinar la penetración de los materiales ligantes que pueden ser sólidos y semisólidos.

El equipo y método de este ensayo permiten determinar penetraciones de hasta 500, siendo esta una medida de la consistencia del asfalto. A mayor valor de penetración, menor rigidez o mayor suavidad del material.

### Equipos y Materiales

Aparato de penetración, Aguja de penetración, recipiente de prueba, baño maría

### Procedimiento

Se pesan entre 400 y 500 gramos de asfalto PEN 120-150 y se calientan con cuidado hasta lograr una consistencia fluida. Luego se vierte en los moldes y se deja secar por 20 a 30 minutos. La muestra se coloca en un baño maría a 25 °C por 85 minutos, y posteriormente se sumerge en agua temperada a la misma temperatura, donde se realiza la penetración con la aguja.

### Figura 33

Ensayo de penetración del ligante



*Nota.* Fuente: Elaboración propia. Penetración del ligante asfáltico PEN 120/150 y POLIMERO SBS.

### **3.8.4. Ensayo para determinación de parámetros volumétricos**

#### **Contenido óptimo de asfalto -MARSHALL**

##### **Concepto**

Para el diseño de las mezclas asfálticas mediante el método Marshall, se utilizó un número de 75 golpes por cara durante la compactación de los especímenes. Este valor fue seleccionado en función del nivel de tránsito estimado para el tramo de estudio, basado en un ESSAL de  $3.75 \times 10^5$ , correspondiente a la vía PE-28 – Chinchero, lo cual clasifica el proyecto dentro de un nivel de tránsito medio-alto.

Esta condición también influyó en la elección del tipo de asfalto, optando por un cemento asfáltico PEN 120/150 modificado con polímero SBS, conforme a la tabla de selección establecida en el Manual EG-2013, que recomienda este ligante para condiciones similares de tránsito.

En esta investigación, el contenido óptimo de asfalto se determina mediante el método Marshall, utilizando un intervalo de variación del 0.5%. Los especímenes compactados con este método se emplean para la realización de diversos ensayos físicos o parámetros volumétricos, tales como estabilidad, flujo, resistencia a tracción indirecta y módulos.

La estabilidad y el flujo Marshall evalúan la resistencia y deformación de mezclas asfálticas a partir de especímenes compactados. La estabilidad mide la carga máxima antes de deformarse, y el flujo, la deformación sufrida. Si el flujo supera el límite superior, la mezcla es plástica o inestable; si está por debajo, es demasiado rígida (Manual de Ensayo de Materiales)

##### **Equipos y Materiales**

Molde ensamblado para Especímenes, moldes cilíndricos, placas de base y collarines, extractor de especímenes (gata hidráulica), martillo de compactación, martillo de compactación, pedestal de compactación, hornos, termómetro, elementos para mezclado, balanzas, guantes, cucharón, vernier

##### **Equipos para el ensayo de estabilidad y flujo**

Cabezal de ruptura, máquina de compresión, diales de lectura, baños maría, termómetro, balanza hidrométrica

##### **Procedimiento**

Se hace un calentado de los agregados y ligante según su carta de viscosidad en esta carta se tiene temperatura de compactación y mezclado, al alcanzar la temperatura requerida en dicha carta se procede al mezclado y compactado, luego de 24 hrs de compactado se realiza la extracción del molde en la gata hidráulica, seguidamente se procede a observar sus propiedades como son su peso seco, peso saturado, peso sumergido, y observar sus dimensiones de altura, diámetro, luego poner en baño maría por 30 min aproximadamente antes de la ruptura en la prensa de Marshall en donde veremos los parámetros de estabilidad y flujo.

### Cálculos

$$A=B \times C$$

A = Estabilidad corregida.

B = Medida de la estabilidad (carga).

C = Razón de correlación de la tabla 20

### Tabla 20

Parámetros de correlación en la Estabilidad Marshall

Volumen del espécimen, cm <sup>3</sup>	Espesor del espécimen		Razón de la correlación
	mm	pulg	
200-213	25.4	1,00 (1)	5.566
214-225	27	1,06 (1 1/16)	5
226-237	28.6	1,12 (1 1/8)	4.55
238-250	30.2	1.19(1 3/16)	4.17
251 - 264	31.8	1,25 (1 1/4)	3.85
265 - 276	33.3	1,31 (1 5/16)	3.57
277 - 289	34.9	1,38 (1 3/8)	3.33
290 - 301	36.5	1,44 (1 7/15)	3.03
302 - 316	38.1	1,50 (1 1/2)	2.78
317 - 328	39.7	1,56 (1 9/16)	2.5

329 - 340	41.3	1,62 (1 5/8)	2.27
341 - 353	42.9	1,69 (1 11/16)	2.08
354 - 367	44.4	1,75 (1 3/4)	1.92
368 - 379	46	1,81 (1 13/16)	1.79
380 - 392	47.6	1,88 (1 7/8)	1.67
393 - 405	49.2	1,94 (1 15/16)	1.56
406 - 420	50.8	2,00 (2)	1.47
421 - 431	52.4	2,06 (2 1/16)	1.39
432 - 443	54	2,12 (2 1/8)	1.32
444-456	55.6	2,19 (2 3/16)	1.25
457 - 469	57.2	2,25 (2 1/4)	1.19
471 - 482	58.7	2,31 (2 5/16)	1.14
483 -495	60.3	2,38 (2 3/8)	1.09
496 - 508	61.9	2,44 (2 7/16)	1.04
509 - 522	63.5	2,50 (2 1/2)	1
523 - 535	65.1	2,56 (2 9/16)	0.96
536 - 546	66.7	2,62 (2 5/8)	0.93
547 - 559	68.3	2,60 (2 11/16)	0.89
560 - 573	69.8	2,75 (2 3/4)	0.86
574 -585	71.4	2,81 (2 13/16)	0.83
586-598	73	2,88 (2 7/8)	0.81
599-610	74.6	2,94 (2 15/16)	0.78
611-626	76.2	3,00 (3)	0.76

---

**Figura 34**

Calentamiento y mezclado de los agregados con el ligante y filler



*Nota.* Fuente: Elaboración propia. Se hace el calentamiento del agregado, y mezclado con ligante siempre teniendo en cuenta la temperatura de la carta de viscosidad.

**Figura 35**

Se hace el compactado y desmoldeo



*Nota.* Fuente: Elaboración propia. Se hace el moldeo y desmoldeo de los especímenes con la gata hidráulica después de 24 hrs.

**Figura 36**

Se determina el peso sumergido peso seco, peso saturado



*Nota.* Fuente: Elaboración propia. Se observa los tres estados en que esta los especímenes, para así determinar la cantidad de vacíos.

**Figura 37**

Se observa el proceso Baño María para rotura de los Especímenes



*Nota.* Fuente: Elaboración propia. Se aprecia que las muestras se ingresaran al baño maría por 30 min a una temperatura de 60 C° y seguidamente la ruptura de los especímenes.

Figura 38

Rotura de los especímenes



*Nota.* Fuente: Elaboración propia. Rotura de los especímenes

### 3.8.5 Ensayo de Máxima Densidad Rice-Teórica (ASTM D 2041)

#### Concepto

Este método cubre la determinación de la gravedad específica teórica máxima y densidad de la mezcla bituminosa que no se compactadas a una  $T=25^{\circ}\text{C}$ .

Una muestra pesada de mezcla de pavimentación secada al horno en la condición suelta es colocada en un vaso de vacío calibrada tarada. Se agrega agua a la temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$  sumergiendo completamente la muestra. Al final del periodo de vacío, el vacío es gradualmente retirado. El volumen de la muestra de mezcla de pavimentación se obtiene por inmersión del contenedor de vacío con la muestra en un baño de agua y pesando o llenado completamente el nivel del contenedor de vacío de agua y pesado al aire. La temperatura y la masa son medidas a su vez. A partir de esta masa y volumen medidos, la gravedad específica o densidad a  $25^{\circ}\text{C}$ .

#### Equipos y Materiales

Tazones vacíos, frasco de vacíos, balanza, bomba de vacíos, manómetro de presión residual, termómetro, baño de agua, válvula de sangrado, horno.

#### Procedimiento

Preparar la mezcla como se hizo el proceso de la compactación de Marshall, pero en este caso no compactar secar a temperatura ambiente hasta llegar a la temperatura de 25 °C, Coloque la muestra directamente dentro de tazón tarado o frasco volumétrico. Agregue suficiente agua a una temperatura de aproximadamente 25 °C. Coloque el contenedor con la muestra y agua en un aparato de agitación mecánica y asegure ésta a la superficie del aparato. Inicie el agitado e inmediatamente empiece a eliminar el aire atrapado incrementando progresivamente el vacío hasta alcanzar una presión residual de  $3.7 \pm 0.3$  kPa en el manómetro.

Gradualmente retire la presión de vacío usando la válvula de sangrado, observando pesado en aire(tazón) y pesado en aire(frasco)

### **Cálculos**

Gravedad específica máxima de la mezcla

$$G_m = \frac{A}{A - (C - B)}$$

G<sub>mm</sub>: Gravedad específica máxima teórica de la mezcla

A: Masa de la muestra seca en el aire (g)

B: Masa del picnómetro lleno solo con agua (g)

C: Masa del picnómetro con agua y la muestra (g).

Porcentaje de Vacíos

$$VTM = \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}}\right) \times 100$$

G<sub>mb</sub> = Gravedad específica máxima bulk de la mezcla

G<sub>mm</sub> = Gravedad específica máxima de la mezcla

**Figura 39**

Ensayo de Rice



*Nota.* Fuente: Elaboración propia. Se realizó el ensayo de rice para la mezcla asfáltica convencional y para la mezcla asfáltica modificada.

### 3.8.6 Ensayo de desempeño – LOTTMAN MODIFICADO (AASHTO T-283)

#### Concepto

Según la (AASHTO, 2011) indica que este tipo de falla conocido por daño por humedad se define mediante el deterioro de la capacidad estructural de la mezcla asfáltica, causada por la presencia de agua en distintos estados como son el líquido y el gaseoso en su interior.

#### Equipo y materiales

Equipo de compactación Marshall, Bomba de vacíos, contenedor Tipo F, baño maría, congeladora, horno, probeta graduada 10 ml, recipientes.

#### Procedimientos

Se tiene dos ciclos, ciclo de congelamiento y ciclo del descongelamiento, primero se satura en agua a  $T=25^{\circ}\text{C}$  por dos horas después se saca al aire libre y después dejar por 24 hrs en baño maría a  $60^{\circ}\text{C}$  finalmente hacer el esfuerzo de compresión máxima.

#### Cálculos

Cantidad de vacíos.

$$V_a = \frac{P_a * E}{100}$$

$V_a$  = Volumen de vacíos de aire, cm<sup>3</sup>

$P_a$  = Vacíos de aire en porcentaje

$E$  = Volumen del espécimen en cm<sup>3</sup>

Volumen absorbido

$J'$ : Volumen de agua absorbida (cm<sup>3</sup>)

$B'$ : Masa del espécimen saturado con superficie seca después del vacío (g)

$A'$ : Masa del espécimen completamente seco (g)

$$S' = \frac{100 * J'}{V_a}$$

$S'$  = Grado de saturación en porcentaje.

- Si el grado de saturación está entre 70 y 80 por ciento.

- Si el grado de saturación es menor a 70% repetir el procedimiento.

#### Figura 40

Proceso de TSR



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Congelamiento y descongelamiento y extracción de vacíos

**Figura 41**

Rotura de briquetas



*Nota.* Fuente: Elaboración propia

### 3.8.7 Ensayo de desempeño-Ensayo de Rueda de Hamburgo (AASHTO T-324)

#### Concepto

Este método evalúa la resistencia de mezclas asfálticas en caliente frente a la deformación permanente y al daño por humedad, mediante especímenes sumergidos sometidos a una rueda oscilante en el equipo Rueda de Hamburgo.

#### Equipo y materiales

Máquina de rueda cargada de Hamburgo, control de sistema de temperatura, sistema de medición de rodera, sistema de montaje del espécimen de losa

#### Procedimientos

Realizar los especímenes para poner en la máquina, junto con el mortero(diablo) que permitirá que no se muevan nuestras muestras y permitan que sea un sistema estable

Encender la máquina de rueda de Hamburgo, introducir la información, seleccionar la temperatura del baño maría, iniciar el ensayo hasta que de la cantidad de pasadas seleccionadas según norma.

#### Cálculos

El procedimiento puede realizarse utilizando distintas configuraciones de muestra, dependiendo del tipo de rueda empleada. Se puede trabajar con dos losas de dimensiones aproximadas de 320 mm de largo por 260 mm de ancho, o con cuerpos cilíndricos de 250 a 300 mm de diámetro, uno por cada rueda de ensayo. Alternativamente, se puede utilizar un conjunto de cuatro cilindros de 150 mm de diámetro, agrupados en pares, asignando cada par a una rueda distinta

Determinar la profundidad máxima de rodera como la deformación máxima obtenida al número de pasadas especificadas en el ensayo.

### Figura 42

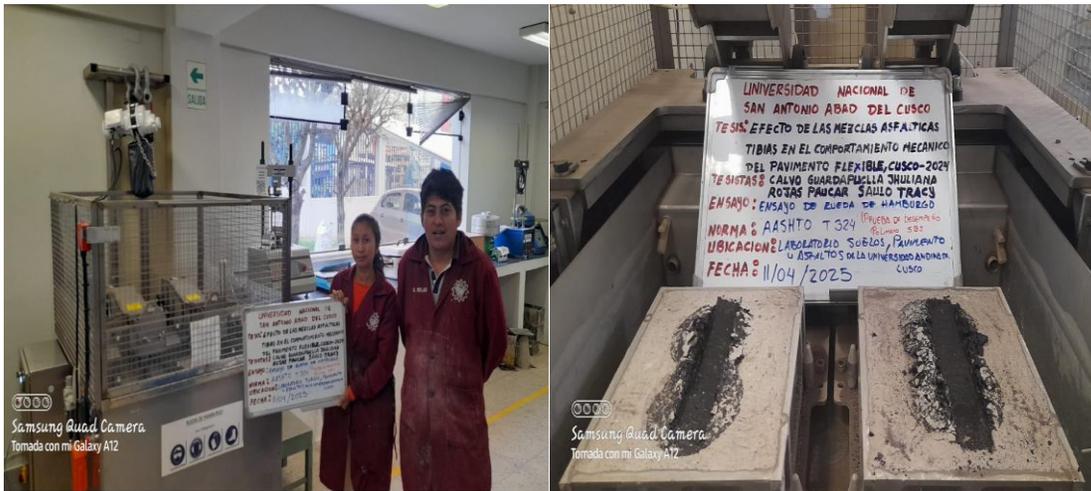
Especímenes para rueda de Hamburgo



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia. Se ve la distribución uniforme que se dio en el compactado de nuestros especímenes en donde se llegó la cantidad de vacíos que según la norma AASTHO T 324 se llegó entre  $7\pm 1$  de vacíos, también se ordenó las briquetas para la rotura en la máquina de rueda de Hamburgo

**Figura 43**

Rotura de Muestras de la rueda de Hamburgo



Nota. Fuente: Elaboración Propia. Se observa la rotura de los especímenes después de las pasadas reglamentarias, llegando aun ahuellamiento para nuestra investigación.

### Capítulo IV: Ensayos y Recolección de Datos

#### 4.1. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

##### 4.1.1. Fichas y formatos

**Figura 44**

Formato de análisis granulométricos ya sea de agregado

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS					
MTC E 204			REF. NTP 400.012		
TESIS:					
TESISTAS:					
CANTERA:					
NUMERO DE ENSAYO:			FECHA:		
TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO :					
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:					
RESO DEL MATERIAL:					
TABLA DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO					
Tamiz	Abertura (mm)	Masa retenida en cada tamiz (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
3/4"	19.000				
1/2"	12.500				
3/8"	9.500				
1/4"	6.360				
N°4	4.750				
N°08	2.360				
N°16	1.180				
N°30	0.600				
N°50	0.300				
N°100	0.150				
N°200	0.075				
Fondo					
Total					

Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 45

## Abrasión de los Ángeles y Gravedad Específica

ABRASION LOS ANGELES (L.A.) AL DESGASTE DE LOS GREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37,5 mm (1 1/2")						GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGREGADOS FINOS	
MTC E 207 - REF. NTP 400.019						MTC E 205 - REF. NTP 400.022	
TESIS:						TESIS:	
TESISTAS:						TESISTAS:	
CANTERA:						CANTERA:	
NUMERO DE ENSAYO:			FECHA:			FECHA:	
GRADACION "A" "B" "C" "D"						AGREGADO FINO	
CARGA ABRASIVA (N° de esferas de acero)						IDENTIFICACION	
GRANULOMETRIA DE LA MUESTRA DE AGREGADO PARA ENSAYO						A Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en Aire)	
Tamiz (pasa)	Tamiz (retiene)	"A" (gr)	"B" (gr)	"C" (gr)	"D" (gr)	B Peso Frasco + H2O	
1 1/2"	1"					C Peso Frasco + H2O + A	
1"	3/4"					D peso Mat. + H2O en el Frasco	
3/4"	1/2"					E Vol. Masa + Vol. Vacíos = C - D	
1/2"	3/8"					F Peso del Mat. Seco en Estufa (105°)	
3/8"	1/4"					G Vol. de Masa = E - (A-F)	
1/4"	N°4					PROMEDIO	
N°4	N°8					Pe Bulk (Base seca) = F/E	
TOTALES						Pe Bulk (Base Saturada) = A/E	
DESGASTE A LA ABRASION						Pe aparente (Base seca) = F/G	
ID	DESCRIPCION	UND	1				
A	Peso muestra total	gr					
B	Peso retenido en tamiz N°12	gr					
D	Desgaste a la abrasion Los Angeles	%					
	$D = (A-B) * 100 / A$						
						$\% \text{ Absorción} = ((A-F) / F) * 100$	

Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 46

## Gravedad específica y Partículas fracturadas

PARTICULAS FRACTURADAS							GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGREGADOS GRUESOS	
MTC E 210 - REF. ASTM D 5821							MTC E 206 - REF. NTP 400.021	
TESIS:							TESIS:	
TESISTAS:							TESISTAS:	
CANTERA:							CANTERA:	
FECHA:							FECHA:	
DESCRIPCION							AGREGADO GRUESO	
1 1/2" 1" 3/4" 1/2" 3/8" 1/4"							IDENTIFICACION	
MUESTRA TAMIZ							A Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en Aire)	
PESO UNA CARA FRACTURADA							B Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en Agua)	
DOS CARAS FRACTURADAS							C Vol. de Masas + Vol. de Vacíos = A-B	
UNA CARA FRACTURADA PESO							D Peso Mat. Seco en estufa (105°)	
DOS CARAS FRACTURADAS PESO							E Vol. de Masa = C - (A-D)	
TOTAL PESO retenido grs.							PROMEDIO	
%							Pe Bulk (Base seca) = D/C	
TOTAL PESO retenido grs.							Pe Bulk (Base Saturada) = A/C	
RESULTADOS CON POR LO MENOS UNA CARA FRACTURADA							Pe aparente (Base seca) = D/E	
RESULTADOS CON POR LO MENOS DOS CARAS FRACTURADA							$\% \text{ Absorción} = ((A-D) / D) * 100$	

Nota. Fuente: Elaboración propia

**Figura 47**

**Ensayos de partículas chatas y alargadas, durabilidad al sulfato de magnesio**

CHATAS Y ALARGADAS EN LOS AGREGADOS							
MTC E 223 - REF. ASTM D 4791							
TESIS:							
TESISTAS:							
CANTERA:				FECHA:			
Tamaño del Agregado	Peso (gr)	Chatas	Alargadas	Chatas y Alargadas			
Pasa Tamiz	Retenido T.	partículas	peso	partículas	peso	partículas	peso
1"	3/4"						
3/4"	1/2"						
1/2"	3/8"						
3/8"	1/4"						
Total:							
%							
PORCENTAJE DE CHATAS Y ALARGADAS =							

ENSAYO DE DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO							
MTC E 209 - REF. NTP 400.016							
TESIS:							
TESISTAS:							
CANTERA:				FECHA:			
AGREGADO GRUESO							
TAMAÑO	RETENE	RECIPIENTE	PESO INICIAL	PESO FINAL	PERDIDA	PERDIDA CORREGIDA	
Pasa	Retiene	N°	A (gr)	B (gr)	PESO C=(A-B)	%D=(C/A)*100	
3/4"	1/2"						
1/2"	3/8"						
3/8"	N° 4						
TOTALES							
AGREGADO FINO							
TAMAÑO	RETENE	RECIPIENTE	PESO INICIAL	PESO FINAL	PERDIDA	PERDIDA CORREGIDA	
Pasa	Retiene	N°	A (gr)	B (gr)	PESO C=(A-B)	%D=(C/A)*100	
1/4"	N° 4						
N° 4	N° 8						
N° 8	N° 16						
N° 16	N° 30						
N° 30	N° 50						
N° 50	N° 100						
TOTALES							

Nota. Fuente: Elaboración propia

**Figura 48**

**Equivalente de Arena, Índice de Plasticidad**

EQUIVALENTE DE ARENA				
MTC E 114 - REF. ASTM D 2419				
TESIS:				
TESISTAS:				
CANTERA:			FECHA:	
N° DE ENSAYOS	1	2	3	PROMEDIO
Tamaño máximo (pasa malla N° 4)				
Hora de entrada a saturación				
Hora de salida de saturación (mas 10")				
Hora de entrada a decantación				
Hora de salida de decantación (mas 20")				
Altura máxima de material fino				
Altura máxima de la arena				
Equivalente de Arena (%)				
RESULTADO FINAL (%)				

INDICE DE PLASTICIDAD					
MTC E 111 - REF. NTP 339.129					
TESIS:					
TESISTAS:					
CANTERA:			FECHA:		
DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO NTP 339.129 (98)			LIMITE PLASTICO NPT 339.129 (98)	
ENSAYO No	1	2	3	1	2
CAPSULA No					
PESO DE CAPSULA + SUELO HUMEDO gr.					
PESO DE CAPSULA + SUELO SECO gr.					
PESO AGUA gr.					
PESO DE LA CAPSULA gr.					
PESO SUELO SECO gr.					
CONTENIDO DE HUMEDAD. %					
NUMERO DE GOLPES					

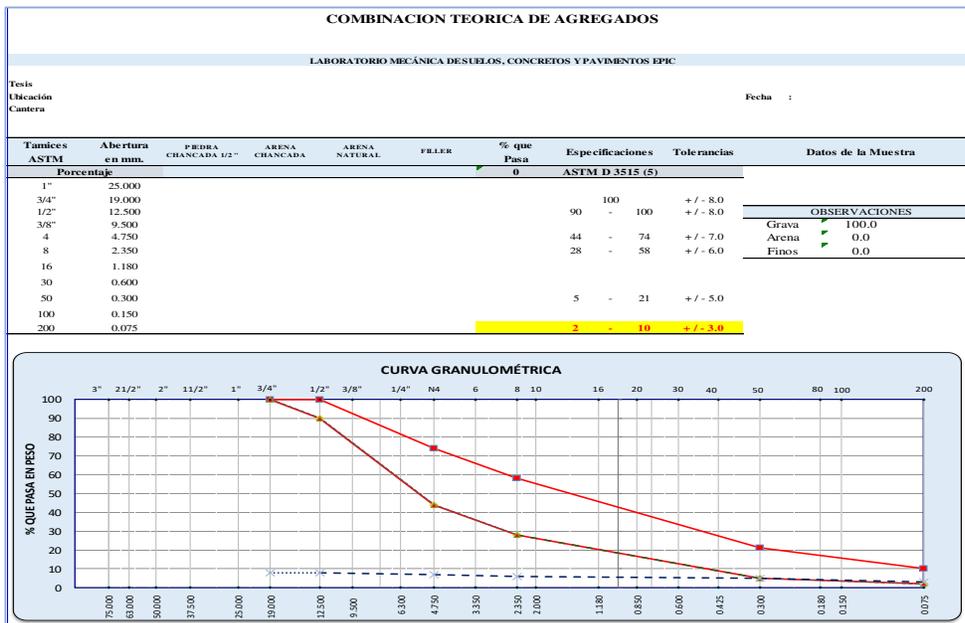
  

**DIAGRAMA DE FLUIDEZ**

RESULTADOS DE ENSAYOS	
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (%)	
LIMITE LIQUIDO (%)	
LIMITE PLASTICO (%)	
INDICE PLASTICIDAD (%)	

Nota. Fuente: Elaboración propia

**Figura 49**  
Combinación de agregados y curva granulométrica



Nota. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 50**  
Formato para Diseño de mezclas asfálticas

**INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)**

TAMICES ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200
% PASA MATERIAL										
Especificaciones										
AGREGADO GRUESO										
AGREGADO FINO										
PORCENTAJE DE FILLER										
TAMAJO MAXIMO DEL AGREGADO										
BRQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.			
1	% C.A. en peso de la Mezcla									
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla									
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla									
4	% DE FILLER (MÍNIMO 6% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA									
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc									
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc									
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc									
8	Peso Especifico del Filler (Aparente) gr/cc									
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc									
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc									
11	Altura promedio de la briqueta mm									
12	Diámetro promedio de la briqueta mm									
13	Volumen de la briqueta cm <sup>3</sup>									
14	Peso de la briqueta al aire (gr)									
15	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)									
16	Peso de la briqueta desplazada (gr)									
17	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (15-16)									
18	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (14/17)									
19	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)									
20	% de Vacios = (19-18)x100/19 (ASTM D 3083)									3-5
21	Peso Especifico Bulk Agregado Total									
22	Peso Especifico Efectivo Agregado total									
23	Asfalto Absorbido por el Agregado									
24	% de Asfalto Efectivo									
25	Relacion PAVO/Asfalto									0.6-1.3
26	VIAJA									14
27	% Vacios llenos con C.A.									
28	Flujo 0.01'(0.25 mm)									8-14
29	Estabilidad sin corregir (Kg)									
30	Factor de estabilidad									
31	Estabilidad Corregida 29 * 30									MIN 815
32	Estabilidad / Flujo									1700-4000

Nota. Fuente: Elaboración propia

**Figura 51**

Formato para densidad teórica de rice, formato para parámetros volumétricos de Marshall

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA		DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA	
Tema: _____ REALIZADO POR: _____ Tabularia: _____ FECHA DE ENSAYO: _____ Ubicación: _____		Tema: _____ REALIZADO POR: _____ Tabularia: _____ FECHA DE ENSAYO: _____ Ubicación: _____	
Tipo de muestra: _____ Identificación: _____ Descripción: _____		Tipo de muestra: _____ Identificación: _____ Descripción: _____	
INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)		DETERMINACIÓN DEL ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO CURVAS DE ENERGÍA DE COMPACTACIÓN CONSTANTES	
MUESTRA N°: _____		MUESTRA N°: _____	
1. PESO DEL FRASCO _____ 2. PESO DEL FRASCO + AGUA + VIDRIO _____ 3. DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05) _____ 4. PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA _____ 5. PESO NETO DE LA MUESTRA _____ 6. AGUA DESPLAZADA (23) - (24) _____ PESO ESPECÍFICO MÍNIMO DE LA MUESTRA (23) / (4) _____ CONTENIDO % C.A. _____		1. PESO ASFALTO _____ 2. PESO AGUA + AGUA + VIDRIO _____ 3. PESO ASFALTO _____ 4. PESO ASFALTO _____ 5. PESO ASFALTO _____ 6. PESO ASFALTO _____ 7. PESO ASFALTO _____ 8. PESO ASFALTO _____ 9. PESO ASFALTO _____ 10. PESO ASFALTO _____ 11. PESO ASFALTO _____ 12. PESO ASFALTO _____ 13. PESO ASFALTO _____ 14. PESO ASFALTO _____ 15. PESO ASFALTO _____ 16. PESO ASFALTO _____ 17. PESO ASFALTO _____ 18. PESO ASFALTO _____ 19. PESO ASFALTO _____ 20. PESO ASFALTO _____ 21. PESO ASFALTO _____ 22. PESO ASFALTO _____ 23. PESO ASFALTO _____ 24. PESO ASFALTO _____ 25. PESO ASFALTO _____ 26. PESO ASFALTO _____ 27. PESO ASFALTO _____ 28. PESO ASFALTO _____ 29. PESO ASFALTO _____ 30. PESO ASFALTO _____ 31. PESO ASFALTO _____ 32. PESO ASFALTO _____ 33. PESO ASFALTO _____ 34. PESO ASFALTO _____ 35. PESO ASFALTO _____ 36. PESO ASFALTO _____ 37. PESO ASFALTO _____ 38. PESO ASFALTO _____ 39. PESO ASFALTO _____ 40. PESO ASFALTO _____ 41. PESO ASFALTO _____ 42. PESO ASFALTO _____ 43. PESO ASFALTO _____ 44. PESO ASFALTO _____ 45. PESO ASFALTO _____ 46. PESO ASFALTO _____ 47. PESO ASFALTO _____ 48. PESO ASFALTO _____ 49. PESO ASFALTO _____ 50. PESO ASFALTO _____ 51. PESO ASFALTO _____ 52. PESO ASFALTO _____ 53. PESO ASFALTO _____ 54. PESO ASFALTO _____ 55. PESO ASFALTO _____ 56. PESO ASFALTO _____ 57. PESO ASFALTO _____ 58. PESO ASFALTO _____ 59. PESO ASFALTO _____ 60. PESO ASFALTO _____ 61. PESO ASFALTO _____ 62. PESO ASFALTO _____ 63. PESO ASFALTO _____ 64. PESO ASFALTO _____ 65. PESO ASFALTO _____ 66. PESO ASFALTO _____ 67. PESO ASFALTO _____ 68. PESO ASFALTO _____ 69. PESO ASFALTO _____ 70. PESO ASFALTO _____ 71. PESO ASFALTO _____ 72. PESO ASFALTO _____ 73. PESO ASFALTO _____ 74. PESO ASFALTO _____ 75. PESO ASFALTO _____ 76. PESO ASFALTO _____ 77. PESO ASFALTO _____ 78. PESO ASFALTO _____ 79. PESO ASFALTO _____ 80. PESO ASFALTO _____ 81. PESO ASFALTO _____ 82. PESO ASFALTO _____ 83. PESO ASFALTO _____ 84. PESO ASFALTO _____ 85. PESO ASFALTO _____ 86. PESO ASFALTO _____ 87. PESO ASFALTO _____ 88. PESO ASFALTO _____ 89. PESO ASFALTO _____ 90. PESO ASFALTO _____ 91. PESO ASFALTO _____ 92. PESO ASFALTO _____ 93. PESO ASFALTO _____ 94. PESO ASFALTO _____ 95. PESO ASFALTO _____ 96. PESO ASFALTO _____ 97. PESO ASFALTO _____ 98. PESO ASFALTO _____ 99. PESO ASFALTO _____ 100. PESO ASFALTO _____	
GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA 		CARACTERÍSTICAS MARSHALL CURVA DE ENERGÍA DE COMPACTACIÓN CONSTANTES 	

Nota. Fuente: Elaboración propia

**Figura 52**

Formatos para ensayos de tracción indirectas (TSR)

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA AASHTO T 283									
ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁTICAS MAC -MAT									
CONDICIONES DE LAS MUESTRAS MAC-MAT			DIÁMETRO DE LA PROBETA (mm)	ALTURA DE LA PROBETA (mm)	CARGA MÁXIMA (kg)	SE = (2000 * P) / (9 * t * D)		SI PROMEDIO	
						ESFUERZO A LA TENSION (Kg/cm2)	(Mpas)	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm2)	(Mpas)
CONDICIÓN SECA	MAC								
	MAT								
CONDICIÓN HUMEDA	MAC								
	MAT								
RAZÓN DEL ESFUERZO A LA TENSION (TSR)									
CONDICIONES DE LAS MUESTRAS MAC-MAT			DESCRIPCIÓN	SE	TSR	% MIN. PARA MAC-MAT		COMPLET	
				ESFUERZO A LA TENSION (kg)	COEFICIENTE TSR (%)	EN			
CONDICIÓN SECA	MEZCLA ASFÁLTICA CALIENTE								
CONDICIÓN SATURADA									
CONDICIÓN SECA									
CONDICIÓN SATURADA									
CONDICIÓN SECA	MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA								
CONDICIÓN SATURADA									
CONDICIÓN SECA									
CONDICIÓN SATURADA									

Nota. Fuente: Elaboración propia

**Figura 53**

**Formato para ensayo de desempeño -Rueda de Hamburgo**

<b>REPORTE DE ENSAYO DE RUEDA DE HAMBURGO</b>	
Tesis Tesisistas Ubicación	REALIZADO POR :  FECHA DE ENSAYO :
Tipo de muestra Identificación Descripción	
<b>DATOS INICIALES DE LA PRUEBA</b>	
TIPO DE MUESTRA:	NUMERO MAX. PASADAS:
DIAMETRO:	PROFUNDIDAD MAIMA:
ESPESOR:	VELOCIDAD DE LA RUEDA:
<b>RESULTADOS FINALES</b>	
TIPO DE MEDIO TERMICO:	PASADAS:
TEMPERATURA MAXIMA:	
TEMPERATURA MINIMA:	

**ENSAYO DE DESEMPEÑO AASTHO T324**

Nota. Fuente: Elaboración propia

#### **4.1.2. Instrumentos y equipos**

##### **4.1.2.1 Instrumentos para agregados pétreos**

Juego de tamices normalizados según ASTM D3515 para análisis granulométrico.

Dispositivo para ensayo con azul de metileno.

Aparato para evaluación de la durabilidad del agregado.

Equipo para medición del equivalente de arena.

Instrumentación para identificar partículas planas y alargadas.

##### **4.1.2.2. Instrumentos para ligante asfáltico**

Penetrómetro para determinación de consistencia del asfalto.

##### **4.1.2.3. Instrumentos para mezcla asfáltica**

Horno de calentamiento para muestras bituminosas.

Baño María para acondicionamiento térmico de probetas.

Dispositivo RICE para determinar la gravedad específica.

Máquina Marshall para ensayo de estabilidad y flujo.

Compactadora Marshall para formación de especímenes.

Equipo con rueda de carga oscilante tipo Hamburgo para simulación de condiciones de tráfico.

#### **4.1.3. Laboratorios**

##### **4.1.3.1. Laboratorio institucional**

Se utilizaron las instalaciones del laboratorio de mecánica de suelos, materiales y pavimentos perteneciente a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la UNSAAC

##### **4.1.3.2. Laboratorios privados**

Laboratorio de asfalto GEOASFALT

Laboratorio de suelos, concreto y asfalto HINACT

Laboratorio de suelos, concreto y asfalto CONGEOINGC

Laboratorio de la Planta de asfalto del Municipio Provincial del Cusco-Cusco

Laboratorio suelos, pavimentos y asfaltos de la Universidad Andina del Cusco-UAC

## Capítulo V: Resultados Obtenidos

### 5.1. Resultados de Ensayos de Componentes de Mezcla Asfáltica

#### 5.1.1. Resultados obtenidos de pruebas realizadas a los agregados pétreos

**Tabla 21**

Reporte de requerimientos de agregado grueso

<b>AGREGADO GRUESO</b>		
<b>ENSAYOS</b>	<b>NORMA</b>	<b>RESULTADOS</b>
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	4.51%
Abrasión Los Ángeles (Gradación "B")	MTC E 207	20.43%
Abrasión Los Ángeles (Gradación "C")	MTC E 207	22.22%
Adherencia	MTC E 517	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	58.90%
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	2.2%
Caras fracturadas	MTC E 210	99.1/96.4
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.29%
Absorción	MTC E 206	0.93%

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 22**

Reporte de requerimientos de agregado fino

<b>AGREGADO FINO</b>		
<b>ENSAYOS</b>	<b>NORMA</b>	<b>RESULTADOS</b>
Equivalente de arena	MTC E 114	73.59%
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	44.90%
Azul de metileno	AASTHO TP 57	6.00
Índice de Plasticidad (malla N.° 40)	MTC E 111	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	7.77%
Índice de Durabilidad	MTC E 214	48.01%
Índice de Plasticidad (malla N.° 200)	MTC E 111	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.22%
Absorción	MTC E 205	0.47%

Fuente: Elaboración propia

## 5.1.2. Resultados de ensayos de ligante asfáltico

**Tabla 23**

Reporte de requerimientos de Bitúmenes

ENSAYOS	NORMA	RESULTADOS
Penetración de Materiales Bituminosos (PEN 120/150)	MTC E 304	150.00
Penetración de Materiales Bituminosos (BETUTEC IB)	MTC E 304	77.00

Fuente: Elaboración propia

## 5.2. Resultados del Ensayo Marshall

### 5.2.1. Diseño de mezclas asfálticas convencional PEN 120/150

**Tabla 24**

Combinación teórica de agregados #1

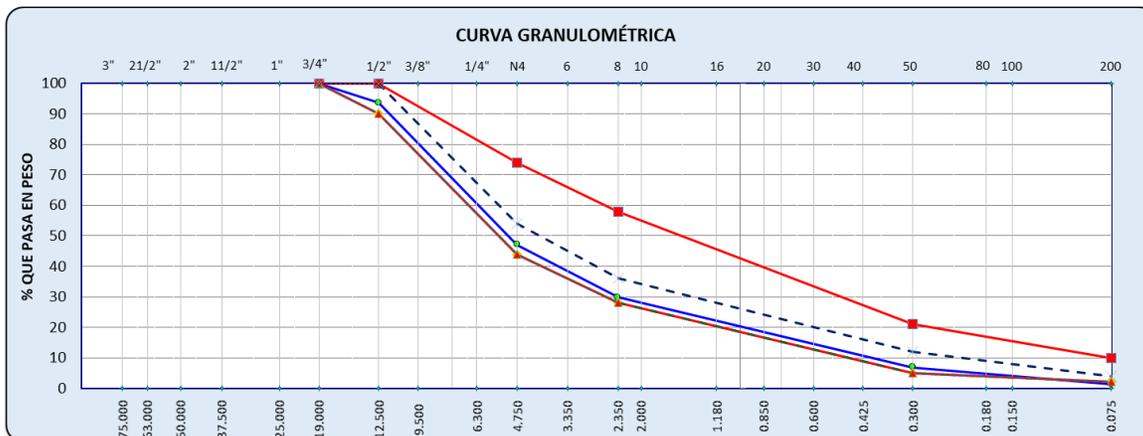
A.G 1/2"	A.G 3/8"	A.CHA	A.FI
5.28%	40.72%	38.00%	16.00%

Tamices ASTM	Abertura en mm.	PIEDRA CHANCADA 1/2"	ARENA CHANCADA	ARENA NATURAL	FILLER	% que Pasa	Especificaciones	Tolerancias	Datos de la Muestra
Porcentaje		46.0	38.0	16.0	0.0	100	ASTM D 3515 (5)		
1"	25.000					100.0			
3/4"	19.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	+/- 8.0	
1/2"	12.500	86.0	100.0	100.0	100.0	93.6	90 - 100	+/- 8.0	OBSERVACIONES
3/8"	9.500	32.8	100.0	100.0	100.0	69.1			Grava 53.0
4	4.750	0.8	84.4	91.1	100.0	47.0	44 - 74	+/- 7.0	Arena 45.7
8	2.350	0.4	49.0	68.9	100.0	29.8	28 - 58	+/- 6.0	Finos 1.3
16	1.180	0.4	31.6	52.7	100.0	20.6			
30	0.600	0.4	20.1	36.3	100.0	13.6			
50	0.300	0.4	11.6	14.1	100.0	6.8	5 - 21	+/- 5.0	
100	0.150	0.3	8.1	6.3	100.0	4.2			
200	0.075	0.3	2.4	1.6	100.0	1.3	2 - 10	+/- 3.0	

Nota: Fuente: Elaboración propia. La granulometría no está dentro del uso granulométrico ASTM D 3515 debido al parámetro de la malla #200 es de 2% como mínimo en finos sin embargo se tiene solo 1.3% de finos.

## Grafica 01

### Curva granulométrica de Combinación teórica de agregados #1



Fuente: Elaboración propia. Como se observa en la gráfica no está dentro del huso

## Tabla 25

### Combinación teórica de agregados #2

A.G 1/2"	A.G 3/8"	A.CHA	A.FI
5.28%	39.72%	40.00%	15.00%

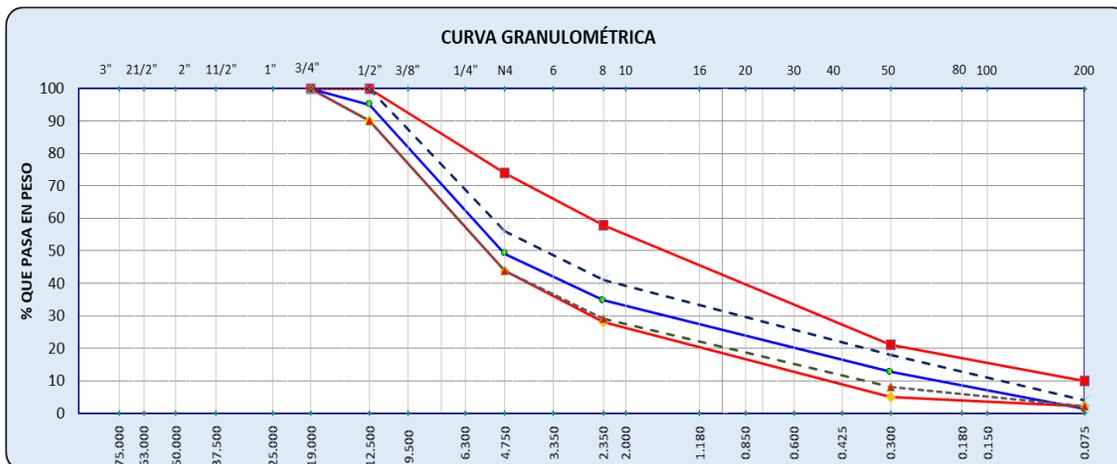
Tamices ASTM	Abertura en mm.	PIEDRA CHANCADA 1/2"	ARENA CHANCADA	ARENA NATURAL	FILLER	% que Pasa	Especificaciones	Tolerancias	Datos de la Muestra
Porcentaje		45.0	40.0	15.0	0.0	100	ASTM D 3515 (5)		
1"	25.000					100.0			
3/4"	19.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	+/- 8.0	
1/2"	12.500	89.0	100.0	100.0	100.0	95.1	90 - 100	+/- 8.0	
3/8"	9.500	33.9	100.0	100.0	100.0	70.3			
4	4.750	0.8	84.4	99.9	100.0	49.1	44 - 74	+/- 7.0	
8	2.350	0.4	49.0	99.7	100.0	34.7	28 - 58	+/- 6.0	
16	1.180	0.4	31.6	99.3	100.0	27.7			
30	0.600	0.4	20.1	94.9	100.0	22.4			
50	0.300	0.4	11.6	52.9	100.0	12.7	5 - 21	+/- 5.0	
100	0.150	0.4	8.1	8.6	100.0	4.7			
200	0.075	0.3	2.4	1.0	100.0	1.2	2 - 10	+/- 3.0	

OBSERVACIONES	
Grava	50.9
Arena	47.9
Finos	1.2

Nota: Fuente: Elaboración propia. La granulometría no está dentro del uso granulométrico ASTM D 3515 debido al parámetro de la malla #200 es de 2% como mínimo en finos sin embargo se tiene solo 1.2% de finos.

## Grafica 02

### Curva granulométrica de Combinación teórica de agregados #2



Fuente: Elaboración propia

## Tabla 26

### Combinación teórica de agregados #3

COMBINACION TEORICA DE CANTIDAD OPTIMA DE ASFALTO

6.4%

COMBINACION TEORICA DE AGREGADOS

A.G 1/2" A.G 3/8" A.CHA A.FI CAL HIDRATADA

5.28% 38.72% 43.00% 12.00% 1.00%

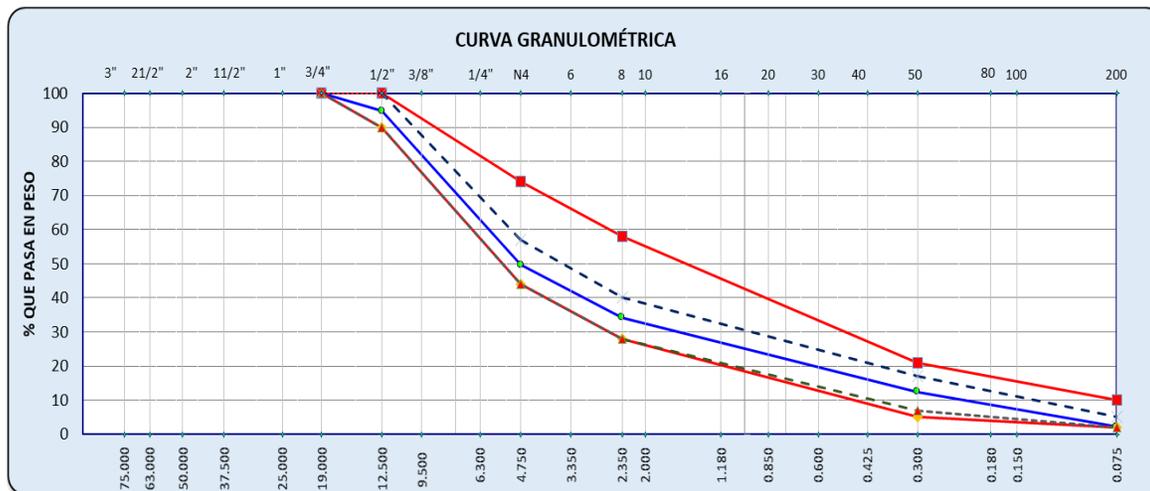
Tamices ASTM	Abertura en mm.	PIEDRA CHANCADA 1/2"	ARENA CHANCADA	ARENA FINA CUNYAC	FILLER CAL HIDRATADA	% que Pasa	Especificaciones	Tolerancias	Datos de la Muestra
	Porcentaje	44.0	43.0	12.0	1.0	100	ASTM D 3515 (5)		
1"	25.000					100.0			
3/4"	19.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	+/- 8.0	
1/2"	12.500	88.0	100.0	100.0	100.0	94.7	90	- 100	+/- 8.0
3/8"	9.500	33.6	100.0	100.0	100.0	70.8			
4	4.750	0.8	84.4	99.9	100.0	49.6	44	- 74	+/- 7.0
8	2.350	0.4	49.0	99.7	100.0	34.2	28	- 58	+/- 6.0
16	1.180	0.4	31.6	99.3	100.0	26.7			
30	0.600	0.4	20.1	94.9	100.0	21.2			
50	0.300	0.4	11.6	52.9	99.9	12.5	5	- 21	+/- 5.0
100	0.150	0.3	8.1	8.6	99.7	5.7			
200	0.075	0.3	2.4	1.0	98.8	2.2	2	- 10	+/- 3.0

OBSERVACIONES	
Grava	50.4
Arena	47.4
Finos	2.2

Nota: Cumple con la granulometría de la ASTM D 3515 sin embargo no cumple con los parámetros de volumétricos de Marshall. Fuente: Elaboración propia.

### Grafica 03

#### Curva granulométrica de Combinación teórica de agregados #4



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 27**

#### Combinación teórica de agregados #4

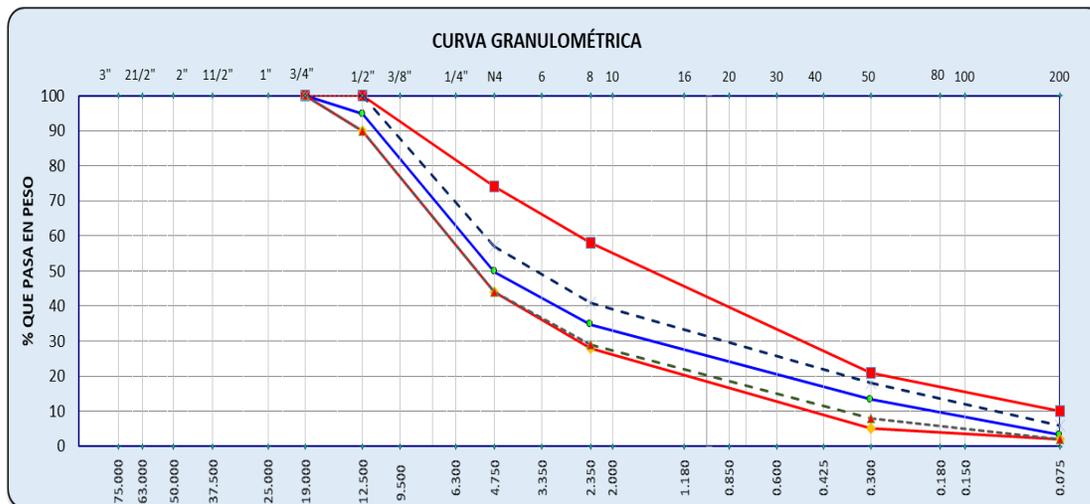
COMBINACIÓN TEORICA DE CANTIDAD OPTIMA DE ASFALTO				
6.5%				
COMBINACION TEORICA DE AGREGADOS				
A.G 1/2"	A.G 3/8"	A.CHA	A.FI	CAL HIDRATADA
5.28%	38.72%	42.00%	12.00%	2.00%

Tamices ASTM	Abertura en mm.	PIEDRA CHANCADA 1/2"	ARENA CHANCADA	ARENA FINA CUNYAC	FILLER CAL HIDRATADA	% que Pasa	Especificaciones	Tolerancias	Datos de la Muestra
	Porcentaje	44.0	42.0	12.0	2.0	100	ASTM D 3515 (5)		
1"	25.000					100.0			
3/4"	19.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	+/- 8.0	
1/2"	12.500	88.0	100.0	100.0	100.0	94.7	90 - 100	+/- 8.0	<b>OBSERVACIONES</b>
3/8"	9.500	33.6	100.0	100.0	100.0	70.8			Grava 50.2
4	4.750	0.8	84.4	99.9	100.0	49.8	44 - 74	+/- 7.0	Arena 46.6
8	2.350	0.4	49.0	99.7	100.0	34.7	28 - 58	+/- 6.0	Finos 3.2
16	1.180	0.4	31.6	99.3	100.0	27.4			
30	0.600	0.4	20.1	94.9	99.9	22.0			
50	0.300	0.4	11.6	52.9	99.8	13.4	5 - 21	+/- 5.0	
100	0.150	0.3	8.1	8.6	99.4	6.6			
200	0.075	0.3	2.4	1.0	97.6	3.2	2 - 10	+/- 3.0	

Nota. Fuente: Elaboración propia. Cumple con la granulometría de la ASTM D 3515 sin embargo no cumple con los parámetros de volumétricos de Marshall.

### Grafica 04

#### Curva granulométrica de Combinación teórica de agregados #4



Fuente: Elaboración propia

### Tabla 28

Resumen de diseño de mezcla asfáltica con cemento asfáltico PEN 120/150 con 2% de cal hidratada.

DATOS DE LAS PROPORCIONES					
% C.A.	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
FLUJO	14.2	14.8	16.0	17.6	18.8
ESTABILIDAD	1039.9	1029.6	980.5	1049	931

Nota. Fuente: Elaboración propia. Como se observa en la tabla de resume de 2% de filler no cumple con los parámetros volumétricos de Marshall con ningún porcentaje de cemento asfáltico evaluado según los límites de la EG-2013.

### Tabla 29

Combinación teórica de agregados #5

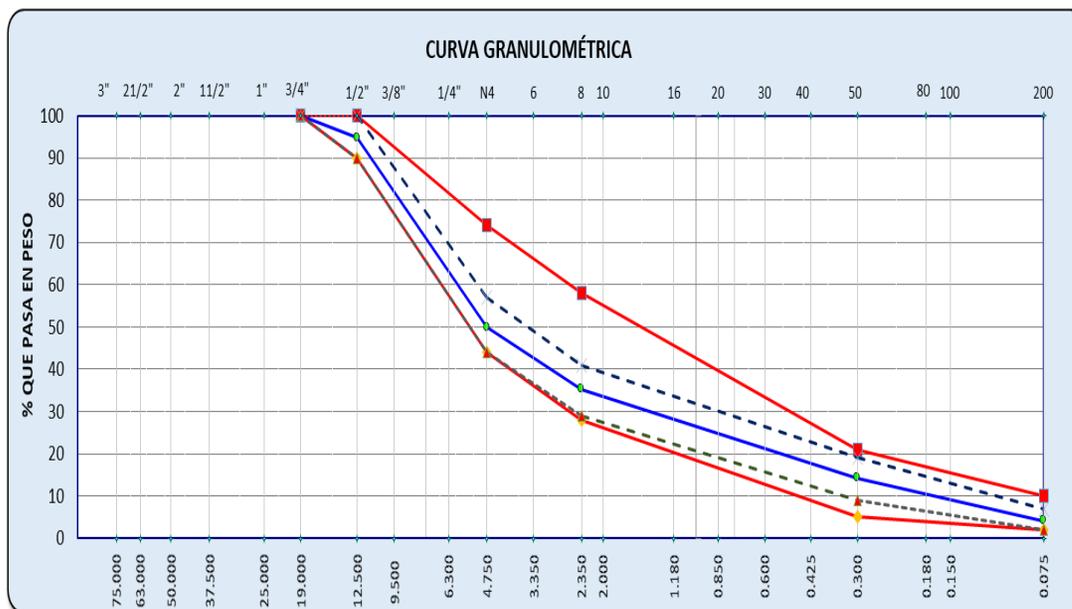
COMBINACION TEORICA DE CANTIDAD OPTIMA DE ASFALTO				
6.6%				
COMBINACION TEORICA DE AGREGADOS				
A.G 1/2"	A.G 3/8"	A.CHA	A.FI	CAL HIDRATADA
5.28%	38.72%	41.00%	12.00%	3.00%

Tamices ASTM	Abertura en mm.	PIEDRA CHANCADA 1/2"	ARENA CHANCADA	ARENA FINA CUNYAC	FILLER CAL HIDRATADA	% que Pasa	Especificaciones	Tolerancias	Datos de la Muestra
Porcentaje		44.0	41.0	12.0	3.0	100	ASTM D 3515 (5)		
1"	25.000					100.0			
3/4"	19.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	+/- 8.0	
1/2"	12.500	88.0	100.0	100.0	100.0	94.7	90	- 100	+/- 8.0
3/8"	9.500	33.6	100.0	100.0	100.0	70.8			
4	4.750	0.8	84.4	99.9	100.0	50.0	44	- 74	+/- 7.0
8	2.350	0.4	49.0	99.7	100.0	35.2	28	- 58	+/- 6.0
16	1.180	0.4	31.6	99.3	100.0	28.1			
30	0.600	0.4	20.1	94.9	99.9	22.8			
50	0.300	0.4	11.6	52.9	99.7	14.2	5	- 21	+/- 5.0
100	0.150	0.3	8.1	8.6	99.0	7.5			
200	0.075	0.3	2.4	1.0	96.4	4.1	2	- 10	+/- 3.0

OBSERVACIONES	
Grava	50.0
Arena	45.8
Finos	4.1

## Grafica 05

Curva granulométrica de Combinación teórica de agregados #5



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Esta curva granulométrica como se observa es la que está dentro del huso granulométrico, en donde se tiene proporción de agregados de piedra, arena chancada, arena de Cunyac, filler (Cal hidratada).

**Tabla 30**

Evaluación de RICE de la mezcla asfáltica convencional (3% cal hidratada).

GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)					
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA	2.442	2.432	2.424	2.411	2.394
CONTENIDO % C.A.	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00

Como se ve en las tablas anteriores de porcentajes de asfalto (5%,5.5%,6%,6.5%,7%) y 3% de filler se hizo el ensayo complementario para la evaluación de RICE que es la densidad teórica máxima.

**Tabla 31**

Resumen de diseño de mezcla asfáltica convencional (3% cal hidratada).

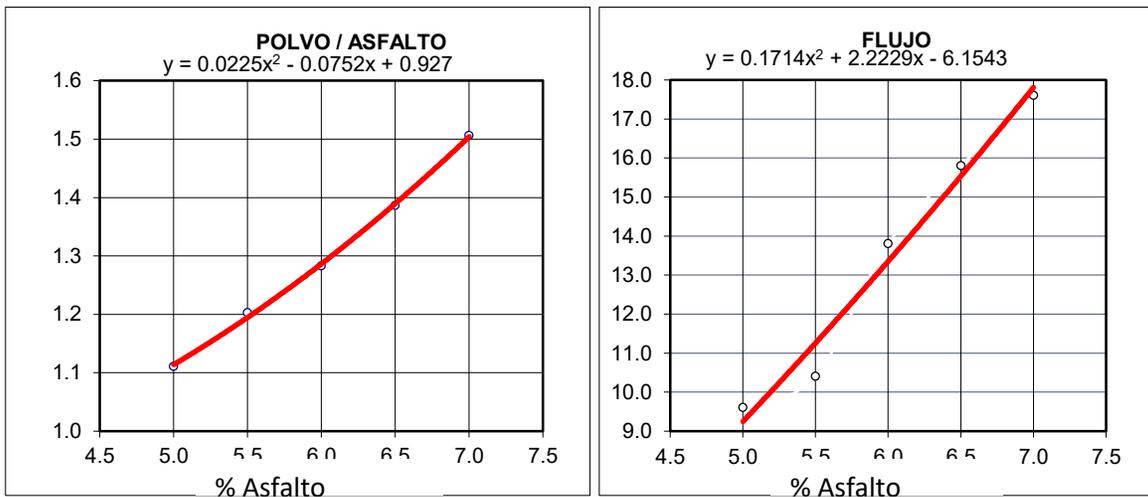
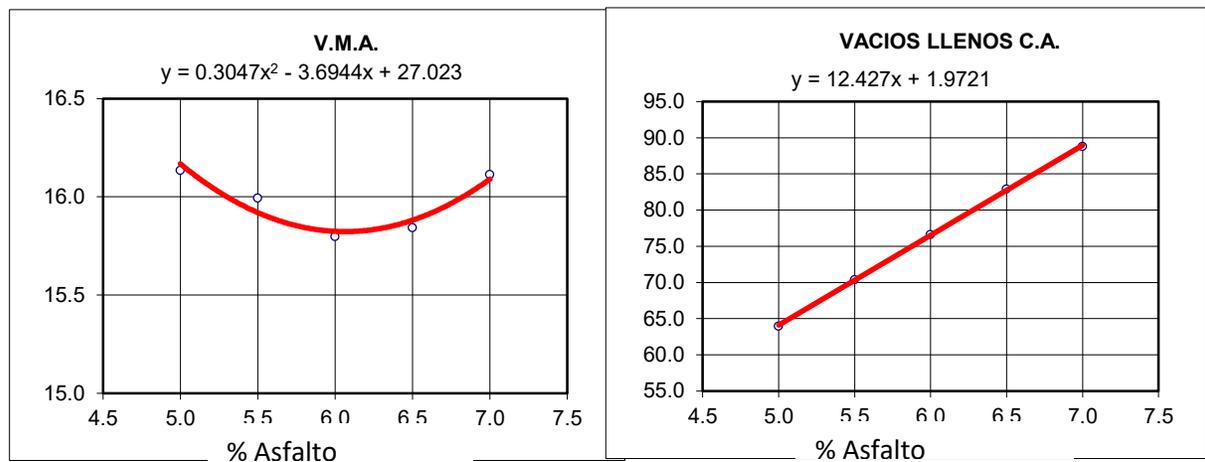
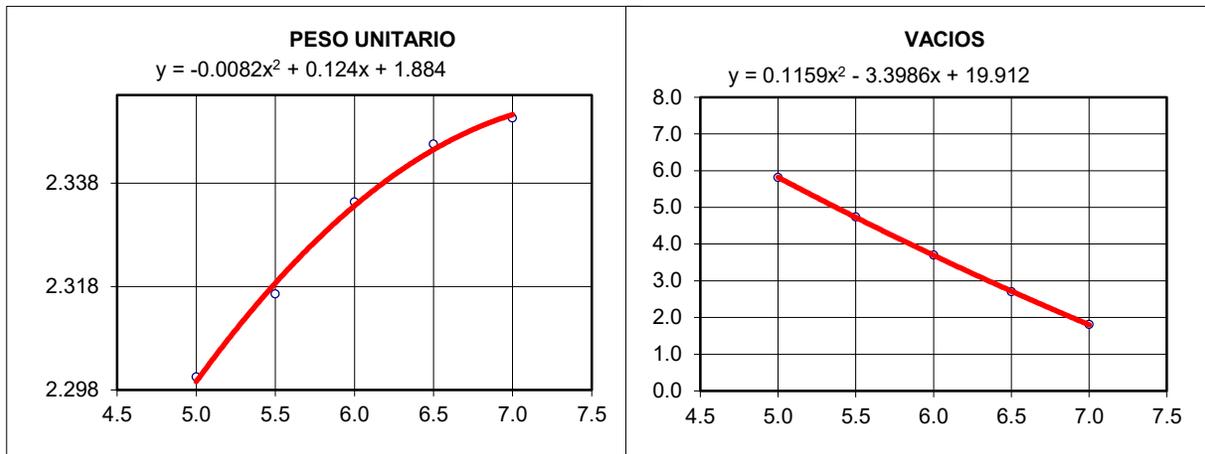
RESUMEN DE DISEÑO DE MEZCLA-CEMENTO CONVENCIONAL PEN 120/150					
% C.A.	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
P.U. BRIQUETA	2.301	2.317	2.334	2.346	2.351
VACIOS	5.8	4.7	3.7	2.7	1.8
V.M.A.	16.1	16.0	15.8	15.8	16.1
V.LL.A	64.0	70.4	76.6	82.9	88.8
POLVO / ASF.	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
FLUJO	9.6	10.4	13.8	15.8	17.6
ESTABILIDAD	959.0	912.5	1100.8	1049	931

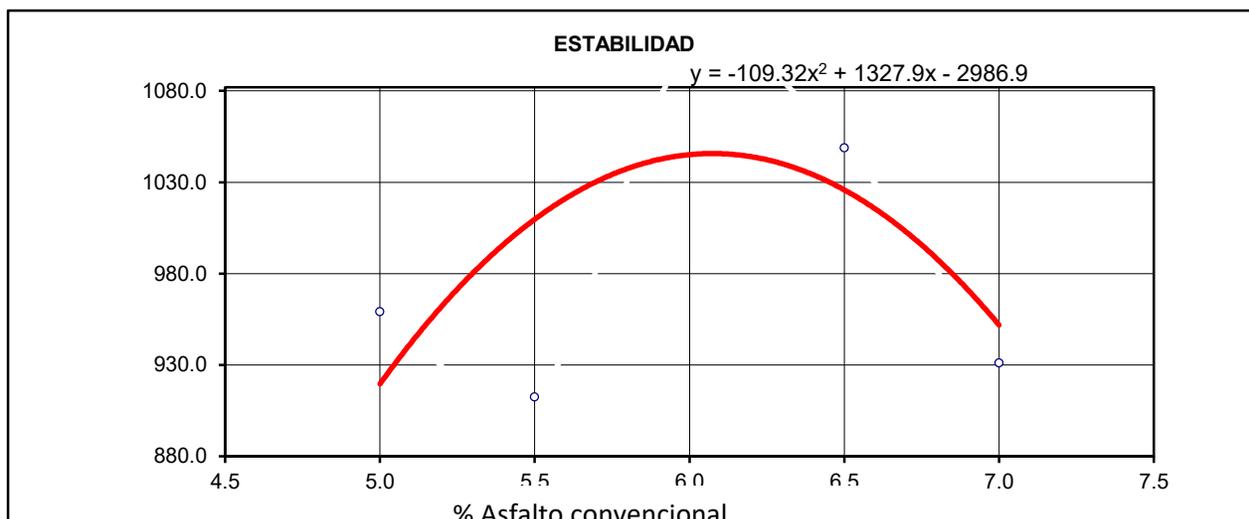
Fuente: Elaboración propia.

Como se ve en el cuadro anterior de resumen con 3% de cal hidrata, en donde observamos valores confortables por encima de los valores que están en el EG-2013

**Grafica 06**

Curvas de energía de compactación constante PEN 120/150

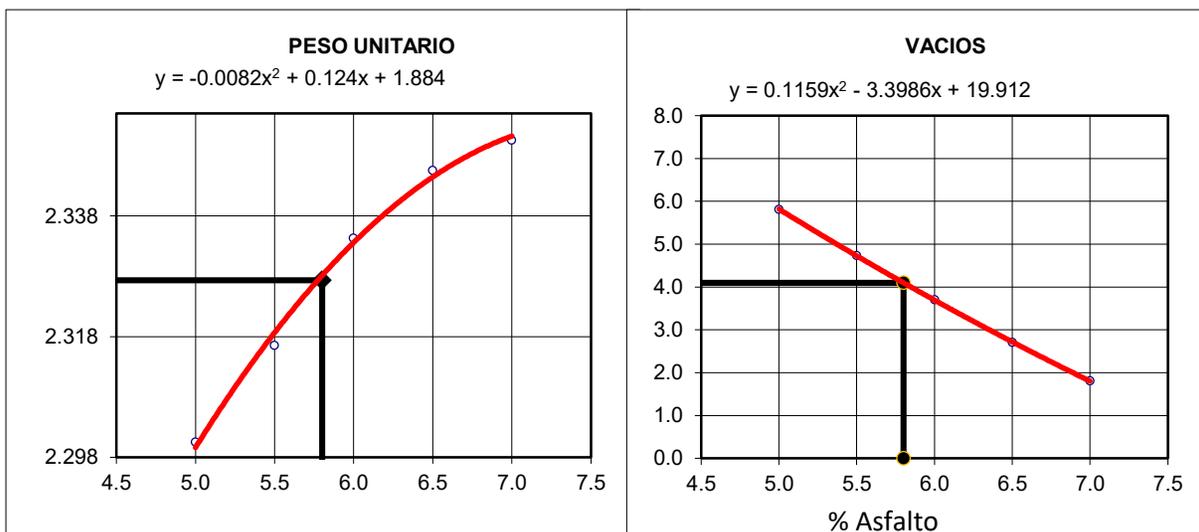


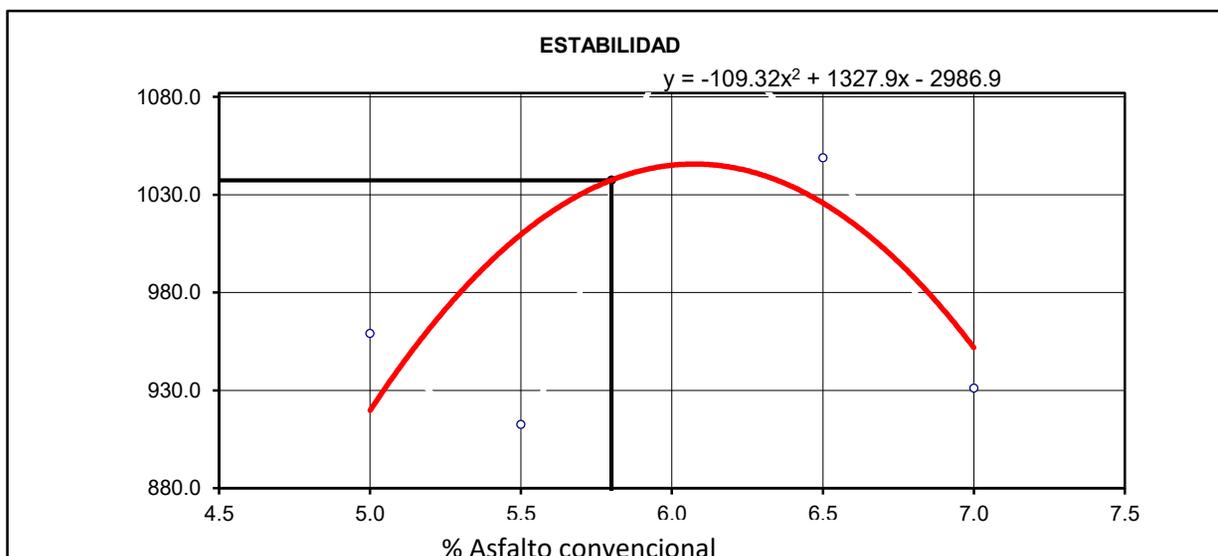
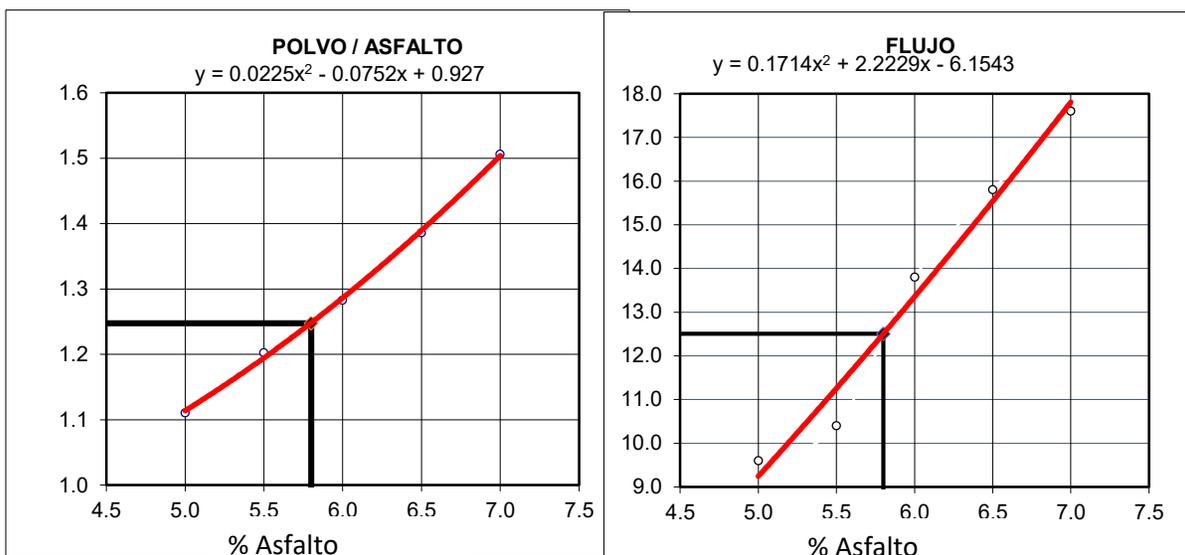
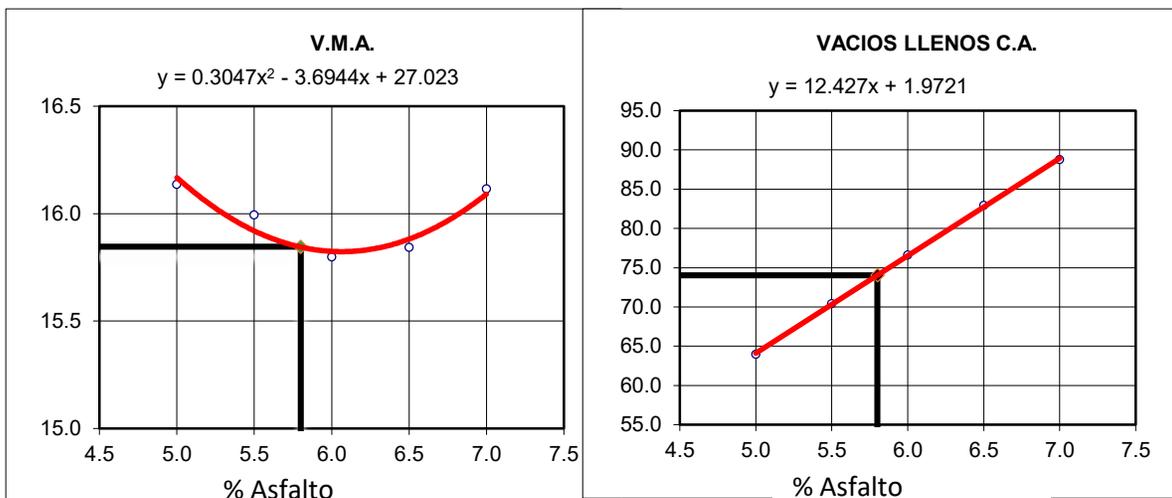


Nota. Fuente: Elaboración propia. Se tiene los gráficos de todos los parámetros volumétricos

**Grafica 07**

Obtención de C.O.A convencional





Nota. Fuente: Elaboración propia. Observando los gráficos anteriores como son, Peso Unitario, Vacíos, V.M.A, Vacíos Llenos C.A, Polvo/Asfalto, Flujo, Estabilidad, en donde se determina la cantidad optima de asfalto teniendo en cuenta los parámetros de la EG-2013, teniendo como parámetro óptimo de Asfalto 5.8% de C.O.A para el PEN 120/150.

**Tabla 32**

Cantidad optima de asfalto (C.O.A) para PEN 120/150

Parámetros de diseño		- 0.2 %	% Óptimo	+0.2 %	Especificación EG 2013
GOLPES	N°		75.0		75
CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.60	5.80	6.00	
PESO UNITARIO	kg/m <sup>3</sup>	2.321	2.327	2.333	
VACIOS	%	4.5	4.1	3.7	3 - 5
V.M.A.	%	15.9	15.8	15.8	14
V. LL.C.A.	%	71.6	74.0	76.5	
POLVO / ASFALTO	%	1.2	1.2	1.3	0.6 - 1.3
FLUJO	mm	11.7	12.5	13.4	8 – 14
ESTABILIDAD	kN	1021.1	1037.4	1045.0	8,15
ESTABILIDAD/ FLUJO	kg/cm	3500.1	3318.5	3130.2	1700 – 4000

Nota. Fuente: Elaboración propia. Se tiene como optimo 5.8% de C.O.A, sin embargo, se toma como factor de seguridad  $\pm 0.2\%$  debido a que se tiene una tendencia a 6% de C.O.A de igual forma se cumple con las condiciones requeridas según la EG-2013.

### 5.2.2. Diseño de Mezcla Asfáltica Modificada

**Tabla 33**

Combinación teórica de agregados para POLIMERO SBS.

COMBINACION TEORICA DE CANTIDAD OPTIMA DE ASFALTO				
6.6%				
COMBINACION TEORICA DE AGREGADOS				
A.G 1/2"	A.G 3/8"	A.CHA	A.FI	CAL HIDRATADA
5.28%	38.72%	41.00%	12.00%	3.00%

Tamices ASTM	Abertura en mm.	PIEDRA CHANCADA 1/2"	ARENA CHANCADA	ARENA FINA CUNYAC	FILLER CAL HIDRATADA	% que Pasa	Especificaciones	Tolerancias	Datos de la Muestra
	Porcentaje	44.0	41.0	12.0	3.0	100	ASTM D 3515 (5)		
1"	25.000					100.0			
3/4"	19.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	+/- 8.0	
1/2"	12.500	88.0	100.0	100.0	100.0	94.7	90	- 100	+/- 8.0
3/8"	9.500	33.6	100.0	100.0	100.0	70.8			
4	4.750	0.8	84.4	99.9	100.0	50.0	44	- 74	+/- 7.0
8	2.350	0.4	49.0	99.7	100.0	35.2	28	- 58	+/- 6.0
16	1.180	0.4	31.6	99.3	100.0	28.1			
30	0.600	0.4	20.1	94.9	99.9	22.8			
50	0.300	0.4	11.6	52.9	99.7	14.2	5	- 21	+/- 5.0
100	0.150	0.3	8.1	8.6	99.0	7.5			
200	0.075	0.3	2.4	1.0	96.4	4.1	2	- 10	+/- 3.0

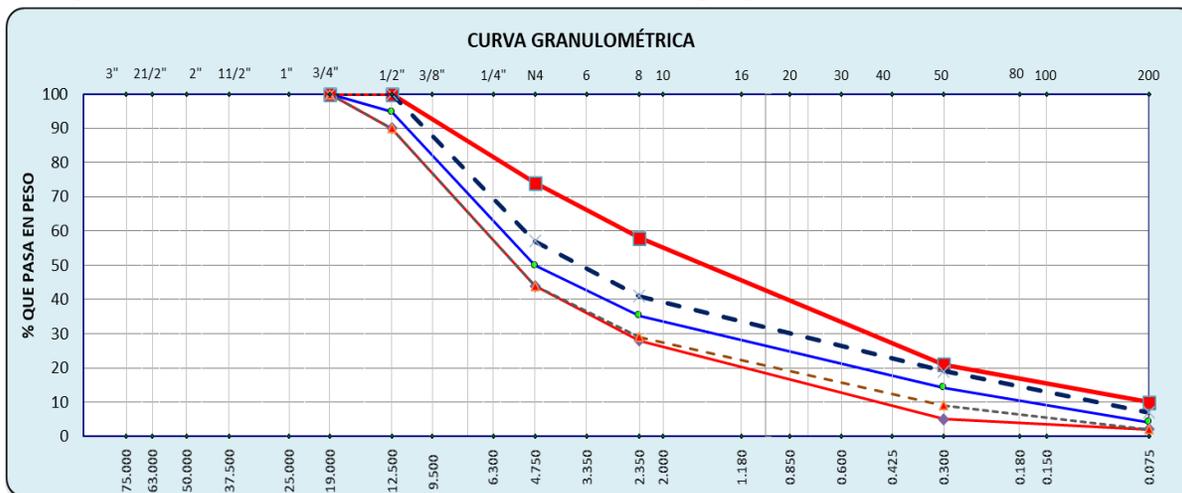
OBSERVACIONES	
Grava	50.0
Arena	45.8
Finos	4.1

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Cumple con la granulometría de la ASTM D 3515 en donde trabajamos con grava 50%, Arena 45.8 y Finos de 4.1 % en donde se tiene 3% de Filler.

### Grafica 08

Curva granulométrica de Combinación teórica de agregados #1



Esta curva granulométrica como se observa es la que está dentro del huso granulométrico, para la mezcla asfáltica modificada cumple con las condiciones requeridas.

**Tabla 34**

Resumen de diseño de mezcla Asfáltica POLIMERO SBS (3% cal hidratada).

<b>RESULTADOS DE LAS PROPORCIONES POLIMERO SBS</b>					
% C.A.	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
P.U. BRIQUETA	2.330	2.338	2.361	2.373	2.368
VACIOS	5.1	4.3	2.9	2.0	1.7
V.M.A.	15.1	15.2	14.8	14.9	15.5
V.LL.A	66.1	72.1	80.1	86.5	89.1
POLVO / ASF.	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4
FLUJO	9.8	12.2	13.6	16.8	18.0
ESTABILIDAD	1196.9	1159.0	1169.8	1007	931

Como se ve en el cuadro anterior para la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS con 3% de cal hidrata, en donde observamos valores confortables por encima de los valores que están en el EG-2013.

**Tabla 35**

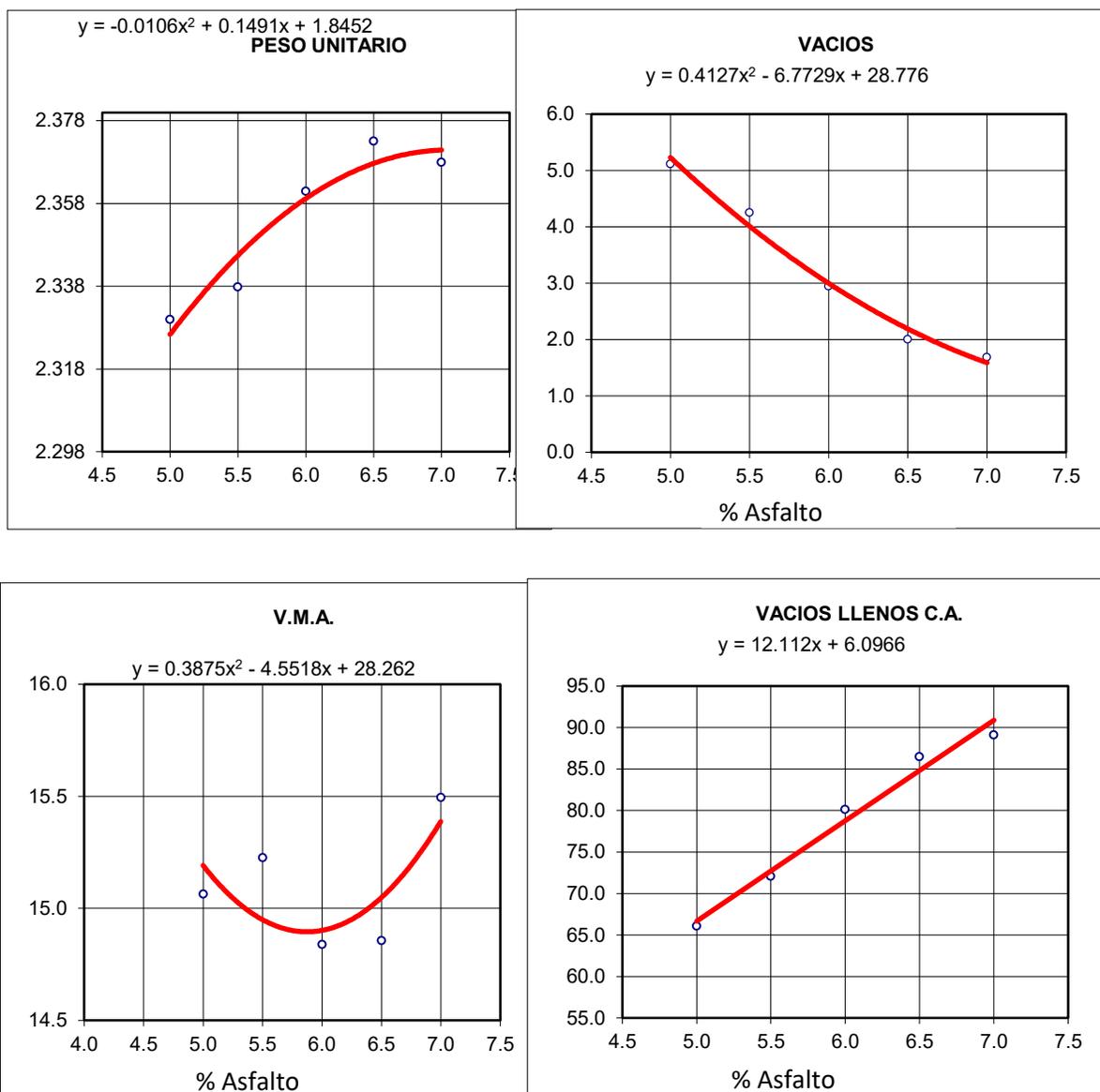
Evaluación de RICE de la mezcla Asfáltica con polímero SBS (3% cal hidratada).

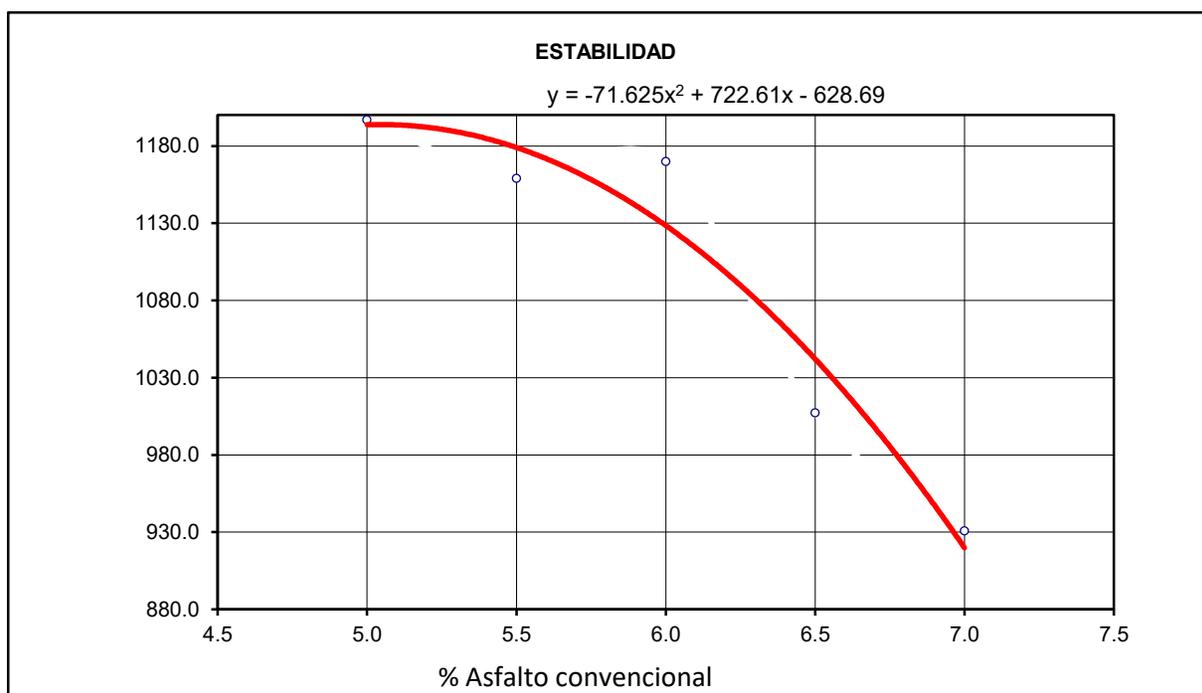
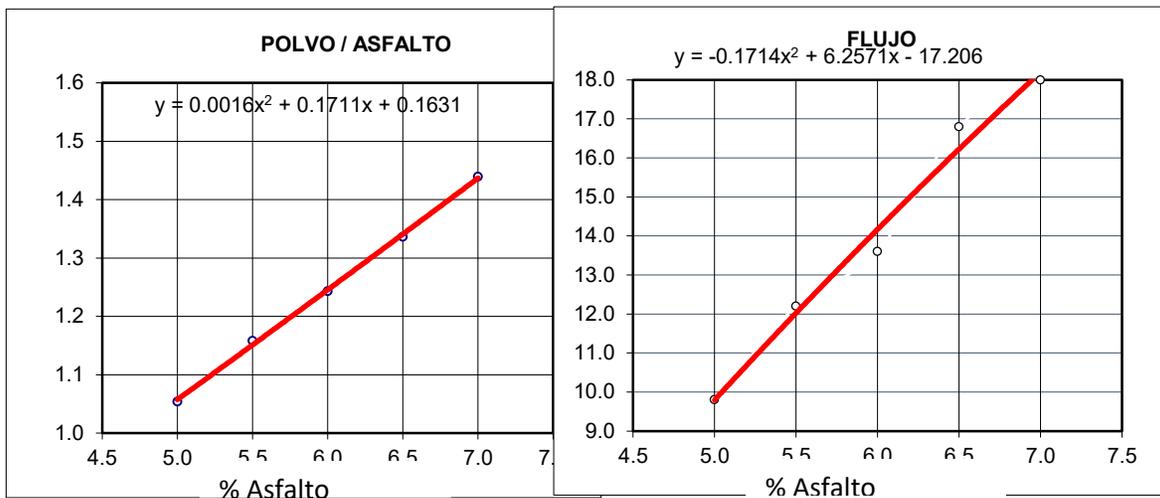
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)</b>					
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA	2.45	2.44	2.43	2.42	2.40
MUESTRA)	5	2	3	2	9
CONTENIDO % C.A.	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00

Como se ve en las tablas anteriores de porcentajes de asfalto modificado con polímero SBS (5%,5.5%,6%,6.5%,7%) y 3% de Filler, se hizo el ensayo complementario para la evaluación de RICE que es la densidad teórica máxima.

### Grafica 09

Curvas de energía de compactación constante POLIMERO SBS

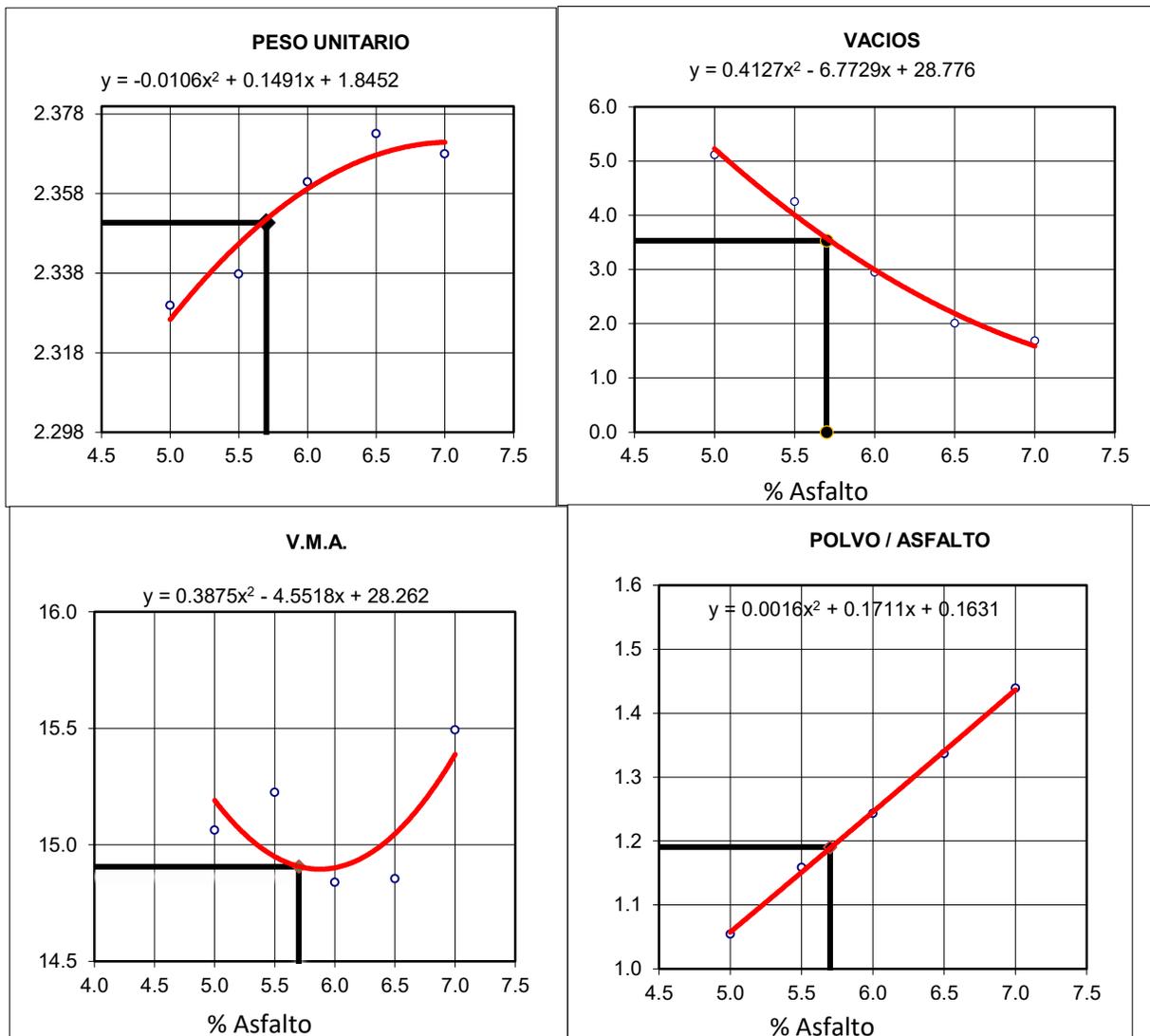


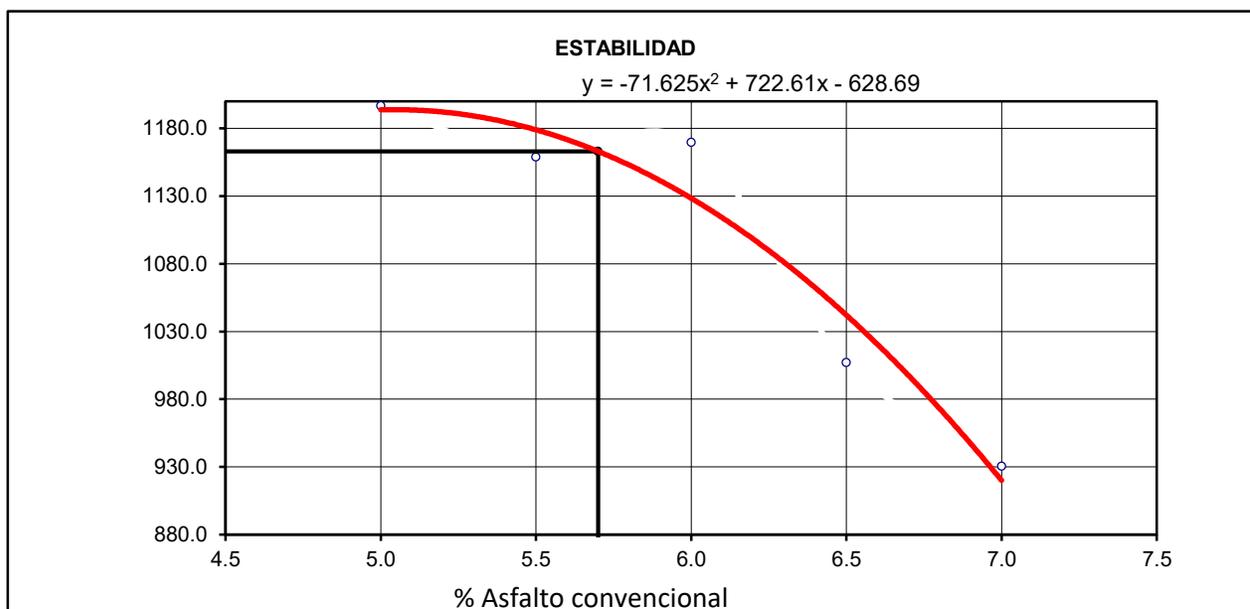
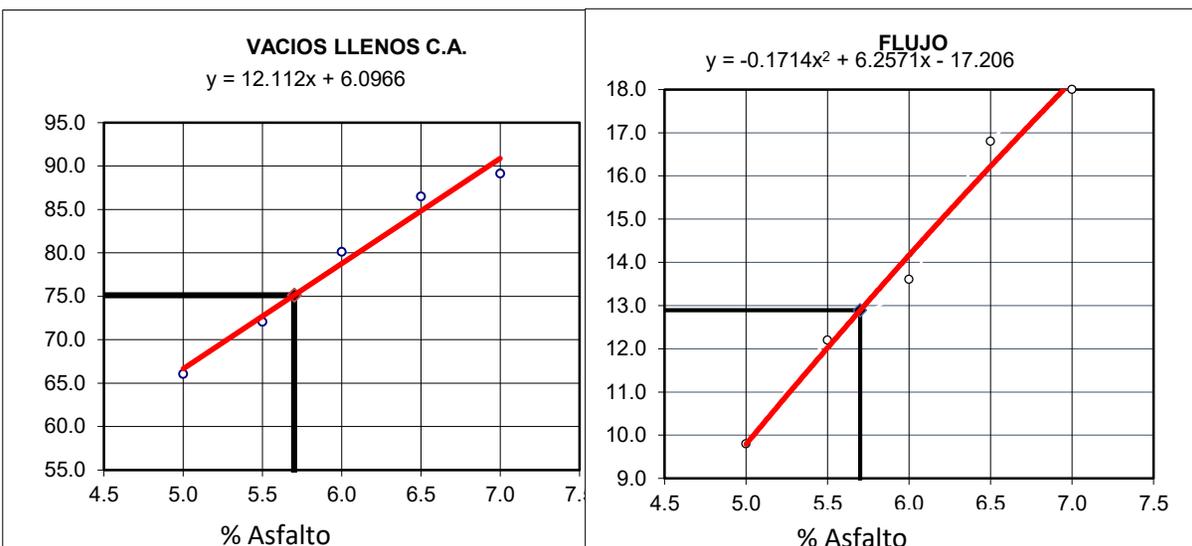


Nota. Fuente: Elaboración propia.

## Grafica 10

Obtención de C.O.A modificada





Nota. Fuente: Elaboración propia. Observando los gráficos anteriores como son, Peso Unitario, Vacíos, V.M.A, Vacíos llenos C.A, Polvo/Asfalto, Flujo, Estabilidad, en donde se determina la cantidad optima de asfalto modificado teniendo en cuenta los parámetros de la EG-2013, teniendo como parámetro óptimo de Asfalto modificado de 5.7% de C.O.A para el modificado con polímero SBS.

**Tabla 36**

Cantidad óptima de asfalto modificada con polímero S.B.S (C.O.A)

Parámetros de diseño		- 0.2 %	% Óptimo	+0.2 %	Especificación EG 2013
GOLPES	N°		75.0		75
CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.50	5.70	5.90	
PESO UNITARIO	kg/m <sup>3</sup>	2.345	2.351	2.356	
VACIOS	%	4.0	3.5	3.1	3 – 5
V.M.A.	%	14.9	14.9	14.9	14
V. LL.C.A.	%	72.7	75.1	77.6	
POLVO / ASFALTO	%	1.2	1.2	1.2	0.6 - 1.3
FLUJO	Mm	12.0	12.9	13.7	8 – 14
ESTABILIDAD	Kn	1179.0	1163.1	1141.4	8,15
ESTABILIDAD/ FLUJO	kg/cm	3922.4	3609.1	3321.9	1700 – 4000

Nota. Fuente: Elaboración propia. Se tiene como cantidad óptimo de asfalto modificada de 5.7% de C.O.A, sin embargo, se toma como factor de seguridad +-0.2% debido a que se tiene una tendencia a 5.90 % de C.O.A de igual forma se cumple con las condiciones requeridas según la EG-2013.

### 5.2.3. Diseño de mezcla asfáltica tibia con cemento convencional PEN 120/150

Combinación teórica de agregados para mezcla asfáltica tibia con 0.3 % aditivo surfactante.

**Tabla 37**

Combinación teórica de agregados para mezcla asfáltica tibia con 0.3 % aditivo surfactante.

COMBINACION OPTIMA DE ASFALTO				
5.8%				
COMBINACION TEORICA DE AGREGADOS				
A.G 1/2"	A.G 3/8"	A.CHA	A.FI	CAL HIDRATADA
5.28%	38.72%	41.00%	12.00%	3.00%

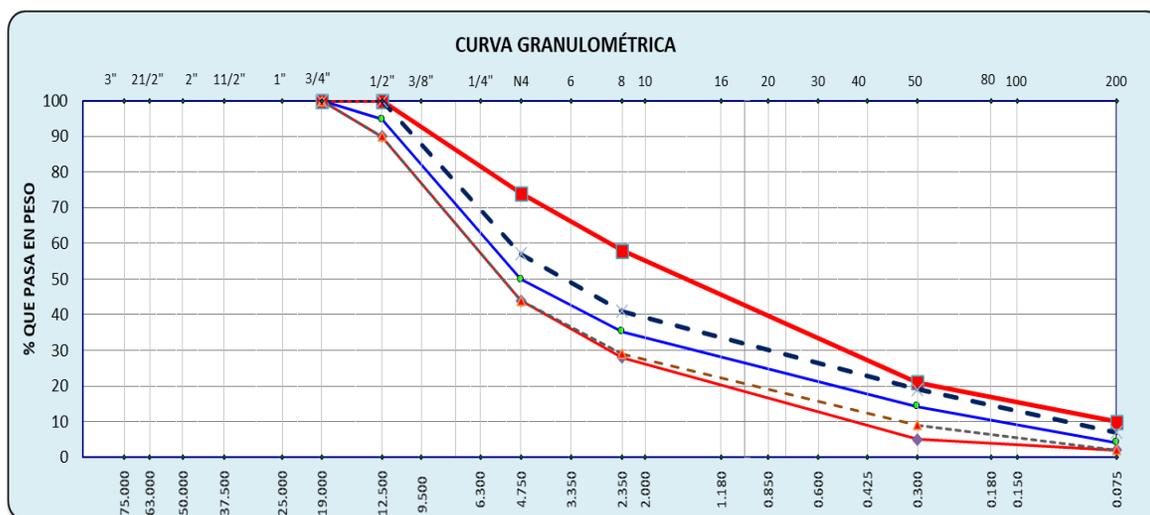
Tamices ASTM	Abertura en mm.	PIEDRA CHANCADA 1/2"	ARENA CHANCADA	ARENA FINA CUNYAC	FILLER CAL HIDRATADA	% que Pasa	Especificaciones	Tolerancias	Datos de la Muestra
Porcentaje		44.0	41.0	12.0	3.0	100	ASTM D 3515 (5)		
1"	25.000					100.0			
3/4"	19.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	+/- 8.0	
1/2"	12.500	88.0	100.0	100.0	100.0	94.7	90 - 100	+/- 8.0	
3/8"	9.500	33.6	100.0	100.0	100.0	70.8			OBSERVACIONES
4	4.750	0.8	84.4	99.9	100.0	50.0	44 - 74	+/- 7.0	Grava 50.0
8	2.350	0.4	49.0	99.7	100.0	35.2	28 - 58	+/- 6.0	Areña 45.8
16	1.180	0.4	31.6	99.3	100.0	28.1			Finos 4.1
30	0.600	0.4	20.1	94.9	99.9	22.8			
50	0.300	0.4	11.6	52.9	99.7	14.2	5 - 21	+/- 5.0	
100	0.150	0.3	8.1	8.6	99.0	7.5			
200	0.075	0.3	2.4	1.0	96.4	4.1	2 - 10	+/- 3.0	

Nota. Fuente: Elaboración propia

Cumple con la granulometría de la ASTM D 3515 en donde trabajamos con grava 50%, Arena 45.8 y Finos de 4.1 % en donde se tiene 3% de filler.

### Grafica 11

Combinación teórica de agregados para mezcla asfáltica tibia con 0.3 % aditivo surfactante.



Nota. Fuente: Elaboración propia

Esta curva granulométrica como se observa es la que está dentro del huso granulométrico, para la mezcla asfáltica modificada cumple con las condiciones requeridas.

**Tabla 38**

Resumen de diseño de mezclas asfálticas convencional adicionando aditivo surfactante al 0.3%

<b>RESULTADOS DE LAS PROPORCIONES</b>					
<b>TEMPERATURA DE COMPACTACION</b>	<b>132</b>	<b>120</b>	<b>110</b>	<b>105</b>	<b>100</b>
% ADITIVO SURFACTANTE	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
% C.A.	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
P.U. BRIQUETA	2.331	2.325	2.315	2.306	2.300
VACIOS	3.9	4.1	4.5	4.9	5.2
V.M.A.	15.8	16.0	16.3	16.7	16.9
V.LL.A	75.1	74.0	72.1	70.3	69.3
POLVO / ASF.	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
FLUJO	12.0	12.4	12.6	13.2	14.0
ESTABILIDAD	1042.5	1038.1	1037.2	1036	1033

Nota. Fuente: Elaboración propia

Como se ve en el cuadro de resumen se mezclas asfálticas convencional adicionando aditivo surfactante al 0.3% en donde se observa estándares por encima de la norma EG-2013.

**Tabla 39**

Resumen de diseño de mezclas asfálticas convencional adicionando aditivo surfactante al 0.5 %

<b>DATOS DE LAS PROPORCIONES</b>					
<b>TEMPERATURA DE COMPACTACION</b>	<b>132</b>	<b>120</b>	<b>110</b>	<b>105</b>	<b>100</b>
% ADITIVO SURFACTANTE	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
% C.A.	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
P.U. BRIQUETA	2.335	2.330	2.320	2.310	2.301
VACIOS	3.7	3.9	4.3	4.7	5.1
V.M.A.	15.6	15.8	16.1	16.5	16.8
V.LL.A	76.0	75.0	73.1	71.2	69.4
POLVO / ASF.	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3

FLUJO	11.6	12.2	12.4	13.0	13.8
ESTABILIDAD	1047.8	1046.1	1039.9	1038	1035

Nota. Fuente: Elaboración propia

Como se ve en el cuadro de resumen se mezclas asfálticas convencional adicionando aditivo surfactante al 0.5% en donde se observa estándares por encima de la norma EG-2013.

#### 5.2.4. Diseño de mezcla asfáltica tibia con polímero SBS

Combinación teórica de agregados para mezcla asfáltica tibia con 0.4 % aditivo surfactante.

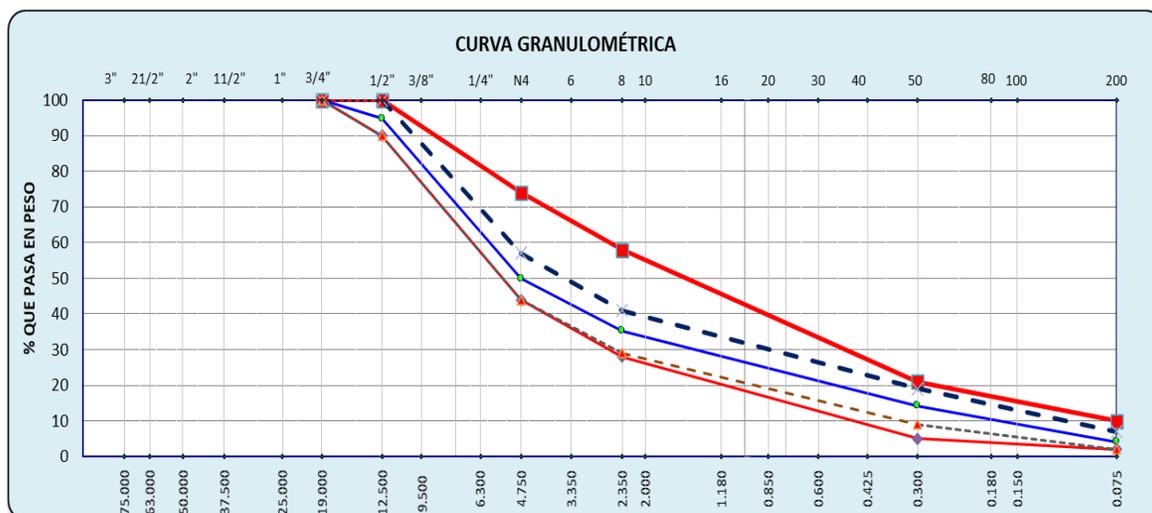
**Tabla 40**

Combinación teórica de agregados para mezcla asfáltica tibia con 0.4 % aditivo surfactante.

COMBINACION OPTIMA DE ASFALTO									
5.7%									
COMBINACION TEORICA DE AGREGADOS									
A.G 1/2"	A.G 3/8"	A.CHA	A.FI	CAL HIDRATADA					
5.28%	38.72%	41.00%	12.00%	3.00%					
Tamices ASTM	Abertura en mm.	PIEDRA CHANCADA 1/2"	ARENA CHANCADA	ARENA FINA CUNYAC	FILLER CAL HIDRATADA	% que Pasa	Especificaciones	Tolerancias	Datos de la Muestra
Porcentaje		44.0	41.0	12.0	3.0	100	ASTM D 3515 (5)		
1"	25.000					100.0			
3/4"	19.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	+/- 8.0	
1/2"	12.500	88.0	100.0	100.0	100.0	94.7	90 - 100	+/- 8.0	OBSERVACIONES
3/8"	9.500	33.6	100.0	100.0	100.0	70.8			Grava 50.0
4	4.750	0.8	84.4	99.9	100.0	50.0	44 - 74	+/- 7.0	Arena 45.8
8	2.350	0.4	49.0	99.7	100.0	35.2	28 - 58	+/- 6.0	Finos 4.1
16	1.180	0.4	31.6	99.3	100.0	28.1			
30	0.600	0.4	20.1	94.9	99.9	22.8			
50	0.300	0.4	11.6	52.9	99.7	14.2	5 - 21	+/- 5.0	
100	0.150	0.3	8.1	8.6	99.0	7.5			
200	0.075	0.3	2.4	1.0	96.4	4.1	2 - 10	+/- 3.0	

## Grafica 12

Se observa la curva granulométrica



Nota. Fuente: Elaboración propia

Esta curva granulométrica como se observa es la que está dentro del huso granulométrico, para la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS cumple con las condiciones requeridas.

## Tabla 41

Resumen de diseño de mezclas asfálticas modificadas adicionando aditivo surfactante al 0.4 % a diferentes temperaturas de compactación.

RESUMEN DE LAS PROPORCIONES						
TEMPERATURA DE COMPACTACION	145	120	110	100	90	85
% ADITIVO SURFACTANTE	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
% C.A.	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	
P.U. BRIQUETA	2.362	2.360	2.349	2.337	2.320	2.31
VACIOS	3.1	3.2	3.7	4.2	4.8	5.151
V.M.A.	14.6	14.7	15.1	15.5	16.1	16.4
V.L.L.A	78.5	78.0	75.8	73.2	70.0	68.6
POLVO / ASF.	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2

FLUJO	11.8	12.2	12.4	12.8	13.2	13.8
ESTABILIDAD	1165.5	1162.8	1160.7	1160	1155	1119.1

Nota. Fuente: Elaboración propia

Como se ve en el cuadro de resumen se mezclas asfálticas modificado adicionando aditivo surfactante al 0.4% en donde se observa estándares por encima de la norma EG-2013.

#### Tabla 42

Resumen de diseño de mezclas asfálticas modificado adicionando aditivo surfactante al 0.6 % a diferentes temperaturas de compactación.

RESULTADOS DE LAS PROPORCIONES							
TEMPERATURA DE	145	120	110	100	90	85	
<b>COMPACTACION</b>							
% ADITIVO SURFACTANTE	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
% C.A.	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
P.U. BRIQUETA	2.363	2.358	2.351	2.338	2.327	2.31	
VACIOS	3.1	3.3	3.6	4.1	4.6	5.121	
V.M.A.	14.6	14.8	15.0	15.5	15.9	16.4	
V.L.L.A	78.7	77.5	76.2	73.5	71.1	68.7	
POLVO / ASF.	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	
FLUJO	11.8	12.2	12.4	12.6	13.0	13.6	
ESTABILIDAD	1167.3	1162.8	1161.6	1160	1158	1153.1	
ESTABILIDAD/ FLUJO	3896	3755	3694	3630	3507	3340	

Nota. Fuente: Elaboración propia

Como se ve en el cuadro de resumen se mezclas asfálticas modificado adicionando aditivo surfactante al 0.4% en donde se observa estándares por encima de la norma EG-2013.

### 5.3. Resultados de Ensayo Lottman

Ensayos de (TSR)según la norma de ASTM 283 se tiene el siguiente cuadro resumen del comportamiento tanto de las mezclas asfálticas convencionales con 5.80 % de C.O.A, la mezcla asfáltica modificada con 5.70% C.O.A, seguidamente las mezclas tibias del

convencional de C.O.A 5.80% adicionando 0.3% de aditivo de base vegetal y compactado a una temperatura de 105 °C, finalmente las mezclas tibias modificadas de C.O.A 5.70% adicionando 0.4% de aditivo de base vegetal y compactado a una temperatura de 90 °C. Se tiene como vemos 3 especímenes para cada condición ya sea la condición húmeda y condición seca, teniendo una vista del comportamiento del pavimento ya sea en su condición natural que es la mezcla convencional y también agregando aditivo surfactante y que en nuestra investigación es el meollo, ya que queremos observar si al agregar el aditivo ya antes mencionado tiene las mismas características que el convencional.

**Tabla 43**

Cuadro de ensayos de tracción indirecta

CONDICIONES DE LAS MUESTRAS MAC-MAT		ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFATICAS MAC -MAT							
		D		t	St=(2000*P)/(t*t*D)		St PROMEDIO		
		DIAMETRO DE LA PROBETA	ALTURA DE LA PROBETA	CARGA MAXIMA	ESFUERZO A LA TENSION		RESISTENCIA PROMEDIO		
		(mm)	(mm)	(kg)	(Kg/cm2)	(Mpas)	(Kg/cm2)	(Mpas)	
CONDICION SECA	MAC	CONVENCIONAL PEN 120/150 COA 5.8% (132°C)	101.25	65.25	352.12	3393.09	34575.58		
			101.30	66.12	354.21	3366.66	34306.22	3359.92	34237.62
			101.38	66.25	350.25	3320.03	33831.07		
	MAC	POLIMERO SBS COA 5.7% (145°C)	101.25	65.25	370.15	3566.83	36345.99		
			101.02	68.12	380.12	3516.57	35833.81	3565.76	36335.07
			101.38	66.25	381.25	3613.88	36825.39		
	MAT	CONVENCIONAL PEN 120/150 COA 5.8% + ADITIVO 0.3% (105°C)	101.25	65.25	552.32	5322.25	54233.74		
			101.50	68.12	552.26	5084.91	51815.20	5267.92	53680.08
			101.38	66.25	569.32	5396.59	54991.30		
	MAT	POLIMERO SBS COA 5.7% +ADITIVO 0.4% (90°C)	101.50	69.52	557.00	5025.27	51207.51		
			101.15	67.12	556.00	5213.59	53126.51	5134.82	52323.82
			101.00	68.12	558.26	5165.60	52637.45		
CONDICION HUMEDA	MAC	CONVENCIONAL PEN 120/150 COA 5.8% (132°C)	101.40	67.50	321.32	2988.66	30454.42		
			101.20	65.12	312.26	3016.49	30738.01	2979.62	30362.32
			101.10	67.00	312.15	2933.71	29894.53		
	MAC	POLIMERO SBS COA 5.7% (145°C)	101.40	67.50	340.12	3163.52	32236.27		
			101.60	66.60	378.52	3561.24	36289.02	3391.79	34562.38
			101.10	67.00	367.15	3450.62	35161.86		
	MAT	CONVENCIONAL PEN 120/150 COA 5.8% + ADITIVO 0.3% (105°C)	101.40	67.50	511.12	4754.02	48443.49		
			101.60	66.60	519.00	4882.92	49756.95	4819.75	49113.30
			101.10	67.00	513.10	4822.32	49139.46		
	MAT	POLIMERO SBS COA 5.7% +ADITIVO 0.4% (90°C)	101.60	68.12	510.32	4694.12	47833.10		
			101.30	67.12	511.15	4785.94	48768.71	4737.13	48271.38
			102.50	68.10	518.77	4731.34	48212.34		

**Tabla 44**

Cuadro resumen tenido el comportamiento de las condiciones antes mencionadas.

RAZON DEL ESFUERZO A LA TENSION (TSR)					
CONDICIONES DE LAS MUESTRAS MAC-MAT	DESCRIPCION	St	TSR	% MIN. PARA	
		ESFUERZO A LA TENSION kpa	COEFICIENTE TSR (%)	MAC-MAT (%)	
CONDICION SECA	MESCLA ASFALTICA CALIENTE	CONVENCIONAL PEN 120/150 COA 5.8% ( 132°C )	3359.92	<b>88.68%</b>	<b>80.00%</b>
CONDICION SATURADA			2979.62		
CONDICION SECA	MESCLA ASFALTICA CALIENTE	POLIMERO SBS COA 5.7% ( 145°C )	3565.76	<b>95.12%</b>	<b>80.00%</b>
CONDICION SATURADA			3391.79		
CONDICION SECA	MESCLA ASFALTICA TIBIA	CONVENCIONAL PEN 120/150 COA 5.8% + ADITIVO 0.3% ( 105°C )	5267.92	<b>91.49%</b>	<b>80.00%</b>
CONDICION SATURADA			4819.75		
CONDICION SECA	MESCLA ASFALTICA TIBIA	POLIMERO SBS COA 5.7% +ADITIVO 0.4% ( 90°C )	5134.82	<b>92.26%</b>	<b>80.00%</b>
CONDICION SATURADA			4737.13		

*Nota.* Fuente: Elaboración propia**5.4. Resultados del Ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo****Tabla 45**

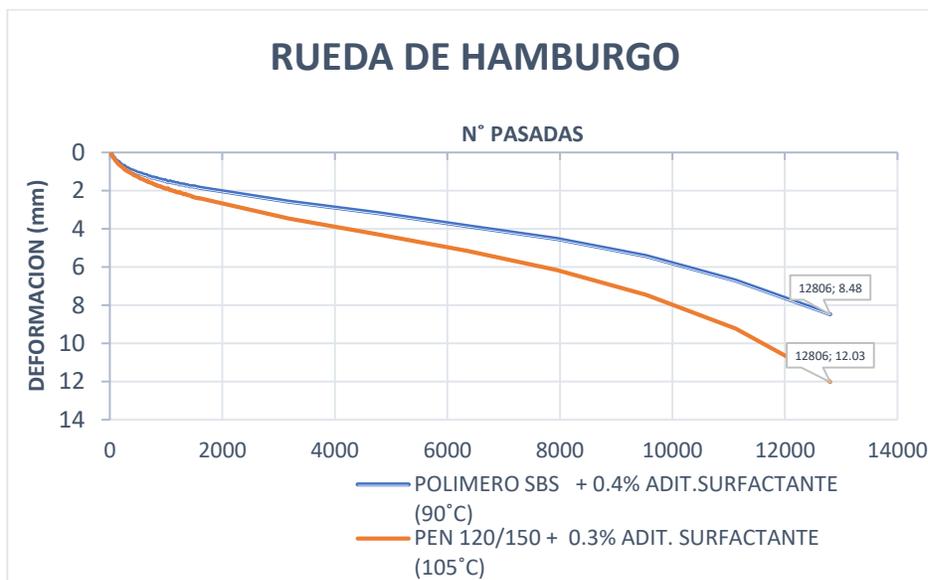
Resultados de desempeño con PEN 120/150 +0.3%Adit. y el POLIMERO SBS

<b>DATOS INICIALES DE LA PRUEBA</b>			
TIPO DE MUESTRA	: Moldes circulares	NUMERO MAX. PASADAS	: 20000 pasadas
DIAMETRO	: 150.0 mm	PROFUNDIDAD MAXIMA	: 12.5 mm
ESPEJOR	: 60.00 mm	VELOCIDAD DE LA RUEDA	: 52 pasadas/ min
<b>RESULTADOS FINALES</b>			
PROFUNDIDAD FINAL (POLIMERO SBS + 0.4% ADI.SURFAC. 90° C)		:8.48	12.03
PROFUNDIDAD FINAL (CEMENTO CONVENCIONAL PEN 120/150 + 0.3% ADI.SURFAC. 105° C)		:12.03	8.48
TIPO DE MEDIO TERMICO	: AGUA		
TEMPERATURA MAXIMA	: 50.5 °C		
TEMPERATURA MINIMA	:50.0 °C	PASADAS: 12806	

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

### Grafica 13

#### Ensayo de Prueba de Hamburgo



*Nota.* Fuente: Elaboración propia

## 5.5. Resultados de Costos Estimados de Materiales, Operativo y Producción

### 5.5.1. Costos Estimados de Materiales

Los siguientes cuadros presentan los costos estimados de materiales requeridos para la producción de mezclas asfálticas, calculados en base a la información proporcionada por la Planta de Asfalto de la Municipalidad Provincial del Cusco (MPC). Cabe mencionar que los precios son referenciales y pueden experimentar variaciones debido a factores como el tipo de cambio, ajustes de mercado o condiciones contractuales específicas.

Se consideró el diseño de mezcla convencional y mezcla modificada con polímero SBS, así como versiones tibias con aditivo de base vegetal o surfactante. Todos los cálculos se realizaron en base a una producción estándar de 1 tonelada (1000 kg) por tipo de mezcla, considerando la proporción de cemento asfáltico y el resto de materiales (agregados y cal hidratada) ajustados a completar el peso total.

**Tabla 46**

Costos de Materiales para PEN 120/150 (5.8% asfalto)

Material	Unidad	% Peso	Peso (kg)	Volumen	Precio Unitario	Costo (S/.)
Cemento Asfáltico	Gal	5.80%	58.00	8.120	S/ 28.00	S/ 227.36
Grava 1/2"	m3	5.28%	49.74	0.031	S/ 90.00	S/ 2.80
Grava 3/8"	m3	38.72%	364.74	0.228	S/ 102.00	S/ 23.25
Arena Triturada	m3	41.00%	386.22	0.241	S/ 130.00	S/ 31.38
Agregado Fino Cunyac	m3	12.00%	113.04	0.071	S/ 178.00	S/ 12.57
Cal Hidratada	kg	3.00%	28.26	28.260	S/ 3.50	S/ 98.91
<b>Costo de materiales</b>						<b>S/ 396.26</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla 29 de tiene la combinación teórica más adecuada, en donde se estimará costos por tonelada para todos los componentes de las mezclas asfálticas

**Tabla 47**

Costos de Materiales para POLÍMERO SBS (5.7% asfalto)

Material	Unidad	% Peso	Peso (kg)	Volumen	Precio Unitario	Costo (S/.)
Cemento Asfáltico	Gal	5.70%	57.00	7.980	S/ 35.00	S/ 279.30
Grava 1/2"	m3	5.28%	49.79	0.031	S/ 90.00	S/ 2.80
Grava 3/8"	m3	38.72%	365.13	0.228	S/ 102.00	S/ 23.29
Arena Triturada	m3	41.00%	386.63	0.242	S/ 130.00	S/ 31.41
Agregado Fino Cunyac	m3	12.00%	113.16	0.071	S/ 178.00	S/ 12.58
Cal Hidratada	kg	3.00%	28.29	28.290	S/ 3.50	S/ 99.02
<b>Costo de materiales</b>						<b>S/ 448.39</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

**Tabla 48**

Costos de Materiales para PEN 120/150 + ADITIVO (5.8% asfalto + 0.3% aditivo)

Material	Unidad	% Peso	Peso (kg)	Volumen	Precio Unitario	Costo (S/.)
Cemento Asfáltico	Gal	5.80%	58.00	8.120	S/ 28.00	S/ 227.36
Aditivo surfactante	kg	0.30%	2.83	3.000	S/ 52.50	S/ 157.50
Grava 1/2"	m3	5.28%	49.74	0.031	S/ 90.00	S/ 2.80
Grava 3/8"	m3	38.72%	364.74	0.228	S/ 102.00	S/ 23.25
Arena Triturada	m3	41.00%	386.22	0.241	S/ 130.00	S/ 31.38
Agregado Fino Cunyac	m3	12.00%	113.04	0.071	S/ 178.00	S/ 12.57
Cal Hidratada	kg	3.00%	28.26	28.260	S/ 3.50	S/ 98.91
<b>Costo de materiales</b>						<b>S/ 553.76</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración propia**Tabla 49**

Costos de Materiales para POLÍMERO SBS + ADITIVO (5.7% asfalto + 0.4% aditivo)

Material	Unidad	% Peso	Peso (kg)	Volumen	Precio Unitario	Costo (S/.)
Cemento Asfáltico	Gal	5.70%	57.00	7.980	S/ 35.00	S/ 279.30
Aditivo surfactante	kg	0.40%	3.77	4.000	S/ 52.50	S/ 210.00
Grava 1/2"	m3	5.28%	49.79	0.031	S/ 90.00	S/ 2.80
Grava 3/8"	m3	38.72%	365.13	0.228	S/ 102.00	S/ 23.29
Arena Triturada	m3	41.00%	386.63	0.242	S/ 130.00	S/ 31.41
Agregado Fino Cunyac	m3	12.00%	113.16	0.071	S/ 178.00	S/ 12.58
Cal Hidratada	kg	3.00%	28.29	28.290	S/ 3.50	S/ 99.02
<b>Costo de materiales</b>						<b>S/ 658.39</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración propia**5.5.2. Costos Estimados de Operación**

Se estimaron los costos operativos por tonelada de mezcla asfáltica considerando los principales componentes: mano de obra, energía/combustible, mantenimiento, transporte y otros costos indirectos.

La estimación se realizó para cuatro tipos de mezcla (convencional y tibia), todos bajo un escenario de producción al 100%.

**Tabla 50****Costos Estimados de Operación**

Tipo de mezcla	Mano de obra	Energía/ Combustible	Mantenimiento	Transporte	Otros costos	Total operativo
PEN 120/150	S/ 32.87	S/ 20.55	S/ 12.33	S/ 8.22	S/ 8.15	<b>S/ 82.12</b>
Polímero SBS	S/ 32.58	S/ 20.36	S/ 12.22	S/ 8.22	S/ 8.15	<b>S/ 81.53</b>
PEN 120/150 + Aditivo (5.8%C.O.A +0.3%ADI.)	S/ 41.02	S/ 15.50	S/ 17.05	S/ 8.22	S/ 8.15	<b>S/ 89.94</b>
Polímero SBS + Aditivo (5.7% C.O.A + 0.4% ADI.)	S/ 49.46	S/ 18.25	S/ 18.55	S/ 8.22	S/ 8.15	<b>S/ 102.63</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

**5.5.3. Costos Estimados de Producción**

Los costos de producción dependen del tipo de mezcla y temperatura de operación.

**Tabla 51****Costos Estimados de Producción**

Tipo de mezcla	Costo de materiales (S/.)	Costo operativo (S/.)	Costo total de producción (S/.)
PEN 120/150	S/ 396.26	S/ 82.12	<b>S/ 478.38</b>
Polímero SBS	S/ 448.39	S/ 81.53	<b>S/ 529.92</b>
PEN 120/150 + Aditivo (5.8%C.O.A +0.3%ADI.)	S/ 553.76	S/ 89.94	<b>S/ 643.70</b>
Polímero SBS + Aditivo (5.7% C.O.A +0.4% ADI.)	S/ 658.39	S/ 102.63	<b>S/ 761.02</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

## 5.6. Resultados Referenciales de Impacto Ambiental

En esta sección se presentan resultados referenciales en base a (EAPA, 2024), sobre las emisiones de gases contaminantes (CO<sub>2</sub>, COV, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, material particulado y CO) que son generadas durante la producción y compactación de mezclas asfálticas convencionales y tibias. Estos resultados están basados en estudios previos sobre emisiones en plantas de asfalto (Conferences, 2021)

**Tabla 52**

Estimaciones de Gases de efecto invernadero para el Impacto Ambiental

Mezcla Asfáltica	Temp. Producción / Compactación (°C)	CO <sub>2</sub> (kg/t)	COV (kg/t)	NO <sub>x</sub> (kg/t)	SO <sub>2</sub> (kg/t)	PM (kg/t)	CO (kg/t)
PEN 120/150 (MAC)	146 / 132	33.1	1.1	0.47	0.08	0.05	0.36
PEN 120/150 + 0.3% Aditivo (MAT)	132 / 105	23.7	0,75	0.42	0.06	0.04	0.3
SBS (MAC)	160 / 145	37.2	1.25	0,50	0.09	0.055	0.39
SBS + 0,4% Aditivo (MAT)	145 / 90	26.3	0.85	0.44	0.07	0.045	0.32

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

## Capítulo VI: Análisis de los Resultados

### 6.1. Análisis de Resultados de los Ensayos de Componentes de Mezcla Asfáltica

#### 6.1.1. Gradaciones establecidas en la norma ASTM D 3515 para mezcla asfáltica

**Tabla 53**

Gradación densa ASTM D 3515.

Tamaño del tamiz	Mezcla Densa								
	Tamaño Máximo Nominal de Agregados								
	2 "	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8 "	N° 4	N° 8	N° 16
Gradación de agregados (Grava; Fino y Filler si se requiere Porcentaje en Peso)									
2 1/2 "(63 mm)	100	-	-	-	-	-	-	-	-
90-									
2 "(50 mm)	100	100	-	-	-	-	-	-	-

			90-						
1 1/2"(37.5 mm)	-	100	100	-	-	-	-	-	-
	60-		90-						
1"(25.0 mm)	80		100	100	-	-	-	-	-
				90-					
3/4"(19.0 mm)	-	56-80	-	100	100	-	-	-	-
	35-		56-		90-				
1/2"(12.50 mm)	65	-	80	-	100	100	-	-	-
						90-			
3/8 "(9.5 mm)	-	-	-	56-80	-	100	100	-	-
	17-		29-				80-		
N° 4 (4.75 mm)	47	23-53	59	35-65	44-74	55-85	100	-	100
	10-		19-				65-		95-
N° 8 (2.36 mm)	36	15-41	45	23-49	28-58	32-67	100	-	100
									85-
N° 16 (1.18 mm)	-	-	-	-	-	-	40-80	-	100
N° 30 (600 µm)	-	-	-	-	-	-	25-65	-	70-95
N° 50 (300 µm)	3-15	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23	7-40	-	45-75
N°100 (150 µm)	-	-	-	-	-	-	3-20	-	20-40
N°200 (75 µm)	0-5	0-6	1-7	2-8	2-10	2-10	2-10	-	9-20

Nota. Fuente. Hot Mix Asphalt Material, Mixture Design and Construction. NAPA 1996

**Tabla 54**

Cantidad optima de agregado

COMBINACION DE AGREGADOS				
A.G 1/2"	A.G 3/8"	A.CHA	A.FI	CAL HIDRATADA
5.28%	38.72%	41.00%	12.00%	3.00%

Tabla 55

Distribución de agregado óptimo de acuerdo a la ASTM D 3515

Tamices ASTM	Abertura en mm.	PIEDRA CHANCADA 1/2"	ARENA CHANCADA	ARENA FINA CUNYAC	FILLER CAL HIDRATADA	% que Pasa	Especificaciones	Tolerancias	Datos de la Muestra
	Porcentaje	44.0	41.0	12.0	3.0	100	ASTM D 3515 (5)		
1"	25.000					100.0			
3/4"	19.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	+/- 8.0	
1/2"	12.500	88.0	100.0	100.0	100.0	94.7	90	- 100	+/- 8.0
3/8"	9.500	33.6	100.0	100.0	100.0	70.8			
4	4.750	0.8	84.4	99.9	100.0	50.0	44	- 74	+/- 7.0
8	2.350	0.4	49.0	99.7	100.0	35.2	28	- 58	+/- 6.0
16	1.180	0.4	31.6	99.3	100.0	28.1			
30	0.600	0.4	20.1	94.9	99.9	22.8			
50	0.300	0.4	11.6	52.9	99.7	14.2	5	- 21	+/- 5.0
100	0.150	0.3	8.1	8.6	99.0	7.5			
200	0.075	0.3	2.4	1.0	96.4	4.1	2	- 10	+/- 3.0

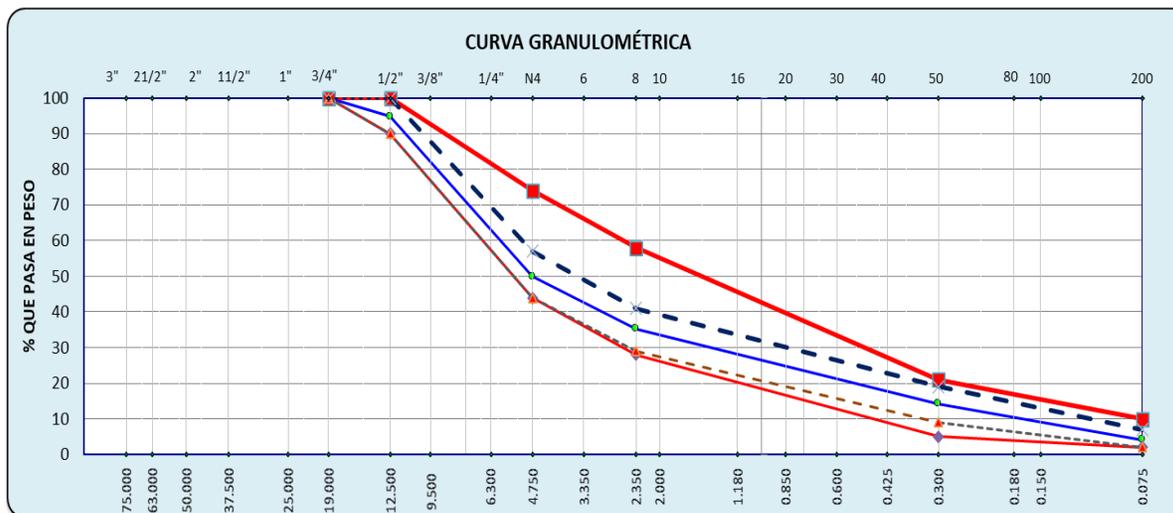
## OBSERVACIONES

Grava 50.0  
 Arena 45.8  
 Finos 4.1

Nota. Fuente: Elaboración propia

Grafica 14

Curva granulométrica óptima utilizada para mezcla asfáltica convencional PEN 120/150 y POLIMERO SBS



Nota. Fuente: Elaboración propia

Análisis Granulométrico de Tabla 53, Tabla 54 y Grafica 14

1. Durante el diseño de mezcla asfáltica, se detectó una deficiencia de finos que impedía cumplir la granulometría exigida por la ASTM D3515, afectando parámetros volumétricos clave del método Marshall.

2. Para corregir esta deficiencia, se incorporó cal hidratada como filler mineral conforme a la ASTM D242, que permite su uso cuando los agregados no cumplen por sí solos los requisitos granulométricos.
3. Se evaluaron tres dosificaciones: 1 %, 2 % y 3 %, determinándose como óptima la de 3 %, la cual permitió:
  - Cumplir con la curva granulométrica exigida.
  - Mejorar la cohesión interna y la adhesión asfalto-agregado.
  - Asegurar la resistencia a la humedad.
4. La mezcla final se conformó con: 5.28 % A.G. 1/2", 38.72 % A.G. 3/8", 41.00 % Arena Triturada, 12.00 % Arena Fina y 3.00 % Cal Hidratada.
5. Con esta dosificación, las mezclas diseñadas con PEN 120/150 y SBS cumplieron todos los criterios volumétricos exigidos por la norma EG-2013.

### 6.1.2. Análisis de resultados de los ensayos de agregados pétreos

**Tabla 56**

Análisis de resultados de los requerimientos del agregado grueso.

AGREGADO GRUESO				
ENSAYOS	NORMA	EXIGENCIAS	RESULTADOS	VERIFICACION
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	15% max	4.51%	CUMPLE
Abrasión Los Ángeles (Gradación "B")	MTC E 207	35% max	20.43%	CUMPLE
Abrasión Los Ángeles (Gradación "C")	MTC E 207	35% max	22.22%	CUMPLE
Adherencia	MTC E 517	+95	+95	CUMPLE
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% min	58.90%	CUMPLE
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% max	2.2%	CUMPLE
Caras fracturadas	MTC E 210	90/70	99.1/96.4	CUMPLE
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5 % max	0.29%	CUMPLE
Absorción	MTC E 206	1.0 % max	0.93%	CUMPLE

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

**Tabla 57**

Análisis de resultados de los requerimientos del agregado fino

<b>AGREGADO FINO</b>				
<b>ENSAYOS</b>	<b>NORMA</b>	<b>EXIGENCIAS</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>VERIFICACION</b>
Equivalente de arena	MTC E 114	70	73.59%	CUMPLE
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	40% min	44.90%	CUMPLE
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 max	6.00	CUMPLE
Índice de Plasticidad (malla N.° 40)	MTC E 111	NP	NP	CUMPLE
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% max	7.77%	CUMPLE
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% min	48.01%	CUMPLE
Índice de Plasticidad (malla N.° 200)	MTC E 111	NP	NP	CUMPLE
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5 % max	0.22%	CUMPLE
Absorción	MTC E 205	0.5 % max	0.47%	CUMPLE

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

Análisis de la Tabla 56 y Tabla 57

#### 1. Agregado Grueso

- Los resultados obtenidos para el agregado grueso demuestran que el material cumple satisfactoriamente con los requerimientos establecidos por las normas técnicas vigentes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y las especificaciones de la American Society for Testing and Materials (ASTM).
- Durabilidad al Sulfato de Magnesio (4.51 %) está muy por debajo del límite máximo de 15 %, indicando una buena resistencia a la intemperie.
- Abrasión Los Ángeles (Gradaciones B y C) obtuvo 20.43 % y 22.22 % respectivamente, ambas dentro del límite permitido ( $\leq 35$  %), lo que garantiza una adecuada resistencia al desgaste.
- Adherencia y Caras Fracturadas (95 y 99.1 %/96.4 %) superan ampliamente los requerimientos mínimos, reflejando una buena cohesión entre agregados y asfalto.

- Índice de Durabilidad (58.90 %) supera el mínimo del 35 %, lo cual valida su uso en capas de mezcla asfáltica, siendo esta un factor importante para determinar el agregado a usar.
- Partículas Chatas y Alargadas (2.20 %) se encuentran muy por debajo del máximo del 10 %, lo que favorece una buena compactación y estabilidad estructural.
- Sales Solubles Totales (0.29 %) y Absorción (0.93 %) están dentro de los límites establecidos, lo que indica bajo contenido de impurezas y una porosidad aceptable.

## 2. Agregado Fino

- El agregado fino también cumple con los requisitos requerimientos establecidos por las normas técnicas vigentes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), reflejando una calidad adecuada para su uso en mezclas asfálticas:
- Equivalente de Arena (73.59 %) supera el mínimo exigido (70 %), asegurando un contenido adecuado de materiales finos no plásticos.
- Angularidad del Agregado Fino (44.90 %) está por encima del mínimo requerido (40 %), favoreciendo una mejor interconexión entre partículas y estabilidad del esqueleto mineral. Este ensayo es un factor determinante para la resistencia al ahuellamiento.
- Azul de Metileno (6) se encuentra dentro del límite aceptable ( $\leq 8$ ), lo que indica un bajo contenido de partículas arcillosas perjudiciales para las mezclas asfálticas.
- Durabilidad al Sulfato de Magnesio (7.77 %) está ampliamente por debajo del máximo (18 %), garantizando buen comportamiento ante condiciones de desintegración por acción de sulfatos.
- Índice de Durabilidad (48.01 %) cumple con el mínimo (35 %), ratificando la calidad del agregado fino.
- Sales Solubles (0.22 %) y Absorción (0.47 %) dentro de límites aceptables ( $\leq 0.5$  %), lo cual indica bajo riesgo de alteraciones químicas o deterioro prematuro.

### 6.1.3. Análisis de resultados de los ensayos de ligante asfáltico

**Tabla 58**

Análisis de resultados de los requerimientos de bitúmenes.

ENSAYOS	NORMA	EXIGENCIAS	RESULTADOS	VERIFICACION
Penetración de Materiales Bituminosos (PEN 120/150)	MTC E 304	120-150	150	CUMPLE
Penetración de Materiales Bituminosos (BETUTEC IB)	MTC E 304	75-100	77	CUMPLE

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

#### Análisis de tabla 58

1. Se evaluaron las características de penetración de los ligantes bituminosos utilizados, de acuerdo con la norma MTC E 304, que establece los rangos aceptables para este parámetro.
2. El cemento asfáltico convencional PEN 120/150 presentó un valor de 150, cumpliendo con el rango exigido (120–150). Esto indica una buena trabajabilidad a temperaturas convencionales y una adecuada resistencia al envejecimiento y fatiga.
3. El asfalto modificado con POLIMERO SBS, mostró un valor de penetración de 77, dentro del rango permitido (75–100), lo cual confirma su comportamiento intermedio entre la flexibilidad y rigidez, adecuado para condiciones de menor temperatura de producción y compactación.
4. Ambos resultados validan el uso de estos materiales en el diseño de mezcla asfáltica, garantizando el cumplimiento normativo de los ligantes en función de su aplicación específica.

## 6.2. Análisis de Resultados del Ensayo Marshall

### 6.2.1. Requisitos establecidos para el diseño de mezcla asfáltica en caliente

**Tabla 59**

Análisis de resultados de diseño de mezcla asfáltica convencional PEN 120/150

PARAMETROS	REQUERIMIENTOS	%		VERIFICACION
			Óptimo	
GOLPES	N°	75	75	CUMPLE
CEMENTO ASFÁLTICO	%	-----	5.8	CUMPLE
PESO UNITARIO	kg/m <sup>3</sup>	-----	2.327	CUMPLE
VACIOS	%	3-5	4.1	CUMPLE
V.M.A.	%	14	15.8	CUMPLE
V. LL.C.A.	%	78	74	CUMPLE
POLVO / ASFALTO	%	0.6 - 1.3	1.2	CUMPLE
FLUJO	mm	8-14	12.5	CUMPLE
ESTABILIDAD	kN	815	1037.4	CUMPLE
ESTABILIDAD/ FLUJO	kg/cm	1700 - 4000	3318.5	CUMPLE

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

## Análisis de tabla 59

1. El diseño de mezcla asfáltica con cemento asfáltico convencional PEN 120/150 se ha desarrollado utilizando el método Marshall, aplicando 75 golpes por cara según lo establece la Norma Técnica EG-2013 del MTC para mezclas sometidas a tráfico alto. El tamaño máximo nominal del agregado utilizado es de ½" (12.5 mm).
2. El contenido óptimo de asfalto determinado fue de 5.8 % y el peso unitario de la mezcla compactada fue de 2327 kg/m<sup>3</sup>, indicando una densidad elevada y adecuada compactación, lo cual es esencial para la resistencia estructural del pavimento.
3. El porcentaje de vacíos resultó ser de 4.1 %, cumpliendo con el rango de la norma establecido entre 3 % y 5 %, lo cual garantiza un adecuado espacio para la expansión térmica del ligante y evita fenómenos como el sangrado o pérdida de estabilidad. El volumen de vacíos en el agregado mineral (V.M.A.) fue de 15.8 %, superior al mínimo requerido de 14 % para agregados de ½", asegurando así que exista suficiente espacio para alojar el asfalto.

4. Por su parte, el parámetro de vacíos llenos con asfalto (V.LL.C.A.) alcanzó un valor de 74 %, el cual, de acuerdo a la EG-2013, cumple para condiciones de tráfico alto, que exige un mínimo de 70 %. Este valor garantiza que una proporción significativa de los vacíos del agregado estén ocupados por el ligante, promoviendo la durabilidad y resistencia a la humedad de la mezcla.
5. En cuanto a la estabilidad Marshall, el valor alcanzado fue de 1037.4 kN, superando ampliamente el mínimo exigido de 815 kN para tráfico alto. Además, la relación estabilidad/flujo fue de 3318.5 kg/cm, ubicándose dentro del intervalo recomendado de 1700 a 4000 kg/cm, lo que evidencia un equilibrio adecuado entre rigidez estructural y capacidad de deformación.
6. En resumen, todos los parámetros evaluados cumplen con los criterios establecidos en la Norma Técnica EG-2013, lo que permite concluir que la mezcla diseñada con asfalto PEN 120/150 es técnicamente viable y apta para su uso en capas de rodadura expuestas a condiciones de tráfico alto, cumpliendo con los requerimientos de durabilidad, estabilidad, densidad y contenido de ligante.

**Tabla 60**

Análisis de resultados de diseño de mezcla asfáltica con POLIMERO SBS

PARAMETROS		REQUERIMIENTOS	% Óptimo	VERIFICACION
GOLPES	N°	75	75	CUMPLE
CEMENTO ASFÁLTICO	%	-----	5.7	CUMPLE
PESO UNITARIO	kg/m <sup>3</sup>	-----	2.351	CUMPLE
VACIOS	%	3-5	3.5	CUMPLE
V.M.A.	%	14	14.9	CUMPLE
V. LL.C.A.	%	78	75.1	CUMPLE
POLVO / ASFALTO	%	0.6 - 1.3	1.2	CUMPLE
FLUJO	mm	8-14	12.9	CUMPLE
ESTABILIDAD	kN	815	1163.1	CUMPLE
ESTABILIDAD/ FLUJO	kg/cm	1700 - 4000	3609.1	CUMPLE

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

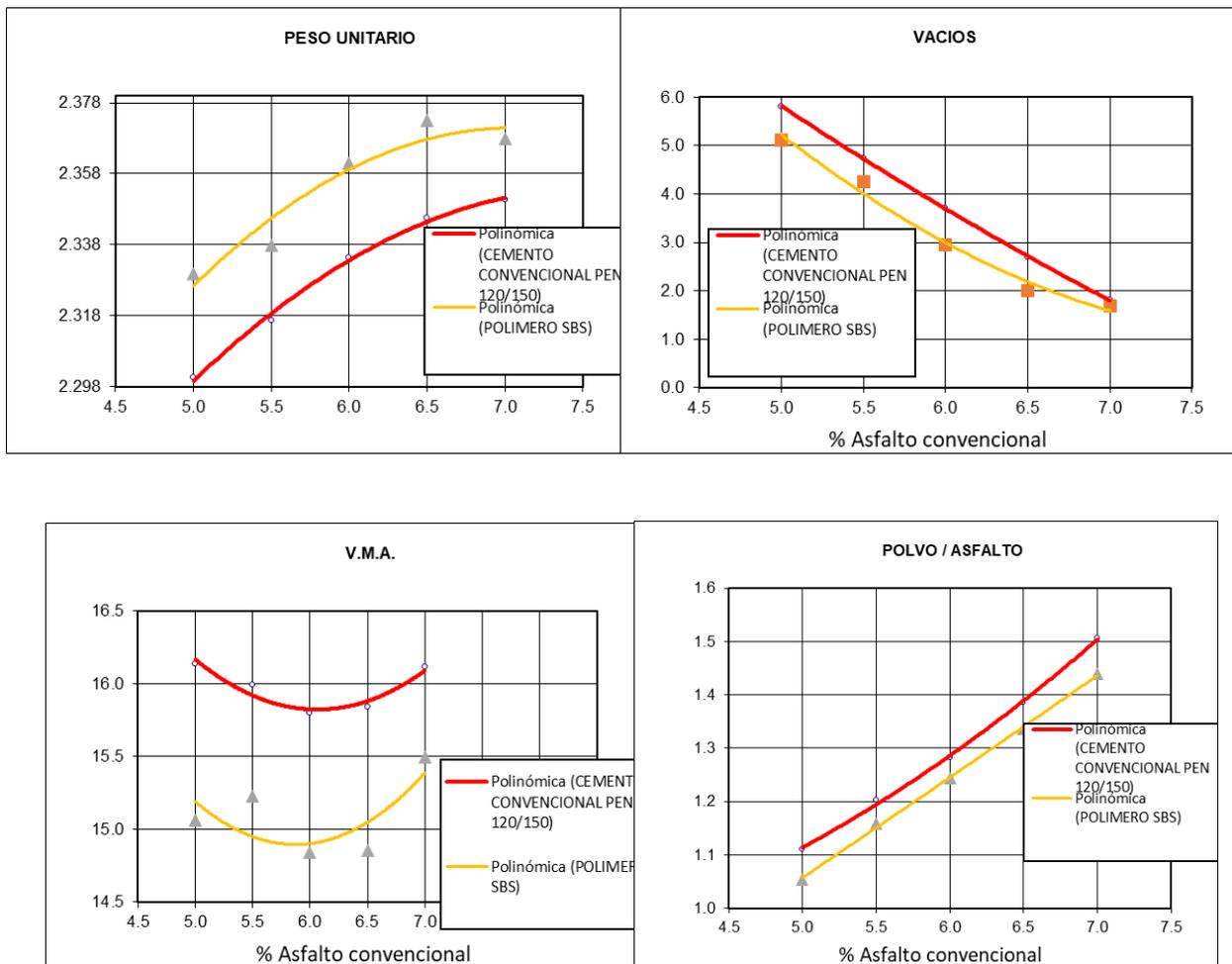
### Análisis de tabla 60

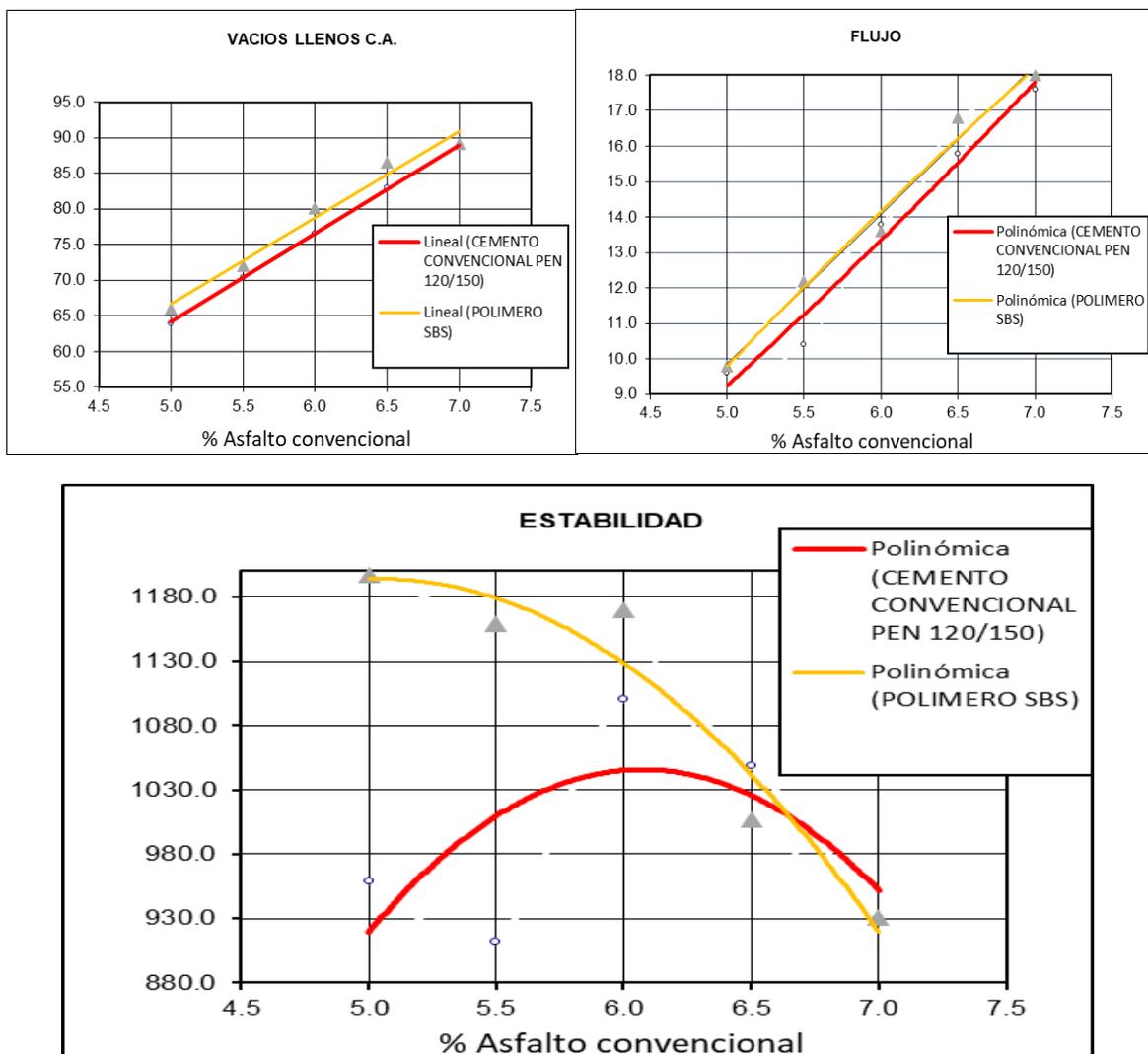
1. El diseño de mezcla asfáltica modificada con polímero SBS se desarrolló bajo el método Marshall aplicando 75 golpes por cara, lo cual corresponde al criterio establecido en la Norma EG-2013 para mezclas sometidas a tráfico alto
2. El contenido óptimo de cemento asfáltico modificado con POLIMERO SBS fue de 5.7 %, ligeramente menor al del diseño convencional, reflejando una mejora en la capacidad de cohesión y adhesión del ligante modificado, lo cual permite una dosificación más eficiente. El peso unitario alcanzado fue de 2,351 kg/m<sup>3</sup>, superior al obtenido con asfalto convencional, lo cual indica una compactación más eficiente y mayor densidad estructural.
3. El porcentaje de vacíos de aire fue de 3.5 %, cumpliendo con el rango establecido por la EG-2013 entre 3 % y 5 %, lo que asegura espacio suficiente para la expansión térmica sin sacrificar la resistencia al daño por humedad. El volumen de vacíos en el agregado mineral (V.M.A.) fue de 14.9 %, superando el valor mínimo requerido de 14 %, lo cual garantiza que la mezcla tenga capacidad suficiente para alojar el asfalto.
4. Asimismo, el valor de vacíos llenos con asfalto (V.LL.C.A.) fue de 75.1 %, superior al mínimo de 70 % requerido para tráfico alto, lo cual indica una excelente capacidad de retención del ligante dentro de la estructura granular, promoviendo durabilidad ante el paso de cargas y condiciones climáticas adversas.
5. En cuanto a la estabilidad Marshall, el valor fue de 1163.1 kN, considerablemente superior al mínimo requerido de 815 kN, demostrando una mejora significativa gracias al uso del polímero SBS. Esta mayor estabilidad garantiza una mejor resistencia al ahuellamiento y a las cargas repetidas. Además, la relación estabilidad/flujo fue de 3609.1 kg/cm, dentro del intervalo establecido de 1700 a 4000 kg/cm, lo que evidencia un excelente equilibrio entre rigidez y flexibilidad.
6. En conjunto, todos los parámetros analizados cumplen los criterios de aceptación establecidos en la Norma Técnica EG-2013, lo cual valida que esta mezcla modificada con polímero SBS presenta un comportamiento superior al

de una mezcla convencional. Destaca especialmente en estabilidad y peso unitario, lo cual se traduce en una mezcla más resistente, duradera y apropiada para condiciones de tráfico severo.

**Grafica 15**

Curvas de energía de compactación constante POLIMERO SBS vs Cemento asfáltico convencional PEN 120/150





*Nota.* Fuente: Elaboración propia

#### Análisis de Grafica 15

1. El polímero con SBS presenta mayor densidad, lo que indica mejor compactación y mayor cohesión interna de la mezcla.
2. Ambas mezclas mantienen vacíos dentro del rango recomendado por la Norma EG-2013 (3-5 %). Sin embargo, el SBS logra valores más estables en torno al 4 %.
3. Ambas cumplen el mínimo exigido (mín. 14 %), aunque el PEN 120/150 tiene mayor volumen de vacíos en agregado, a su vez el SBS proporciona un mayor

relleno de vacíos con asfalto a menor contenido, reflejando una mejor eficiencia volumétrica.

4. El SBS presenta un flujo más controlado, lo que puede indicar mejor elasticidad y menor deformación permanente, como también la mezcla con SBS supera en estabilidad al PEN 120/150, indicando mayor resistencia a la carga.

## 6.2.2. Requisitos establecidos para el diseño de mezcla asfáltica tibia

### 6.2.2.1. Requisitos establecidos para el diseño de mezcla asfáltica tibia con cemento asfáltico convencional pen 120/150

**Tabla 61**

Análisis de resultados de diseño de mezcla asfáltica convencional + tibia 0.3% aditivo surfactante

PARAMETROS		EXIGENCIAS	RESULTADOS CEMENTO ASFALTICO CONVENCIONAL PEN 120/150 +0.3 % ADI.SURFAC.				
TEMPERATURA DE COMPACTACION			132	120	110	105	100
% ADITIVO SURFACTANTE			0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
% C.A.	%		5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
P.U. BRIQUETA	kg/m3	-----	2.331	2.325	2.315	2.306	2.3
VACIOS	%	3-5	3.9	4.1	4.5	4.9	5.2
V.M.A.	%	14	15.8	16	16.3	16.7	16.9
V.LL.A	%	78	75.1	74	72.1	70.3	69.3
POLVO / ASF.	%	0.6 - 1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
FLUJO	Mm	8-14	12	12.4	12.6	13.2	14
ESTABILIDAD	kN	815	1042.5	1038.1	1037.2	1036	1033
ESTABILIDAD/ FLUJO	kg/cm	1700 - 4000	3420	3303	3246	3093	2911
VERIFICACION			CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE

#### Análisis de Tabla 61

1. A una temperatura de compactación de 105 °C, la mezcla asfáltica tibia mostro parámetros volumétricos adecuados.
2. Vacíos: Se registró un 4.9% de vacíos, valor dentro del rango óptimo recomendado por la Norma EG-2013 (3% – 5%), lo que indica una compactación adecuada.

3. V.M.A. (Vacíos en el Agregado Mineral): El valor fue de 16.7 %, superior al mínimo requerido (mínimo 15 %), lo que permite una adecuada incorporación del ligante asfáltico.
4. Flujo: Se obtuvo un flujo de 13.2 mm, valor que se encuentra dentro del rango aceptable (8 mm a 14 mm), conforme a la EG-2013.
5. Estabilidad Marshall: El valor alcanzado fue de 1036 kN, indicando una resistencia estructural favorable, capaz de soportar cargas sin deformarse prematuramente.
6. Relación Estabilidad/Flujo: Se calculó en 3093 kg/cm, lo cual confirma que la mezcla presenta un equilibrio adecuado entre resistencia y flexibilidad.

**Tabla 62**

Análisis de resultados de diseño de mezcla asfáltica convencional +tibia 0.5% aditivo surfactante

PARAMETROS	EXIGENCIAS	RESULTADOS					
		CONVENCIONAL	PEN 120/150	CEMENTO +0.5 % ADI.SURFAC.	ASFALTICO		
TEMPERATURA DE COMPACTACION			132	120	110	105	100
% ADITIVO SURFACTANTE			0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
% C.A.	%		5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
P.U. BRIQUETA	kg/m <sup>3</sup>	----- -	2.335	2.33	2.32	2.31	2.301
VACIOS	%	3-5	3.7	3.9	4.3	4.7	5.1
V.M.A.	%	14	15.6	15.8	16.1	16.5	16.8
V.LL.A	%	78	76	75	73.1	71.2	69.4
POLVO / ASF.	%	0.6 - 1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
FLUJO	Mm	8-14	11.6	12.2	12.4	13	13.8
ESTABILIDAD	Kn	815	1047.8	1046.1	1039.9	1038	1035

ESTABILIDAD/ FLUJO	kg/cm	1700 - 4000	3564	3379	3307	3144	2957
VERIFICACION			CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE

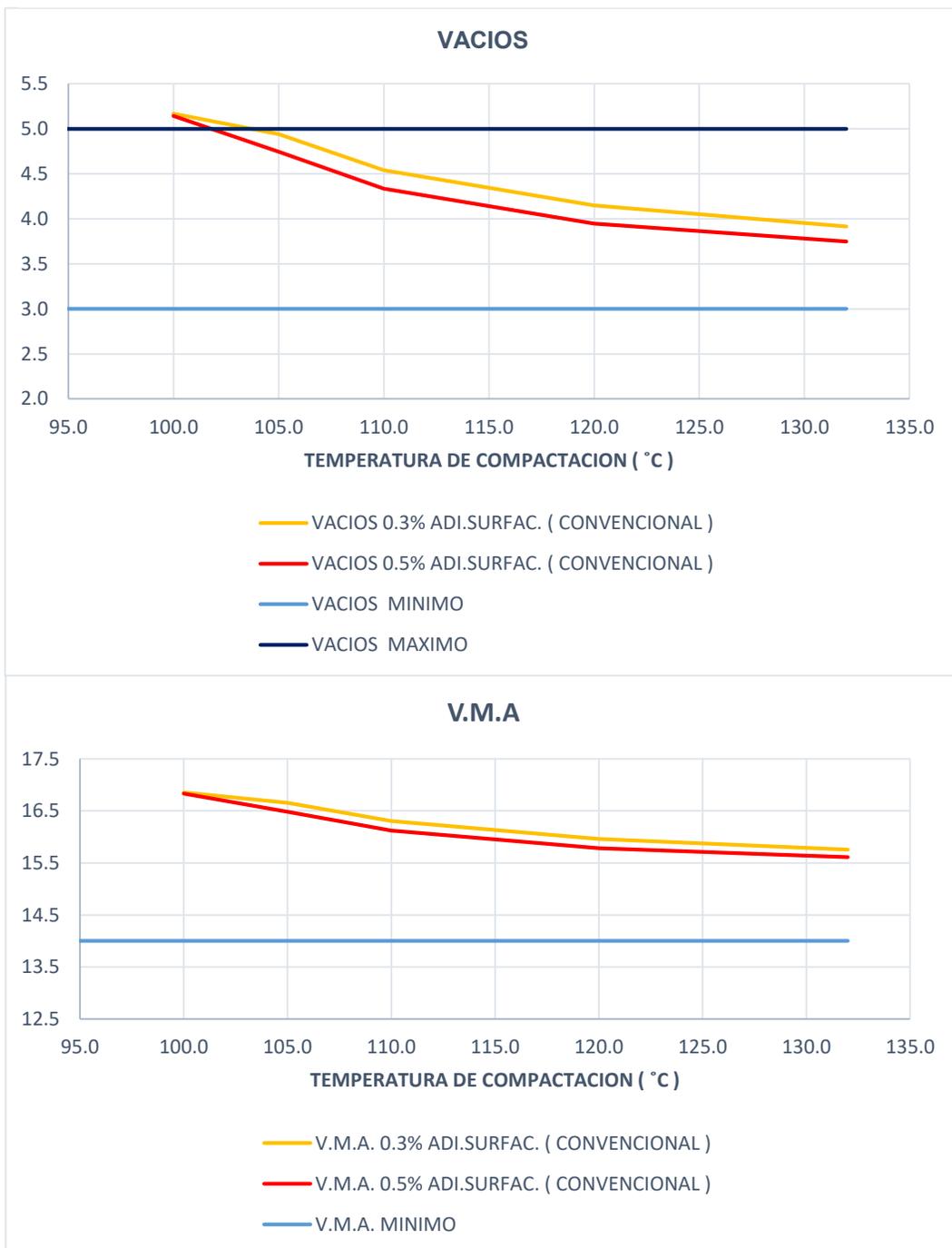
*Nota.* Fuente: Elaboración propia

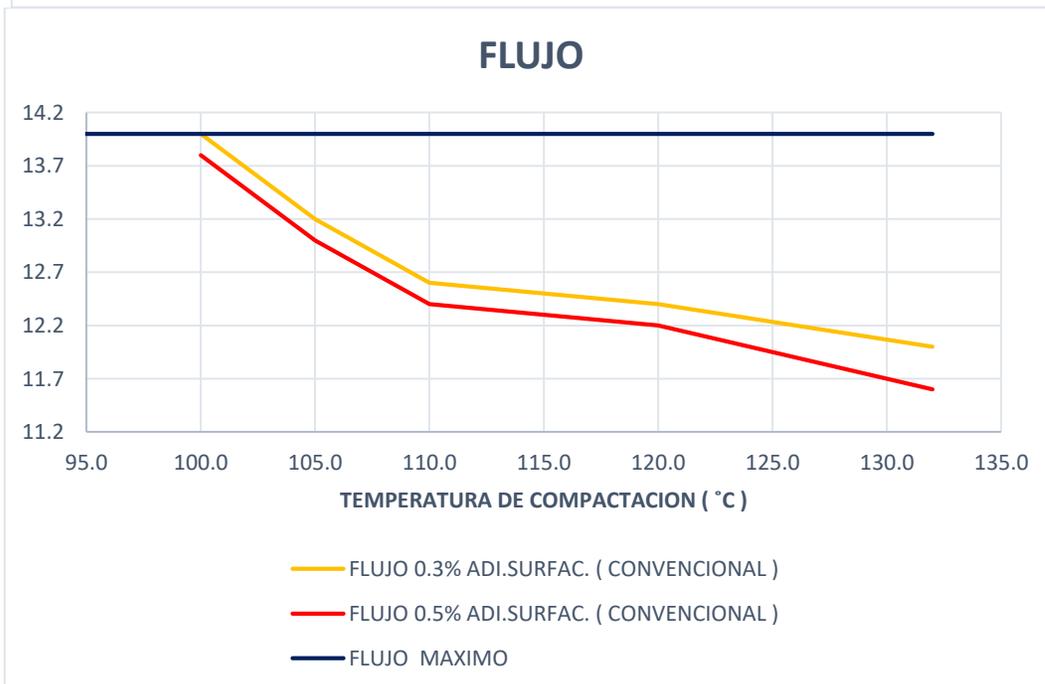
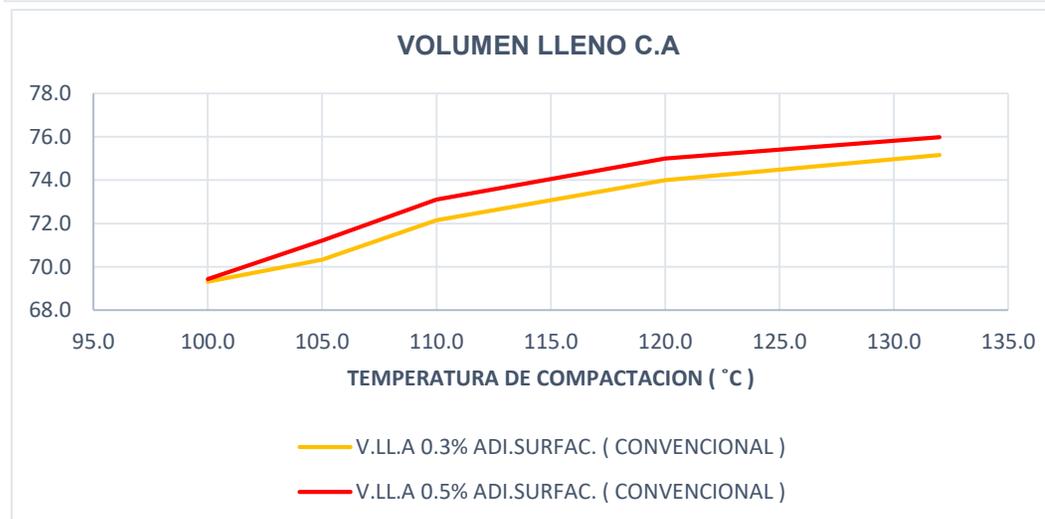
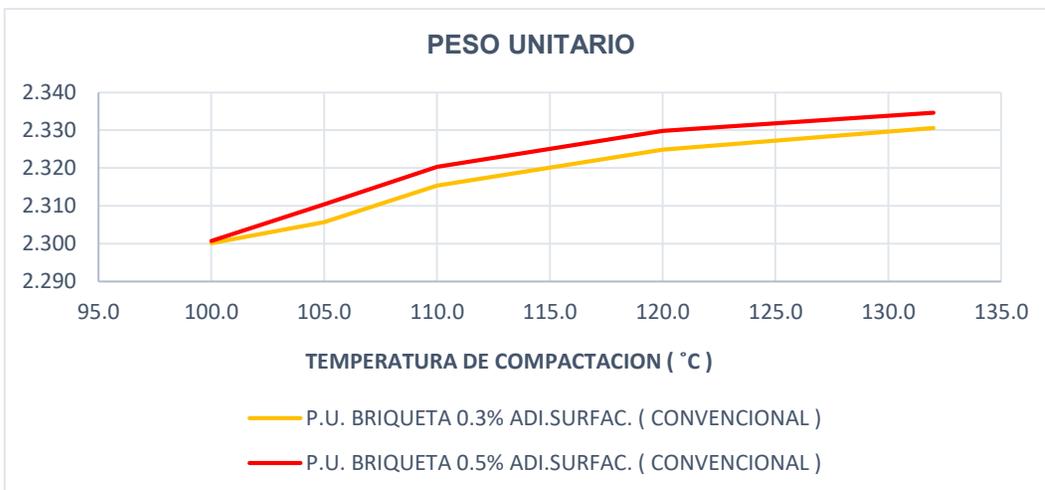
#### Análisis de tabla 62

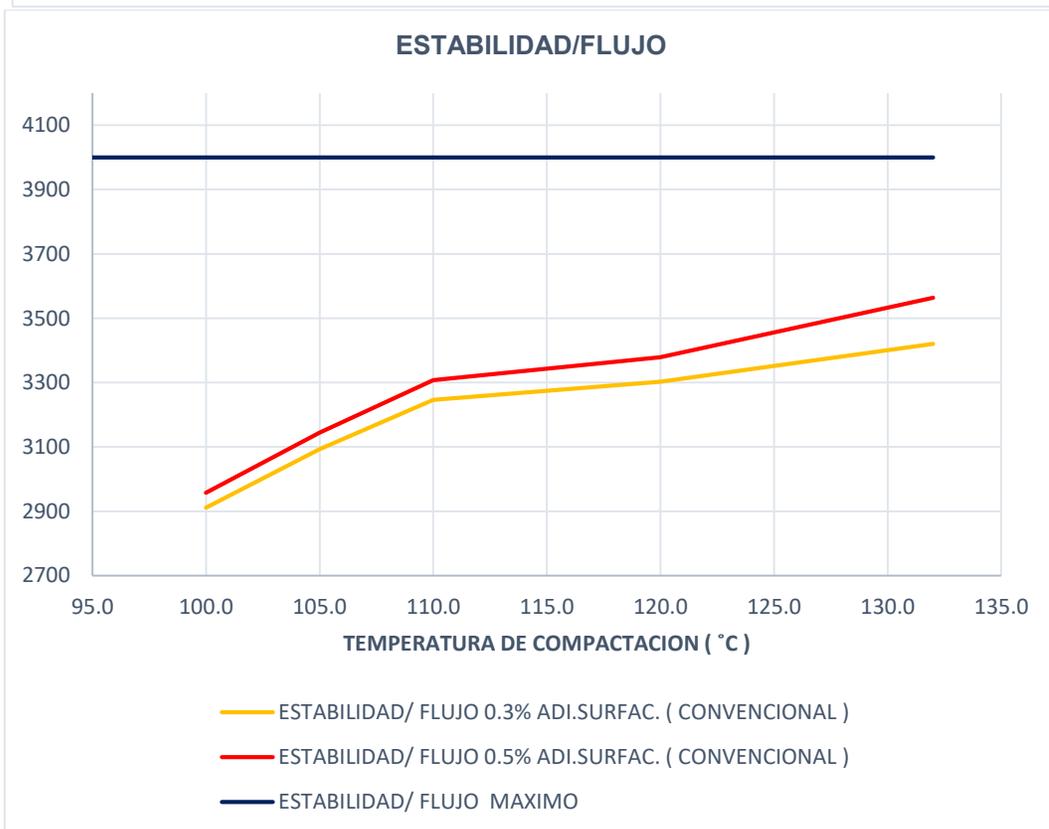
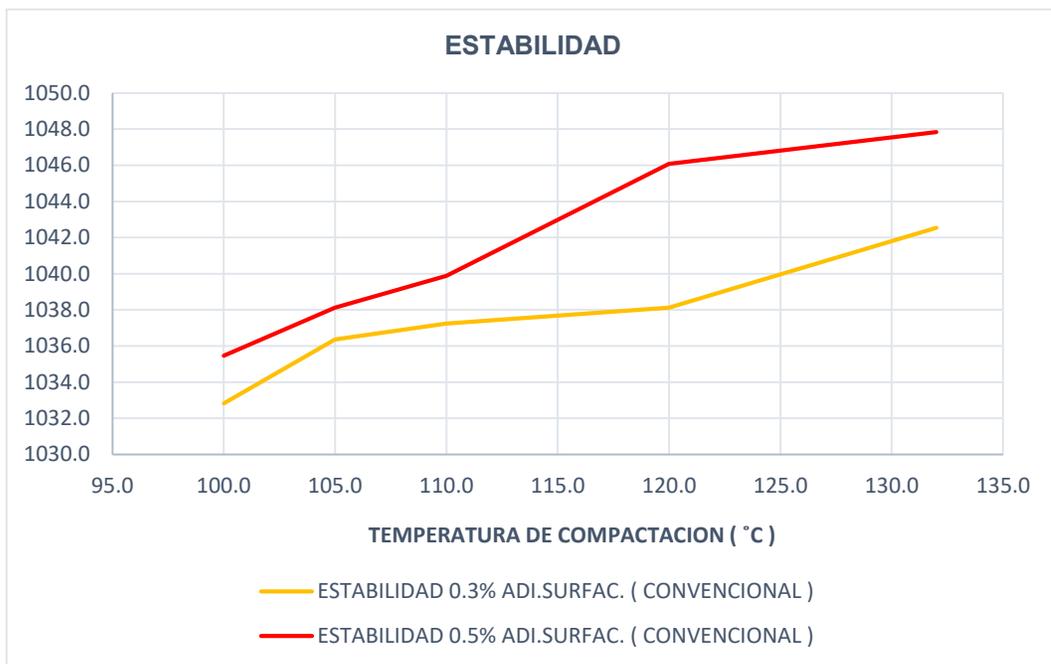
1. A una temperatura de compactación de 105 °C, la mezcla asfáltica tibia mostro parámetros volumétricos adecuados.
2. El contenido de vacíos es 4.7 %. Cumple con el rango establecido por la norma (entre 3 % y 5 %).
3. El V.M.A. es 16.5 %. Satisface el valor mínimo requerido (14 %) para un tamaño máximo nominal de 1/2".
4. La Estabilidad Marshall: 1038 kgf (10.38 kN), valor que supera ampliamente el mínimo de 8.15 kN establecido en la norma, garantizando buena resistencia estructural.
5. El flujo es de 13 mm, está dentro del rango permitido (8 a 14 mm), lo que indica deformabilidad adecuada.
6. Relación Estabilidad/Flujo: 3144 kg/cm, valor elevado que evidencia una buena relación entre resistencia y flexibilidad.

### Grafica 16

Curvas de energía de compactación constante POLIMERO SBS vs Cemento asfáltico convencional PEN 120/150







*Nota.* Fuente: Elaboración propia

### Análisis de Grafica 16

Ambas mezclas como son la mezcla convencional y la mezcla modificada cumplen con todos los parámetros Marshall exigidos por la (Manual de Carreteras MTC, 2013)

1. La mezcla con 0.5 % aditivo tiene mayor estabilidad, pero la de 0.3 % también es alta y dentro del rango recomendado.
2. El flujo es menor en la mezcla con 0.5 %, lo que indica mejor resistencia a la deformación.
3. La relación Estabilidad/Flujo es prácticamente igual en ambas mezclas y supera ampliamente el mínimo normativo.
4. En parámetros volumétricos ( $V_a$  y  $VMA$ ), ambos diseños están dentro de lo aceptable, garantizando buena estructura interna.

#### 6.2.2.2. Requisitos establecidos para el diseño de mezcla asfáltica tibia con cemento asfáltico modificado con SBS

**Tabla 63**

Análisis de resultados de diseño de mezcla asfáltica con POLIMERO SBS +tibia 0.4% aditivo surfactante

PARAMETROS	EXIGENCIAS	RESULTADOS CEMENTO ASFALTICO MODIFICADO CON SBS +0.4 % ADI.SURFAC.						
TEMPERATURA DE COMPACTACION		145	120	110	100	90	85	
% ADITIVO SURFACTANTE		0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	
% C.A.	%	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7		
P.U. BRIQUETA	kg/m3	-----	2.362	2.36	2.349	2.337	2.32	2.31
VACIOS	%	3-5	3.1	3.2	3.7	4.2	4.8	5.15
V.M.A.	%	14	14.6	14.7	15.1	15.5	16.1	16.4
V.LL.A	%	78	78.5	78	75.8	73.2	70	68.6
POLVO / ASF.	%	0.6 - 1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
FLUJO	Mm	8-14	11.8	12.2	12.4	12.8	13.2	13.8
ESTABILIDAD	kN	815	1165.5	1162.8	1160.7	1160	1155	1119.1
ESTABILIDAD/ FLUJO	kg/cm	1700 - 4000	3890	3755	3691	3580	3449	3197
VERIFICACION			CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

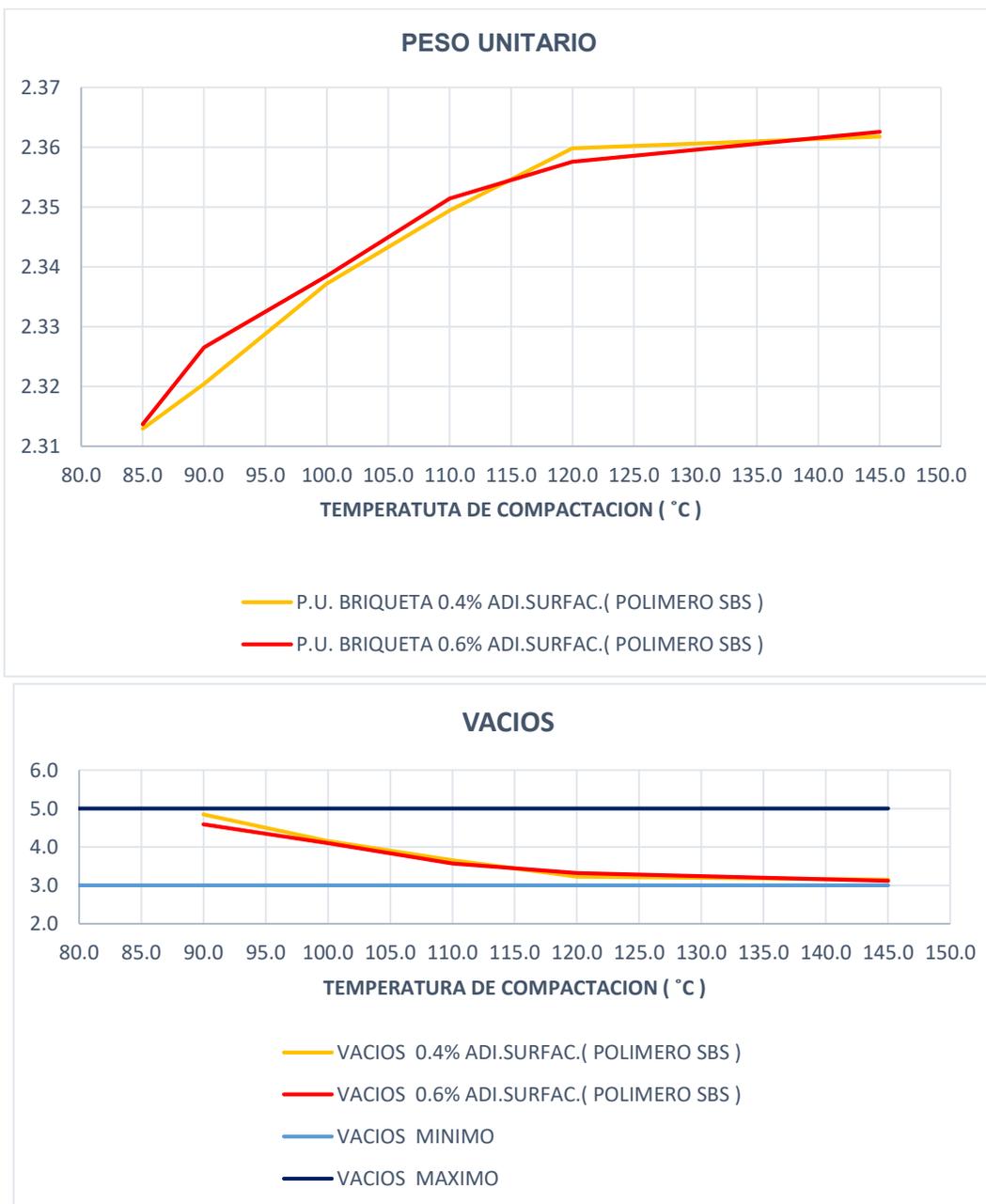


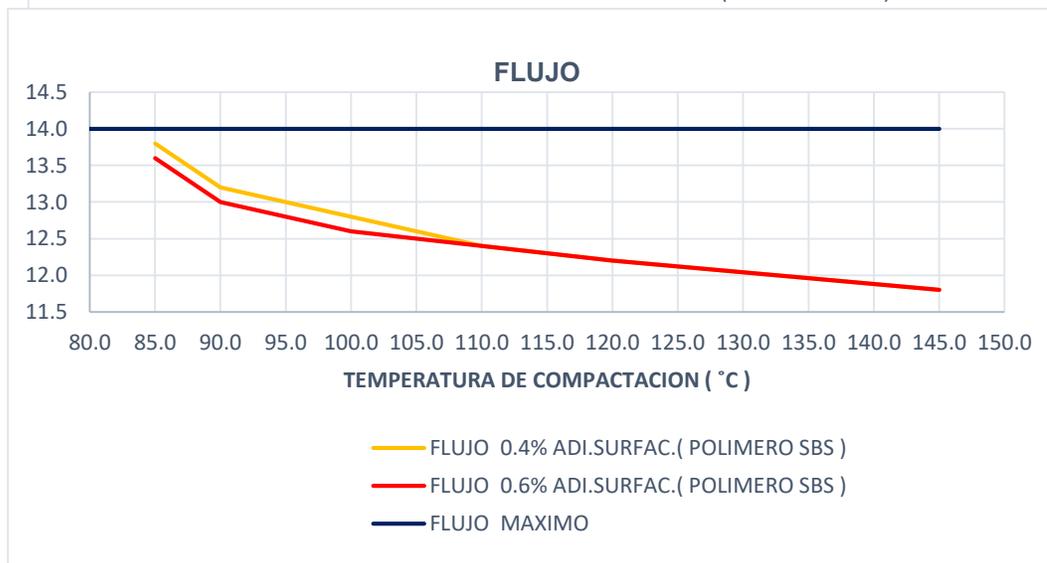
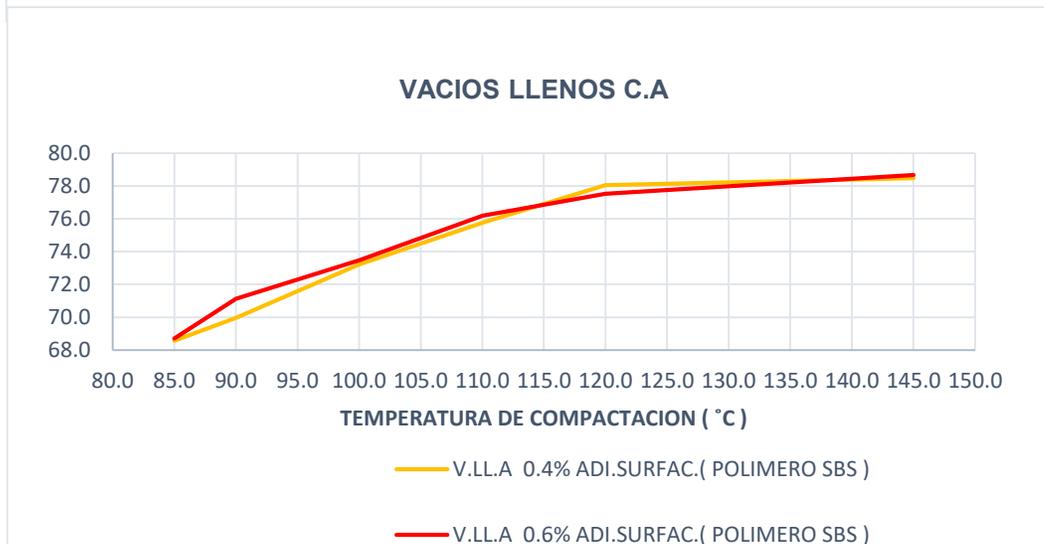
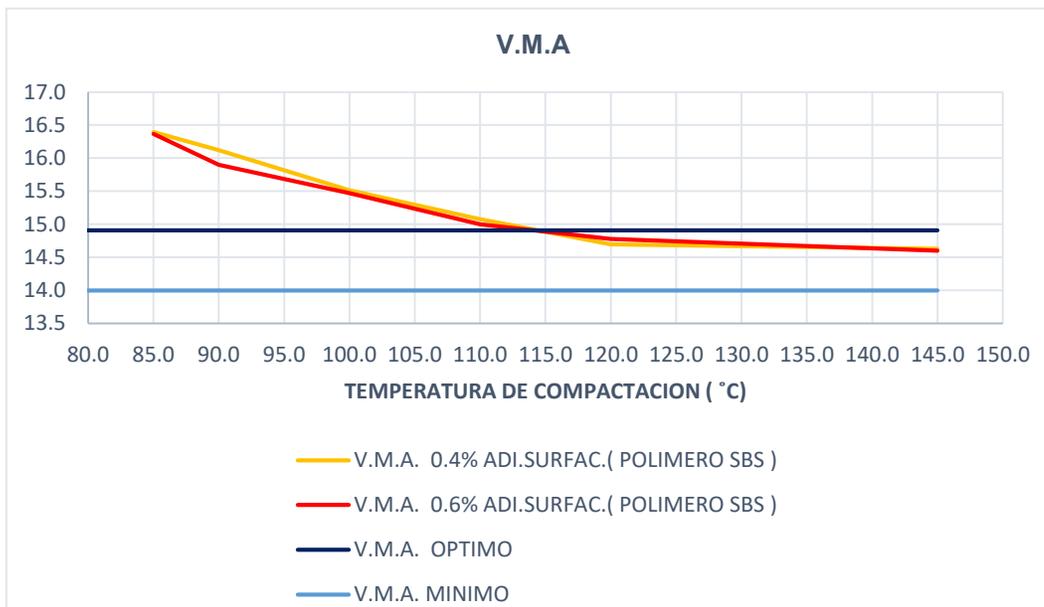
#### Análisis de tabla 64

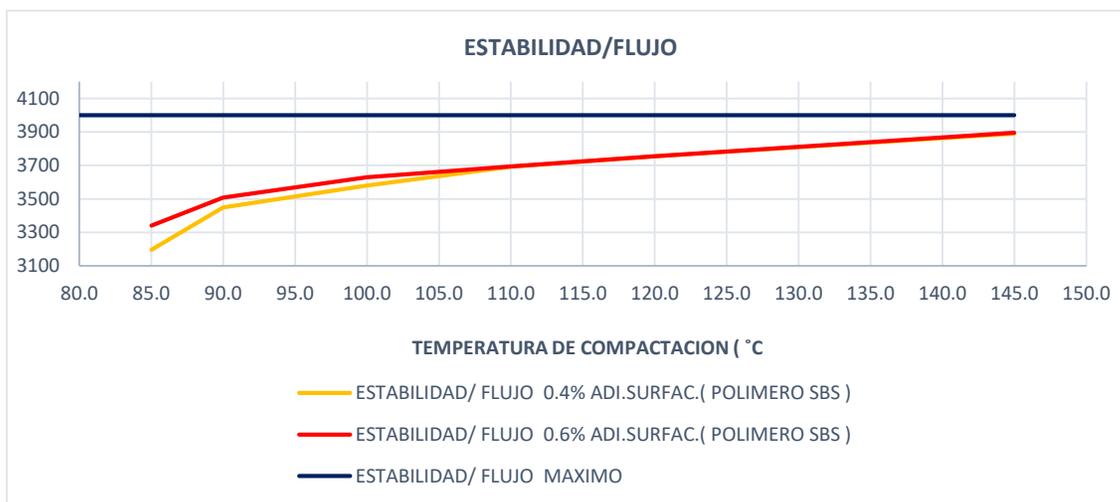
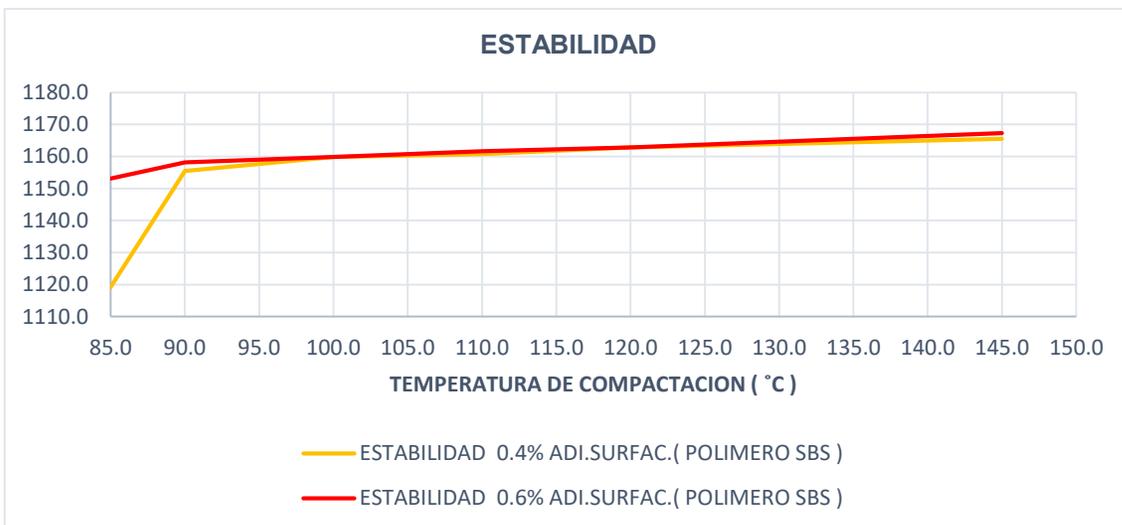
1. Se puede apreciar en el cuadro resumen que a 90 °C cumple con los parámetros requeridos de Marshall.
2. El vacío es de 4.6 %, lo cual indica que la compactación está por el límite requerido del Marshall.
3. El contenido de vacíos en el agregado mineral es alto, lo cual permite una buena retención del asfalto y mejora la resistencia al envejecimiento, lo que es favorable para la durabilidad.
4. Estabilidad (1158 kN) y Flujo (13.0 mm). La mezcla mantiene una buena estabilidad, indicando resistencia al esfuerzo de carga. El flujo es elevado, lo cual refleja un comportamiento más plástico y menos rígido, que podría ser adecuado para zonas con baja temperatura, pero no para climas cálidos.
5. Relación Estabilidad/Flujo (3507 kg/cm). Este valor es relativamente alto, indicando que la mezcla estudiada conserva un equilibrio aceptable entre los parámetros rigidez y deformabilidad.

### Grafica 17

Análisis de resultados de diseño de mezcla asfáltica con POLIMERO SBS +tibia 0.6% aditivo surfactante







### Análisis de Grafica 17

1. Ligera disminución del peso unitario con la incorporación del aditivo, lo cual indica menor densidad de mezcla compactada a menor temperatura.
2. Los vacíos aumentan significativamente con el aditivo, aunque con 0.6 % tienden a estabilizarse. Esto puede favorecer la durabilidad, pero comprometer estabilidad.
3. V.M.A. incremento con aditivo, lo cual mejora la capacidad de recubrimiento del asfalto y reduce el riesgo de segregación.
4. V.LL.A disminuyen con el uso del aditivo, señalando que hay menos asfalto ocupando los vacíos del agregado. Es necesario monitorear para evitar mezcla porosa o poco cohesiva.

5. Ligeramente mayor el flujo con aditivo, lo que puede estar relacionado con mayor trabajabilidad, pero podría comprometer resistencia a deformaciones plásticas.
6. La estabilidad se mantiene alta, aunque disminuye levemente con el uso del aditivo.
7. La relación estabilidad/flujo disminuye, lo que indica una ligera reducción en la rigidez o resistencia relativa de la mezcla con el uso del aditivo.

### 6.2.2.3. Requisitos establecidos para el diseño de mezcla asfáltica tibia con cemento asfáltico modificado con sbs vs cemento asfáltico convencional PEN 120/150

**Tabla 65**

Análisis de resultados de diseño de mezcla asfáltica con POLIMERO SBS VS CEMENTO ASFALTICO CONVENCIONAL PEN 120/150

PARAMETROS	REQUERIMIENTOS	RESULTADOS	RESULTADOS
		CEMENTO ASFALTICO MODIFICADO CON SBS +0.4 % ADI.SURFAC.	CEMENTO ASFALTICO CONVENCIONAL PEN 120/150 +0.3 % ADI.SURFAC.
<b>TEMPERATURA DE COMPACTACION</b>		<b>90</b>	<b>105</b>
% ADITIVO SURFACTANTE		0.4	0.3
% C.O.A. %		5.7	5.8
P.U.	kg/m3	2.32	2.306
BRIQUETA	-----		
VACIOS	% 3-5	4.8	4.9
V.M.A.	% 14	16.1	16.7
V.LL.A	% 78	70	70.3
POLVO / ASF.	% 0.6 - 1.3	1.2	1.3
FLUJO	Mm 8-14	13.2	13.2
ESTABILIDAD	kN 815	1155	1036
ESTABILIDAD/FLUJO	kg/cm 1700 - 4000	3449	3093
VERIFICACION		CUMPLE	CUMPLE

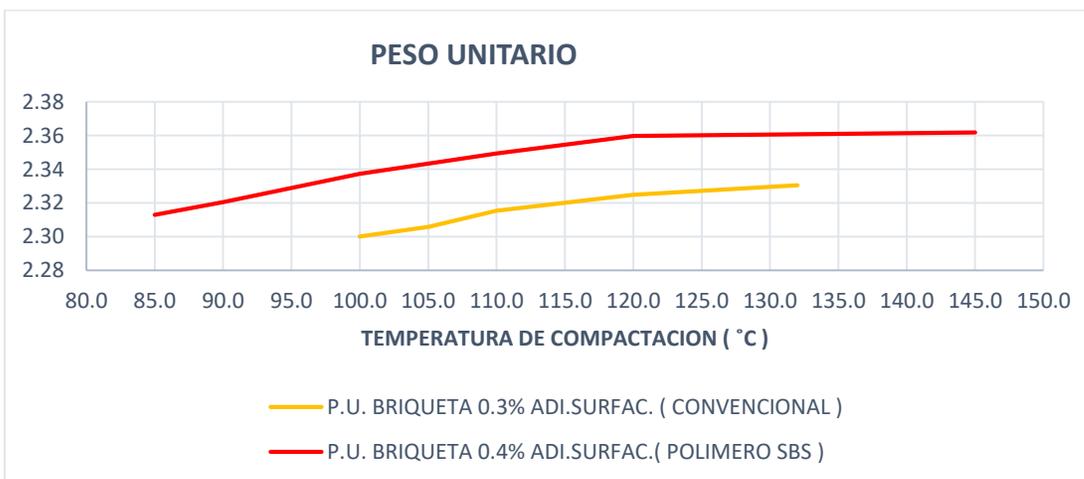
Nota. Fuente: Cuadro resumen de los parámetros óptimos de Marshall a distintas temperaturas de compactación del polímero SBS y el cemento convencional PEN 120/150 con distintos porcentajes de aditivo.

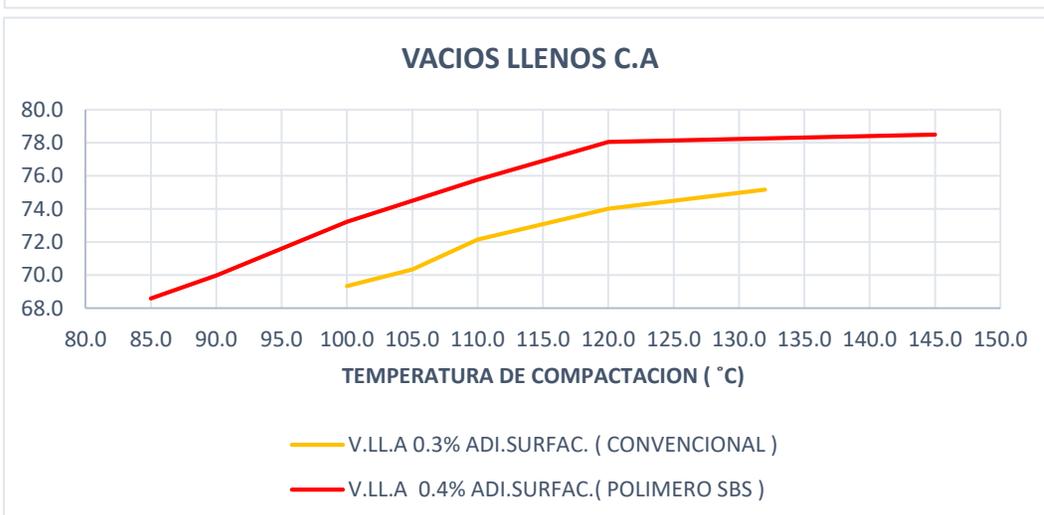
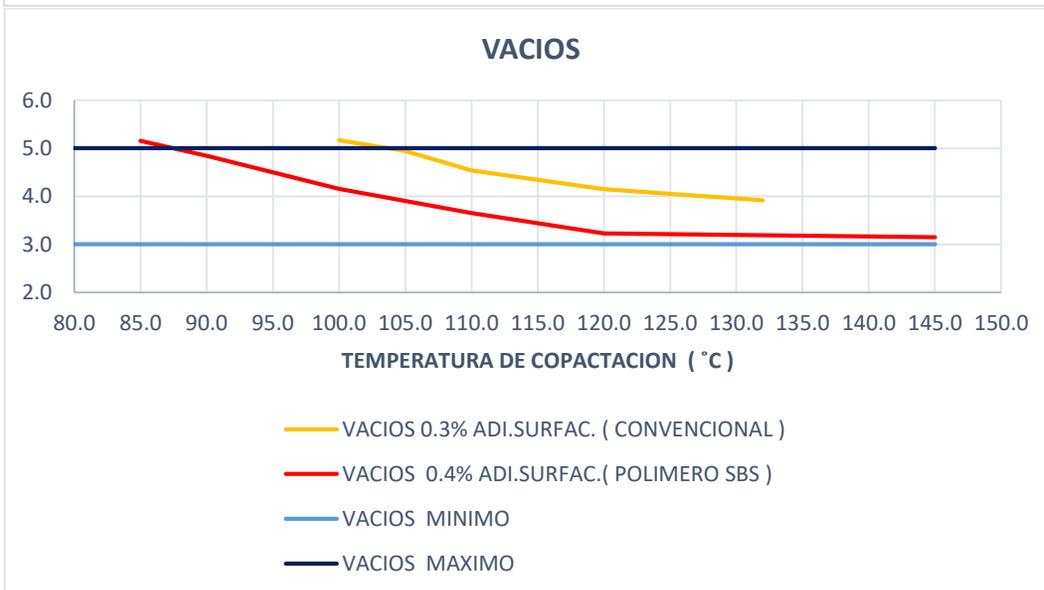
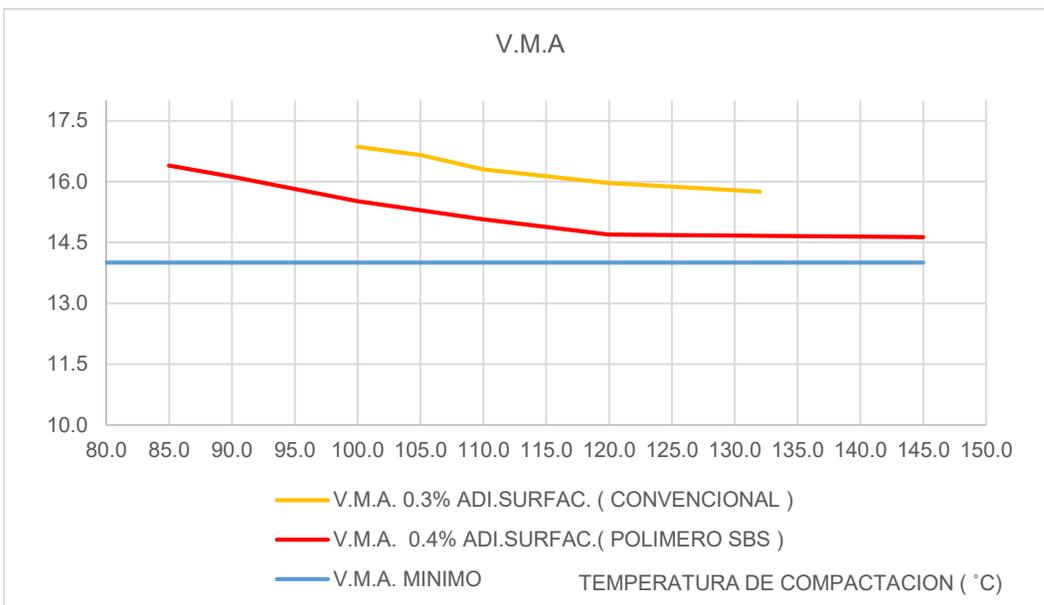
### Análisis de Tabla 65

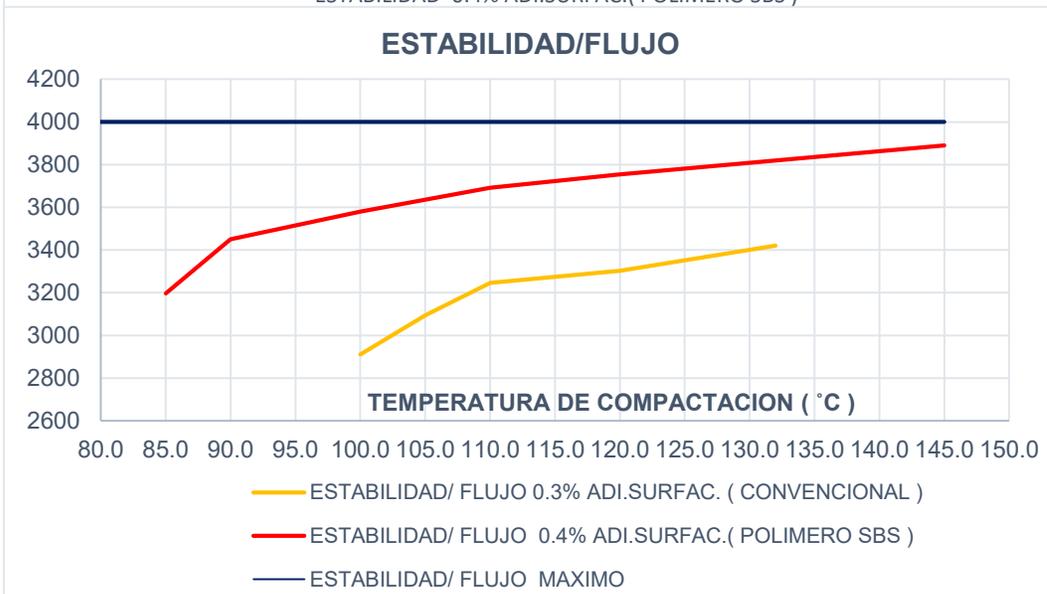
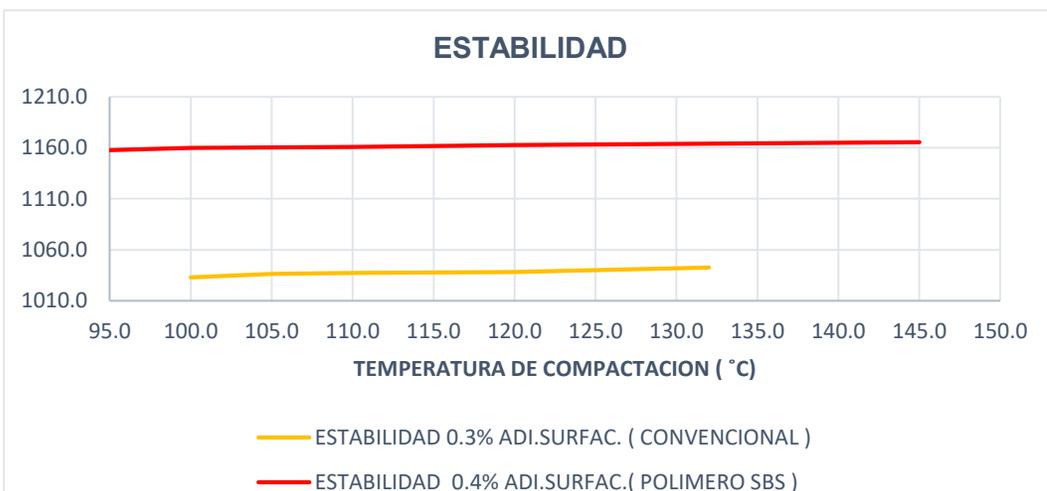
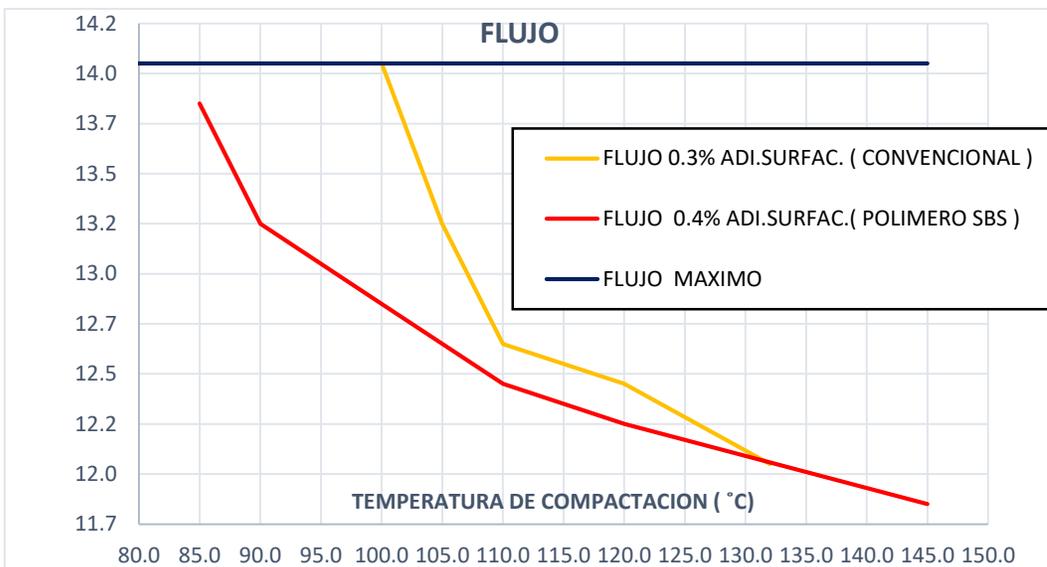
1. Ambas mezclas cumplen con todos los parámetros exigidos por la Norma Técnica EG-2013.
2. La mezcla modificada con SBS + 0.4% de aditivo, compactada a 90 °C, muestra:
  - Mayor estabilidad que la mezcla convencional.
  - Mayor relación estabilidad/flujo, lo cual indica mejor desempeño estructural.
3. Cumplimiento de todos los requisitos normativos con menor temperatura de compactación, lo que implica:
  - Menor consumo de energía,
  - Menores emisiones de CO<sub>2</sub>,
  - Ahorro en costos de producción.
4. Esto respalda la eficiencia técnica y ambiental de la mezcla tibia (MAT) frente a la mezcla caliente (MAC).

### Grafica 18

Curvas de energía de compactación constante cemento asfáltico MODIFICADO CON POLIMERO SBS con aditivo surfactante con aditivos óptimos a diferentes temperaturas de compactación.







Nota. Fuente: Elaboración propia

### Análisis de Grafica 18

1. Se puede ver que con aditivo de 0.4% surfactante en el polímero SBS tiene mejores propiedades que el cemento convencional PEN 120/150 con aditivo de 0.3%.
2. Compactando a 90°C la mezcla asfáltica modificada tiene mejores parámetros de Marshall que compactando a 105 °C la mezcla asfáltica convencional, puesto que estos ya son los óptimos de acuerdo a cada asfalto.
3. En los vacíos se evidencia que ambas mezclas cumplen con los rangos normativos, sin embargo, la mezcla con SBS mantiene los vacíos dentro de un rango más controlado a pesar de ser compactada a menor temperatura. Esto sugiere una mayor eficiencia de compactación por acción del polímero SBS y el aditivo, optimizando la estructura interna sin sacrificar durabilidad.
4. V.M.A., Aunque ambas mezclas presentan V.M.A. dentro del límite mínimo ( $\geq 14\%$ ), la mezcla con SBS muestra una ligera disminución respecto a la mezcla convencional, lo cual es aceptable siempre que se mantenga el volumen efectivo de asfalto. Esta reducción puede estar asociada a una mejor distribución de finos promovida por el polímero y el aditivo.
5. V.L.L.A. En el gráfico, se observa un aumento progresivo en la mezcla con SBS respecto a la convencional. Esto implica una mejor retención del ligante dentro del sistema granular, lo que proporciona una mezcla más cohesionada y resistente al envejecimiento y desprendimiento de agregado.
6. La mezcla con SBS presenta menor deformación (menor flujo) en todas las dosificaciones, lo que indica una mezcla más rígida y menos susceptible a deformaciones plásticas bajo carga, ideal para vías con tránsito medio o pesado.
7. El gráfico muestra que la mezcla SBS alcanza valores de estabilidad significativamente más de la mezcla convencional, lo que respalda su mejor desempeño estructural frente a cargas dinámicas.
8. Relación Estabilidad/Flujo. Esta relación es clave en el diseño Marshall. La mezcla con SBS exhibe un valor superior a 3889, muy por encima del límite normativo (1700-4000), mientras que la mezcla convencional apenas lo cumple. Esto sugiere

que la mezcla SBS no solo es más estable, sino que también presenta una mejor relación esfuerzo-deformación, ideal para zonas de alta exigencia.

### 6.3. Análisis de Resultados del Ensayo Lottman

**Tabla 66**

Análisis de resultados de diseño de mezcla asfáltica calientes

PARAMETROS DETERMINADOS	MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL PEN 120/150	MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON POLIMERO SBS
MESCLA ASFALTICA CALIENTE		
Densidad Máxima Teórica (gr/cm <sup>3</sup> )	2.426	2.439
Contenido de asfalto (%)	5.8	5.7
Seco (STD) k Pa	3359.92	3565.76
Húmedo (STM) k Pa	2979.62	3391.79
TSR (%)	88.68%	95.12%
REQUERIMIENTO	min. 80.00%	min. 80.00%
VERIFICACION	CUMPLE	CUMPLE

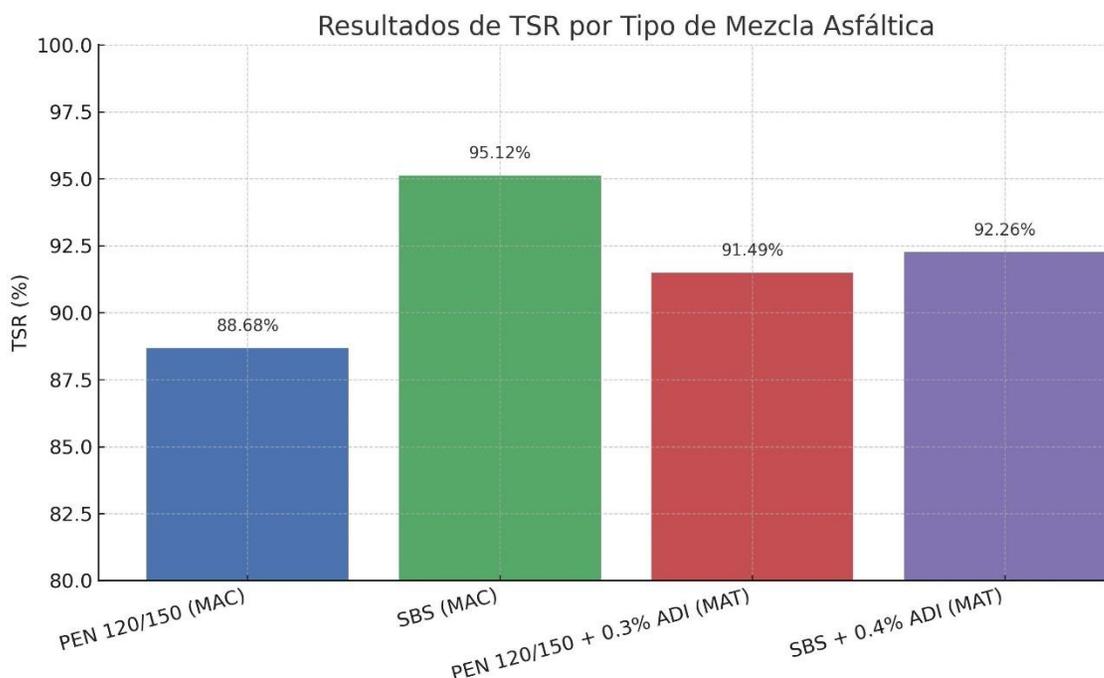
**Tabla 67**

Análisis de resultados de diseño de mezcla asfáltica tibia.

PARAMETROS DETERMINADOS	MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL PEN 120/150 + 0.3% ADI.SURFAC. (105 °C)	MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON POLIMERO SBS + 0.4% ADI.SURFAC. (90°C)
MESCLA ASFALTICA TIBIA		
Densidad Máxima Teórica (gr/cm <sup>3</sup> )	2.426	2.439
Contenido de asfalto (%)	5.8	5.7
Seco (STD) k Pa	5267.92	5134.82
Húmedo (STM) k Pa	4819.75	4737.13
TSR (%)	91.49%	92.26%
REQUERIMIENTO	min. 80.00%	min. 80.00%
VERIFICACION	CUMPLE	CUMPLE

## Grafica 19

### Histograma de Resultados de TSR



*Nota.* Fuente: Elaboración propia

### Análisis de Tabla 66, Tabla 67 y del Grafico 19

#### Caliente

1. PEN 120 /150 Aunque presenta buena resistencia, el TSR está por debajo del 90 %, lo que indica una susceptibilidad moderada al daño por humedad. Su desempeño mecánico es aceptable, pero con menor durabilidad bajo condiciones húmedas.
2. SBS Supera ampliamente a la mezcla convencional, tanto en resistencia como en durabilidad. Un TSR de 95.12 % indica excelente comportamiento ante el daño por humedad, ideal para condiciones climáticas adversas.

#### Tibia

1. La resistencia mejora considerablemente en comparación con la mezcla caliente. El TSR es de 91.49 %, mostrando buen desempeño ante la humedad. El uso del aditivo mejora claramente las propiedades.

2. SBS Aunque la resistencia es ligeramente menor que la mezcla convencional tibia, el TSR es más alto, mostrando mayor durabilidad. Además, al compactarse a menor temperatura (90 °C), se mejora la eficiencia energética del proceso.

#### 6.4. Análisis de Resultados del Ensayo de desempeño-Rueda Cargada de Hamburgo

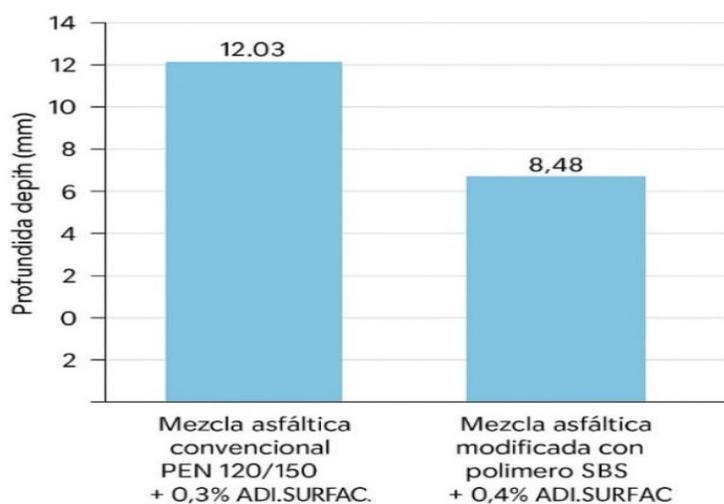
**Tabla 68**

Análisis de resultados del ensayo de desempeño- rueda cargada de Hamburgo

PARAMETROS DETERMINADOS	EXIGENCIAS	MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL PEN 120/150 + 0.3% ADI.SURFAC. (105 °C)	MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON POLIMERO SBS + 0.4% ADI.SURFAC. (90°C)
Densidad Máxima Teórica (gr/cm3)		2.426	2.439
Contenido de asfalto (%)		5.8	5.7
Vacios (%)	7 % ±1	6.4	6.5
Cantidad de pasadas alcanzadas	20000	12806	12806
Profundidad de huella (mm)	12	12.03	8.48

**Grafica 20**

Representación de Ahuellamiento



*Nota.* Fuente: Elaboración propia

Análisis de Tabla 68 y de la Grafica 20

1. La mezcla modificada con polímero SBS muestra un mejor comportamiento ante la deformación plástica con una profundidad de huella significativamente menor (8.48 mm), 28.7 % más baja que la mezcla convencional (12.03 mm).
2. Criterio estructural en función del ESSAL. Para un tránsito equivalente a  $3.75E+05$  ejes equivalentes, ambas mezclas alcanzan 12,806 pasadas antes de una falla significativa, lo que refleja un comportamiento estructural aceptable para este nivel de tránsito.
3. Sin embargo, la mezcla con SBS presenta una mejor resistencia al ahuellamiento, lo cual indica mayor durabilidad ante cargas repetidas, lo cual es deseable para zonas altoandinas donde el mantenimiento periódico es difícil.
4. Influencia de la temperatura de compactación. La mezcla modificada se compactó a solo 90 °C, frente a los 105 °C de la mezcla convencional. A pesar de esta diferencia, no mostró reducción en su desempeño, lo que refleja eficiencia térmica y operativa, ideal para obras en zonas frías con alta altitud.

#### 6.5. Análisis de Resultados de Costo de Materiales, Operativo y Producción

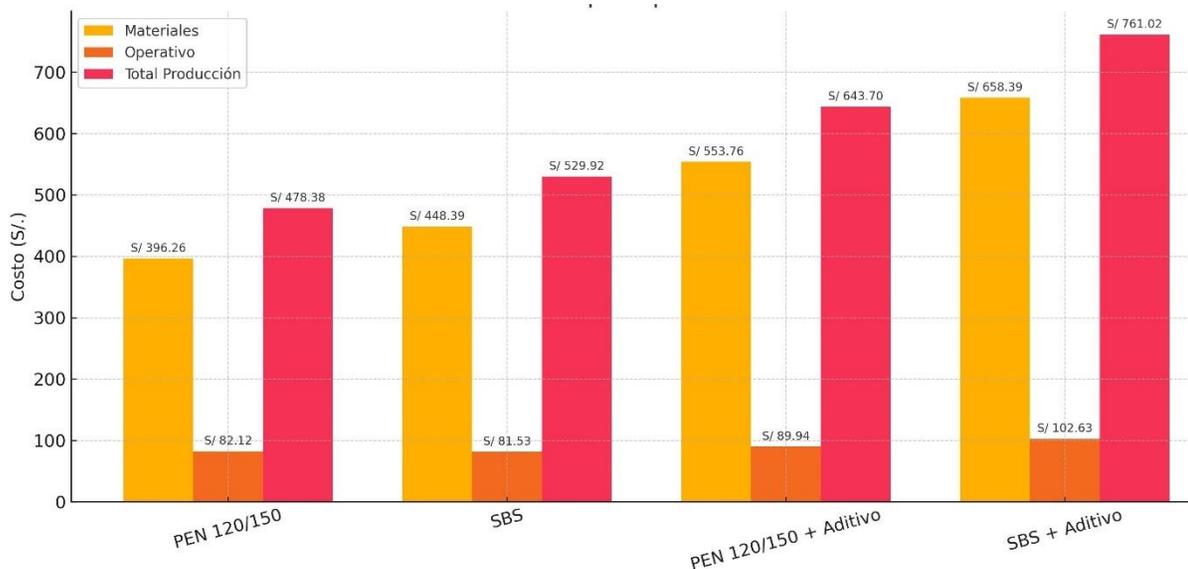
**Tabla 69**

Análisis de Costo de Materiales, Operación y Producción

Tipo de mezcla	Costo de materiales (S/.)	Costo operativo (S/.)	Costo total de producción (S/.)
PEN 120/150	S/ 396.26	S/ 82.12	<b>S/ 478.38</b>
Polímero SBS	S/ 448.39	S/ 81.53	<b>S/ 529.92</b>
PEN 120/150 + Aditivo (5.8%C.O.A +0.3%ADI.)	S/ 553.76	S/ 89.94	<b>S/ 643.70</b>
Polímero SBS + Aditivo (5.7% C.O.A +0.4% ADI.)	S/ 658.39	S/ 102.63	<b>S/ 761.02</b>

## Grafica 21

### Representación de Costo de Materiales, Operación y Producción



*Nota.* Fuente: Elaboración propia

### Análisis de Tabla 69 y Grafica 21

#### Costo de materiales

- Se observa un incremento significativo en los costos al incorporar aditivos. La mezcla base PEN 120/150 presenta el menor costo (S/ 396.26), mientras que la mezcla modificada con polímero SBS + aditivo alcanza el valor más alto (S/ 658.39), lo que representa un aumento del 66% respecto a la mezcla convencional.

#### Costo operativo

- Este componente se mantiene relativamente estable entre las mezclas, con una ligera variación. La mezcla más costosa en operación es la SBS + aditivo (S/ 102.63), superando por aproximadamente S/ 20 a la mezcla convencional. Esta diferencia puede atribuirse a ajustes en temperatura, manejo o tiempos de producción.

#### Costo total de producción

- El costo global más bajo se encuentra en la mezcla PEN 120/150 (S/ 478.38), mientras que la mezcla SBS + aditivo alcanza los S/ 761.02. Esto representa

un incremento del 59% en el costo total de producción. Sin embargo, este aumento puede justificarse por la mejora en desempeño mecánico y durabilidad de la mezcla modificada, como se ha evidenciado en los ensayos de huella y vacíos.

## 6.6. Análisis de Resultados de Impacto Ambiental

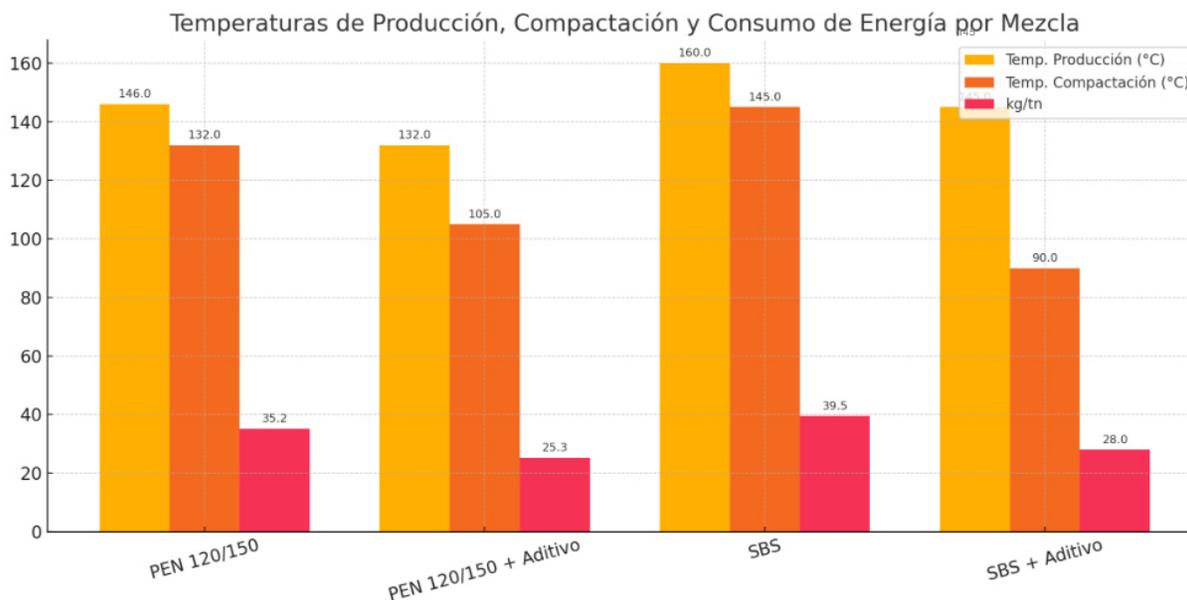
**Tabla 70**

Análisis de resultados de Impacto Ambiental

Mezcla Asfáltica	Temp. Producción / Compactación (°C)	kg/tn
<b>PEN 120/150 (MAC)</b>	146 / 132	35.16
<b>PEN 120/150 + 0.3% Aditivo (MAT)</b>	132 / 105	25.27
<b>SBS (MAC)</b>	160 / 145	39.49
<b>SBS + 0,4% Aditivo (MAT)</b>	145 / 90	28.03

**Grafica 22**

Representación de Impacto Ambiental



*Nota.* Fuente: Elaboración propia

## Análisis de resultados de Impacto Ambiental Tabla 70 y Grafica 22

### Temperatura de producción y compactación

1. Las mezclas asfálticas tibias (MAT), que incorporan aditivos, se producen y compactan a temperaturas significativamente menores en comparación con las mezclas asfálticas calientes (MAC).
2. Por ejemplo, la mezcla PEN 120/150 baja su temperatura de producción de 146°C a 132°C y la de compactación de 132°C a 105°C con la adición del aditivo.
3. Esta reducción térmica contribuye a un menor consumo energético y mejora las condiciones laborales y de seguridad durante la manipulación de la mezcla.

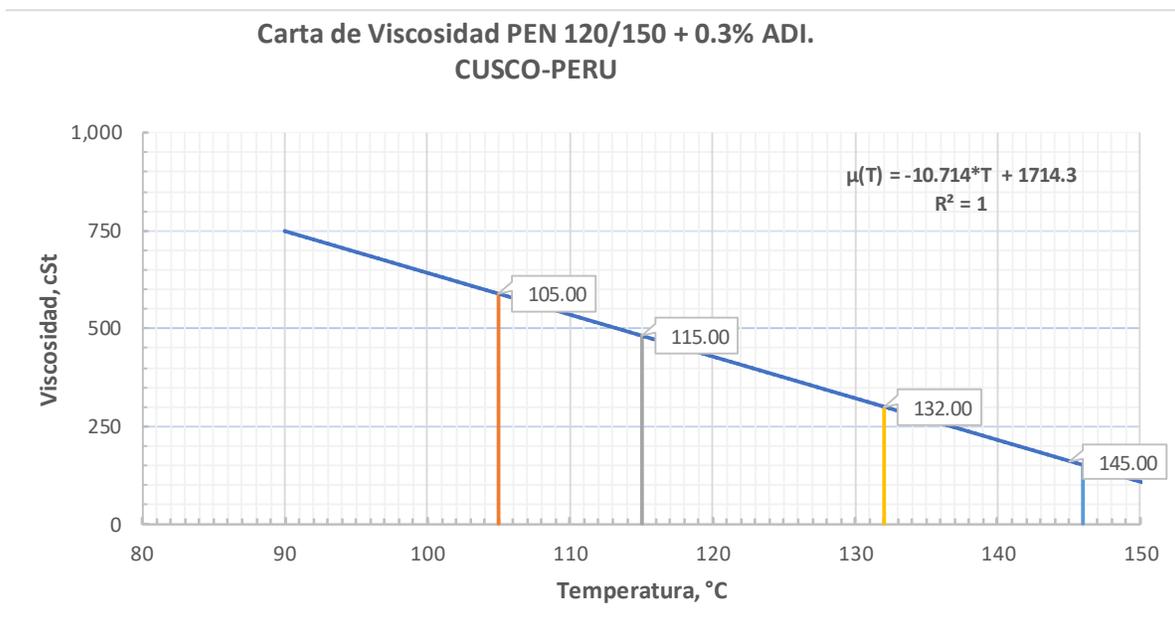
### Impacto ambiental (emisiones kg/tonelada)

1. Las mezclas con aditivos (MAT) muestran una reducción notable en las emisiones contaminantes.
2. La mezcla PEN 120/150 con aditivo reduce sus emisiones de 35.16 a 25.27 kg/tonelada, equivalente a una disminución del 28%.
3. De forma similar, la mezcla SBS con aditivo disminuye sus emisiones de 39.49 a 28.03 kg/tonelada, un 29% menos.

## 6.7. Determinación de la nueva carta de viscosidad para el asfalto PEN 120/150 y el asfalto modificado con SBS

### Grafica 23

Carta de viscosidad del asfalto PEN 120/150 con aditivo de base vegetal



RANGO DE TEMPERATURA DE MEZCLA

**132**

**A**

**145**

RANGO DE TEMPERATURA DE COMPACTACION DE MEZCLA

**115**

**A**

**132**

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

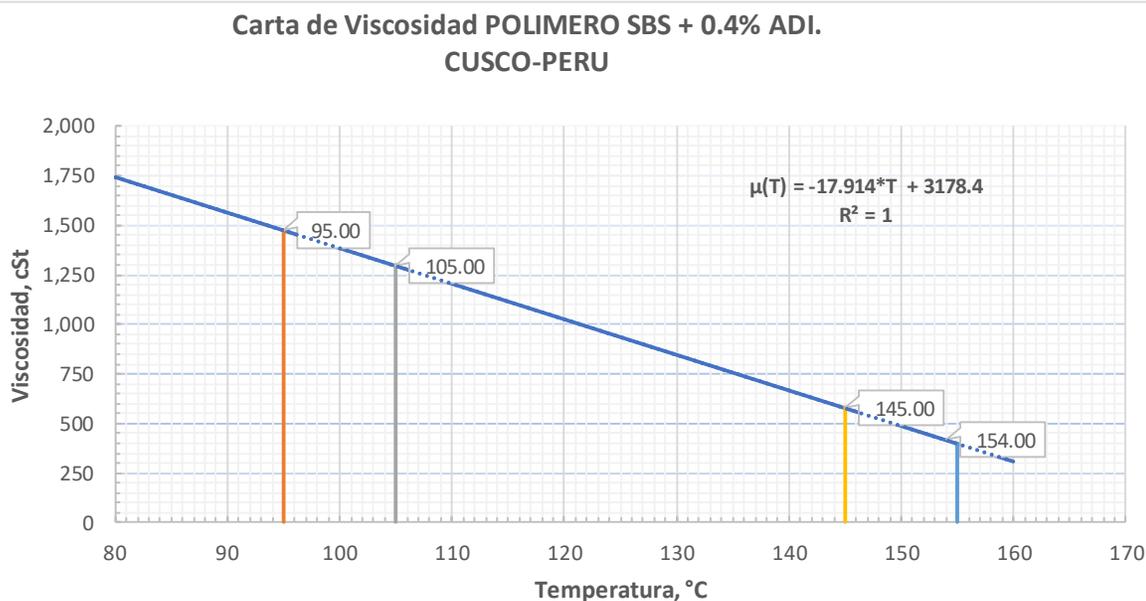
Análisis de Grafica 23

1. Se desarrolló una nueva carta de viscosidad para el asfalto PEN 120/150 modificado con 0.3 % de aditivo surfactante, a partir del ajuste lineal de los datos experimentales, obteniendo un coeficiente de determinación de  $R^2 = 1$ . Esta carta permitió determinar con precisión los rangos de temperatura óptimos para la mezcla y compactación de mezclas asfálticas tibias.
2. El rango de temperatura de mezcla se estableció entre 132 °C y 145 °C, garantizando una adecuada fluidez y homogeneidad durante el mezclado con los agregados.
3. A partir de la carta de viscosidad y los criterios Marshall, se identificó un rango teórico de compactación entre 115 °C y 132 °C. Aunque los ensayos en

laboratorio demostraron que la mezcla puede compactarse incluso a 90 °C cumpliendo con los parámetros Marshall, se definió una temperatura mínima práctica de compactación de 115 °C, a fin de evitar trabajar al límite inferior y garantizar la estabilidad del proceso en condiciones reales de obra.

### Grafica 24

Carta de viscosidad del asfalto modificado SBS con aditivo de base vegetal



RANGO DE TEMPERATURA DE MEZCLA

145

A

154

RANGO DE TEMPERATURA DE COMPACTACION DE MEZCLA

105

A

145

*Nota.* Fuente: Elaboración propia

### Análisis de Grafica 24

1. Se obtuvo una nueva carta de viscosidad para el asfalto modificado con aditivo de base vegetal y polímero SBS, a partir del ajuste lineal de los datos experimentales, con un coeficiente de determinación  $R^2 = 1$ . Esta carta permitió definir con precisión los rangos térmicos óptimos para la fabricación y colocación de la mezcla asfáltica.

2. El rango óptimo de temperatura de mezcla se determinó entre 145 °C y 154 °C, lo que garantiza una adecuada fluidez y trabajabilidad durante el proceso de mezclado con los agregados.
3. Según los resultados obtenidos en los ensayos Marshall, el rango teórico de temperatura de compactación se ubicó entre 90 °C y 145 °C. No obstante, debido a la baja trabajabilidad observada a 90 °C, se estableció como temperatura mínima práctica de compactación los 105 °C, asegurando así una correcta densificación de la mezcla en condiciones reales de obra.

## Capítulo VII: Conclusiones

1. La adición de 3 % de cal hidratada en el diseño de mezcla asfáltica permitió corregir la deficiencia de finos en la granulometría. Esta incorporación mejoró la cohesión de la mezcla, aumentó la resistencia a la humedad y favoreció el cumplimiento de los parámetros de vacíos según la Norma Técnica EG-2013.
2. Las mezclas asfálticas calientes y las mezclas asfálticas tibias con aditivo vegetal en donde se disminuyeron temperaturas producción y compactación, cumplen con los requisitos establecidos por la Norma Técnica Peruana EG-2013, en cuanto a vacíos, estabilidad, flujo, relación polvo/asfalto y otros parámetros esenciales, lo que es ideal para su uso en pavimentos flexibles.
3. La mezcla modificada con polímero mostró un comportamiento superior frente a la deformación permanente, lo que la hace más recomendable para vías sometidas a tránsito medio o alto.
4. Las mezclas asfálticas calientes y las mezclas asfálticas tibias con aditivo vegetal presentan valores adecuados, la mezcla asfáltica modificada mostró una mayor compactación, lo que favorece su durabilidad y su resistencia frente al ingreso de agua.
5. La mezcla tibia con polímero, compactada a menor temperatura, tuvo el mejor desempeño mecánico general y una alta resistencia frente a la humedad, lo cual se traduce en mayor vida útil del pavimento y reducción en las necesidades de mantenimiento.
6. Todas las mezclas evaluadas cumplieron con el requisito mínimo de resistencia a la humedad según la EG-2013, lo cual valida su uso en condiciones reales. No obstante, las mezclas tibias modificadas presentaron mejores resultados. La mezcla convencional sin aditivo fue la más económica, pero con menor desempeño estructural.
7. En el ensayo de ahuellamiento, la mezcla modificada con polímero mostró mayor resistencia a la deformación, confirmando la adecuada elección de los materiales.
8. El uso de aditivo de base vegetal en mezclas modificadas con polímero permite una compactación eficaz a temperaturas más bajas, lo que implica una mejora

en sostenibilidad, ya que se reduce el consumo de energía y las emisiones contaminantes, sin afectar la calidad de la mezcla.

9. Dado que la zona de estudio presenta temperaturas bajas por su altitud, la mezcla con polímero resulta más adecuada, ya que permite una compactación más eficiente a temperaturas reducidas, disminuyendo el riesgo de fallas en la ejecución de obra.
10. A pesar del mayor costo inicial del polímero SBS con aditivo, sus ventajas técnicas justifican esta inversión. Además, las mezclas tibias contribuyen a la reducción de costos operativos debido a menores temperaturas de fabricación y compactación.
11. El uso de aditivo de base vegetal mejora la trabajabilidad, la adhesión del ligante y reduce las emisiones de gases contaminantes, lo que representa una alternativa ambientalmente responsable para la construcción de pavimentos sostenibles.
12. Se desarrollaron cartas de viscosidad para las mezclas con aditivos, que permiten establecer rangos óptimos de temperatura de mezcla y compactación. Estas cartas son una herramienta útil para su aplicación práctica en obra en la zona de estudio.

### **Capítulo VIII: Recomendaciones**

1. Se recomienda adicionar cal hidratada en mezclas asfálticas que presenten escasez de finos, conforme a lo establecido en la norma ASTM D3515, ya que esta práctica mejora la estabilidad volumétrica, la durabilidad y la resistencia a la humedad de la mezcla, contribuyendo a un mejor comportamiento en servicio.
2. Se recomienda continuar con investigaciones relacionadas a mezclas asfálticas tibias (MAT), en los distintos pisos altitudinales en la región de Cusco. Explorar nuevas combinaciones de aditivos y polímeros que permitirá seguir optimizando el comportamiento mecánico y la sostenibilidad de estas tecnologías.
3. Se sugiere al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) considerar la actualización de la Norma Técnica Peruana EG-2013, incorporando criterios específicos para mezclas asfálticas tibias. Actualmente, esta normativa no contempla ningún parámetro para estas tecnologías, lo que limita su aplicación formal en proyectos de infraestructura vial.
4. Se recomienda utilizar mezclas modificadas con distintos polímeros y distintos aditivos surfactantes en zonas de temperatura media a alta y tránsito medio-alto.
5. A los futuros tesisistas e investigadores: Es importante realizar análisis comparativos entre mezclas calientes y tibias no solo desde el punto de vista mecánico, sino también ambiental y económico. El análisis de ciclo de vida permitirá medir el verdadero impacto de estas tecnologías en la sostenibilidad de las obras viales.
6. Fomentar investigaciones colaborativas entre universidades, gobiernos locales y el sector privado, orientadas al desarrollo y validación de mezclas asfálticas tibias en diferentes regiones del país. Esto facilitará su inclusión en futuras normas técnicas y guías de diseño.
7. Incentivar la creación o fortalecimiento de laboratorios de pavimentos en las facultades de Ingeniería Civil, con el fin de brindar soporte experimental a futuras investigaciones sobre nuevas tecnologías en la rama de pavimentos.
8. A las autoridades responsables de normar y fiscalizar proyectos viales: Se recomienda evaluar los beneficios técnicos, económicos y ambientales de las

mezclas asfálticas tibias, y considerar su inclusión en licitaciones públicas, especialmente en proyectos donde las condiciones climáticas exigen soluciones innovadoras y sostenibles.

9. Promover la capacitación de profesionales y técnicos en tecnologías de mezcla tibia (MAT), mediante cursos, seminarios y programas de formación continua, que incluyan normativas internacionales como AASHTO PP 81 y guías del WMA (Warm Mix Asphalt).
10. Se recomienda para futuras investigaciones gestionar tramos de prueba usando esta tecnología para ver el comportamiento a condiciones reales de campo.

## Bibliografía

- Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas.* (2006).
- Alarcon & Cardenas. (2021). *Mezclas Asfálticas Modificadas con Polimeros SBS para la Optimización de las Propiedades de la Mezcla Asfáltica.* 2021: Universidad Ricardo Palma .
- Alvarez;Carbajal;Reyes. (2012). Internal structure of the template mixtures compacted in the laboratory. *Asphalt Magazine*, 01.
- American Association of State Highway and Transportation. (2011). *Standard method of test for Hamburg wheel-track testing of compacted hot mix asphalt (HMA) (AASHTO T 324-11).* Washington, D.C.: AASTHO.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2011). *Standard method of test for resistance of compacted asphalt mixtures to moisture-induced damage (AASHTO T 283-11).* Washington, D.C.: AASTHO.
- ASTM. (2019). *Standard method of test for Hamburg wheel-track testing of compacted hot mix asphalt (HMA) (AASHTO T 324-23).* Washington, D.C.: AASTHO.
- ASTM. (2022). *ASTM D6927 – Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures.* West Conshohocken: ASTM International.
- Belc,Al;Coleri,E;Belc. (2021). Influencia de Diferentes Mezclas Calientes Aditivos en Características de Caliente Mezcla Asfalto. *Materials.*
- Caycho & Del Rioo Fermor. (2023). *Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validad mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímero.* Lima: Unniversidad Ricardo Palma.
- Condori, R., & Vera, m. (2024). *Evaluación de las propiedades de materiales granular para base o subbase de las canteras de la provincia de canchis estabilizadas con emulsión asfáltica y cemento Portland.* Cusco: Universidad Nacional San Antonio Abab del Cusco.
- Conferences, E. (2021). Emisiones contaminantes en la producción de mezclas asfálticas. *E3S Web of Conferences* (pág. 01007). Francia: EDP Sciences.
- Crystian, B. (2016). *Utilización de fibras de Polietileno de botellas de plástico para su aplicación en el diseño de mezclas asfálticas ecológicas en frío.* Pimentel: Universidad del Señor de Sipán.

- EAPA. (2024). *Aspectos técnicos del uso de mezcla asfáltica tibia*. Belgica: Creative Commons.
- Flores & Rojas. (2019). *Comportamiento de las Mezclas Asfálticas Tibias adicionando tensocativos y sus Beneficios Respecto alas Mezclas Asfálticas en Caliente*. Lima-Peru: Univeridad Ricardo Palma .
- Flores, M., Delgado, H., & Gomez, J. A. (2018). *Evaluación del desempeño de mezclas asfálticas con la ruedad de Hamburgo*. Mexico: Instituto Mexicano del Transporte.
- Garnica, P., Delgado, H., Gomez, J. A., Alonso, S., & Humberto, A. (2004). *Aspectos Volumetricos*. Mexico: Instituto Mexicano del Transporte.
- Gutiérrez, H., & Salazar, R. (2008). *Analisis y diseño de experimentos* . Mexico: Mc Graw-Hill Interamericana .
- Jorge, C. (2019). *Análisis De La Estabilidad Marshall Y La Deformación Permanente Mediante El Ensayo De Rueda Cargada De Hamburgo De Una Mezcla Asfáltica Modificada En Caliente Con Fibras De Tereftalato De Polietileno Reciclado En La Ciudad Del Cusco-2018*. Cusco: Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.
- Kaloush,kamil;Witczak, Matthew;Way, George;Zborowski,Aleksander. (2002). *Performance Evaluation Of Arizona Asphalt Rubber Mixtures Using Advanced Dynamic Material Characterization Tests*. EE.UU: Arizona State University, Arizona Department of Transportation, FNF Construction,.
- Manual de Carreteras MTC, E.-2. (2013). *Especificaciones Tecnicas Generales para la Construcción*. Lima.
- Minaya & Ordoñez. (2006). *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos*. Lima: Universidad Nacional de Ingenieria.
- Padilla, A. (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista*. Barcelona, España: Universidad Politecnica de Catalunya.
- Programa de Infraestructura del Transporte(PITRA). (2018). *Daños por Humedad en Mezclas Asfálticas*. San Jose, Costa Rica: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales .

Rondon; Reyes. (2015). *Pavimentos Materiales, Construccion y Diseño*. Colombia: Ecoe Ediciones .

Salazar, L. (2019). *elaboracion de mezclas asfalticas tibias mediante el uso de cera polietileniva*. Bolivia: Universidad mayor de San Andres.

Sanchez, Sanchez. (2016). *Desarrollo de una mezcla Asfaltica tibia reciclada bajo criterios Tecnicos y Medio Ambientales*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco Jose Caldas.

### Documentos de Sitio Web

1. Environmental Protection Agency (EPA). (s.f.). *Emissions standards and environmental data*. Recuperado de <https://www.epa.gov>
2. Federal Highway Administration (FHWA). (s.f.). *Sustainable pavement technologies and pilot projects*. Recuperado de <https://www.fhwa.dot.gov>
3. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (s.f.). *Estadísticas económicas y precios de insumos*. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe>
4. National Asphalt Pavement Association (NAPA). (s.f.). *Technical and environmental information on hot and warm mix asphalt*. Recuperado de <https://www.asphalt pavement.org>
5. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (Redalyc); SciELO Perú; Dialnet. (s.f.). *Artículos científicos sobre ingeniería civil, asfalto y medio ambiente*. Recuperado de <https://www.redalyc.org>  
<https://www.scielo.org.pe>  
<https://dialnet.unirioja.es>
6. Warm Mix Asphalt Center (WMA). (s.f.). *Guidelines, benefits and field studies on warm mix asphalt*. Recuperado de <http://www.warmmixasphalt.com>

## ANEXOS

## ANEXO A

## Matriz de consistencia de la tesis de investigación

**TÍTULO: EFECTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO -2024**

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable Independiente (X) (con niveles)	Variable Dependiente (Y)	Indicadores	Técnica e Instrumento
<b>PG:</b> ¿En qué medida influyen las mezclas asfálticas tibias en el comportamiento mecánico del pavimento flexible, Cusco-2024?	<b>OG:</b> Evaluar el impacto del uso de un aditivo de origen vegetal en las propiedades volumétricas y resultados de desempeño de mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímero SBS en pavimento flexible, Cusco – 2024.	<b>HG:</b> La incorporación de un aditivo de base vegetal produce diferencias significativas en el comportamiento mecánico del pavimento flexible.	<b>Tipo de mezcla asfáltica + porcentaje de aditivo vegetal</b> Niveles:• Mezcla PEN 120/150 sin aditivo• Mezcla PEN 120/150 con aditivo (0.3%, 0.5%)• Mezcla modificada con SBS sin aditivo• Mezcla modificada con SBS con aditivo (0.4%, 0.6%)	<b>Y1: Propiedades volumétricas de Marshall</b>	• Estabilidad• Flujo• Vacíos (VMA)• Vacíos llenos de asfalto (VFA)• Densidad	Ensayo MarshallNorma ASTM D6927
<b>PE1:</b> ¿En qué medida influye la adición del aditivo de base vegetal en los parámetros volumétricos de las mezclas...?	<b>OE1:</b> Analizar los parámetros volumétricos de mezclas asfálticas convencionales y modificadas con SBS agregando aditivo vegetal...	<b>HE1:</b> Existen diferencias significativas en los parámetros volumétricos de mezclas asfálticas al incorporar el aditivo.	Tipo de mezcla asfáltica + porcentaje de aditivo vegetal Niveles:• Mezcla PEN 120/150 sin aditivo• Mezcla PEN 120/150 con aditivo (0.3%, 0.5%)• Mezcla modificada con SBS sin aditivo• Mezcla modificada con SBS con aditivo (0.4%, 0.6%)	<b>Y1: Propiedades volumétricas de Marshall</b>	• Estabilidad• Flujo• Vacíos (VMA)• Vacíos llenos de asfalto (VFA)• Densidad	Ensayo MarshallNorma ASTM D6927
<b>PE2:</b> ¿En qué medida influye la adición del aditivo... en el comportamiento al daño por humedad...?	<b>OE2:</b> Determinar la influencia del aditivo vegetal en el comportamiento frente al daño por humedad...	<b>HE2:</b> La adición del aditivo vegetal genera variaciones significativas frente al daño por humedad.	Tipo de mezcla asfáltica + porcentaje de aditivo vegetal Niveles:• Mezcla PEN 120/150 sin aditivo• Mezcla PEN 120/150 con aditivo (0.3%, 0.5%)• Mezcla modificada con SBS sin aditivo• Mezcla modificada con SBS con aditivo (0.4%, 0.6%)	<b>Y2: Daño por humedad</b>	• Retención de estabilidad• TSR (%) (Tensile Strength Ratio)	Ensayo de daño por humedadNorma AASHTO T283
<b>PE3:</b> ¿Cómo incide la adición del aditivo... en los ensayos de rueda de Hamburgo...?	<b>OE3:</b> Evaluar el efecto del aditivo vegetal en el desempeño mediante el ensayo de rueda de Hamburgo...	<b>HE3:</b> El desempeño frente al ahuellamiento varía significativamente al incorporar el aditivo.	Tipo de mezcla asfáltica + porcentaje de aditivo vegetal Niveles:• Mezcla PEN 120/150 sin aditivo• Mezcla PEN 120/150 con aditivo (0.3%, 0.5%)• Mezcla modificada con SBS sin aditivo• Mezcla modificada con SBS con aditivo (0.4%, 0.6%)	<b>Y3: Desempeño rueda de Hamburgo</b>	• Profundidad del ahuellamiento (mm)• Número de pasadas a falla	Ensayo de rueda de HamburgoNorma AASHTO T324
<b>PE4:</b> ¿Cómo incide la incorporación del aditivo... en términos de costos operativos, consumo energético y emisiones...?	<b>OE4:</b> Analizar cómo influye el aditivo vegetal en procesos de producción y compactación...	<b>HE4:</b> La incorporación del aditivo vegetal modifica significativamente los costos operativos, el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero.	Tipo de mezcla asfáltica + porcentaje de aditivo vegetal Niveles:• Mezcla PEN 120/150 sin aditivo• Mezcla PEN 120/150 con aditivo (0.3%, 0.5%)• Mezcla modificada con SBS sin aditivo• Mezcla modificada con SBS con aditivo (0.4%, 0.6%)	<b>Y4: Costos, energía y emisiones</b>	• Costos de combustible• Consumo energético (kWh)• Emisiones de CO <sub>2</sub> eq.	Información referencial de planta, conferencias de medio ambiente

## ANEXO B

Análisis granulométrico-Ensayo 01-tamaño máximo del agregado 3/4

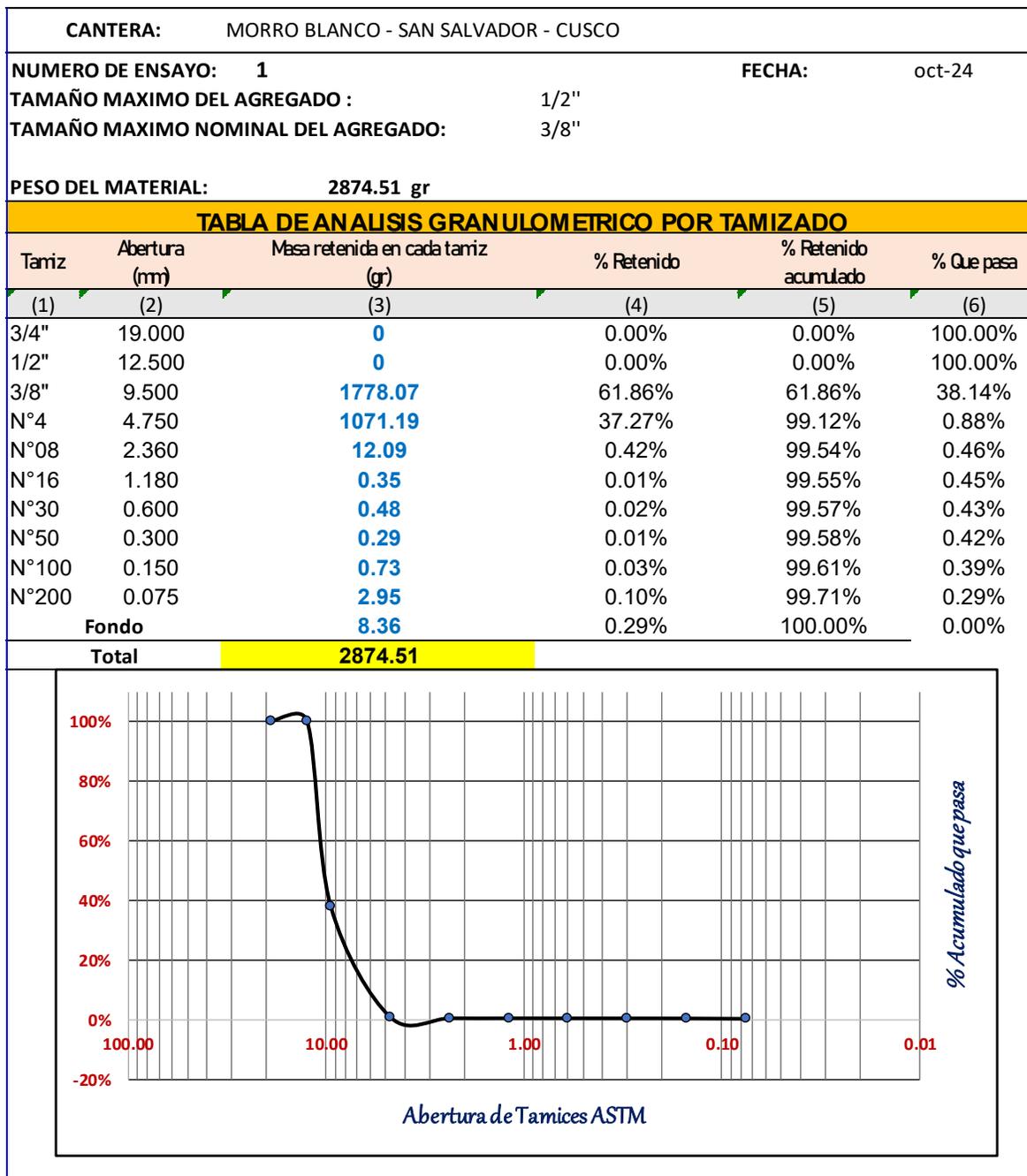
NUMERO DE ENSAYO: 1		FECHA: oct-24				
TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO :		3/4"				
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:		1/2"				
PESO DEL MATERIAL:		3465.49 gr				
TABLA DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO						
Tamiz	Abertura (mm)	Masa retenida en cada tamiz (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
3/4"	19.000	0	0.00%	0.00%	100.00%	
1/2"	12.500	3465.49	100.00%	100.00%	0.00%	
3/8"	9.500	0	0.00%	100.00%	0.00%	
1/4"	6.360	0	0.00%	100.00%	0.00%	
N°4	4.750	0	0.00%	100.00%	0.00%	
N°08	2.360	0	0.00%	100.00%	0.00%	
N°16	1.180	0	0.00%	100.00%	0.00%	
N°30	0.600	0	0.00%	100.00%	0.00%	
N°50	0.300	0	0.00%	100.00%	0.00%	
N°100	0.150	0	0.00%	100.00%	0.00%	
N°200	0.075	0	0.00%	100.00%	0.00%	
Fondo		0	0.00%	100.00%	0.00%	
Total		3465.49				

El gráfico muestra el porcentaje acumulado que pasa en función de la abertura de tamices ASTM. El eje vertical (% Acumulado que pasa) varía de -20% a 120%. El eje horizontal (Abertura de Tamices ASTM) es una escala logarítmica con valores de 100.00, 10.00, 1.00, 0.10 y 0.01 mm. La curva indica que el 100% del material es retenido por tamices con aberturas mayores a 12.5 mm, y el 0% es retenido por tamices con aberturas menores a 12.5 mm.

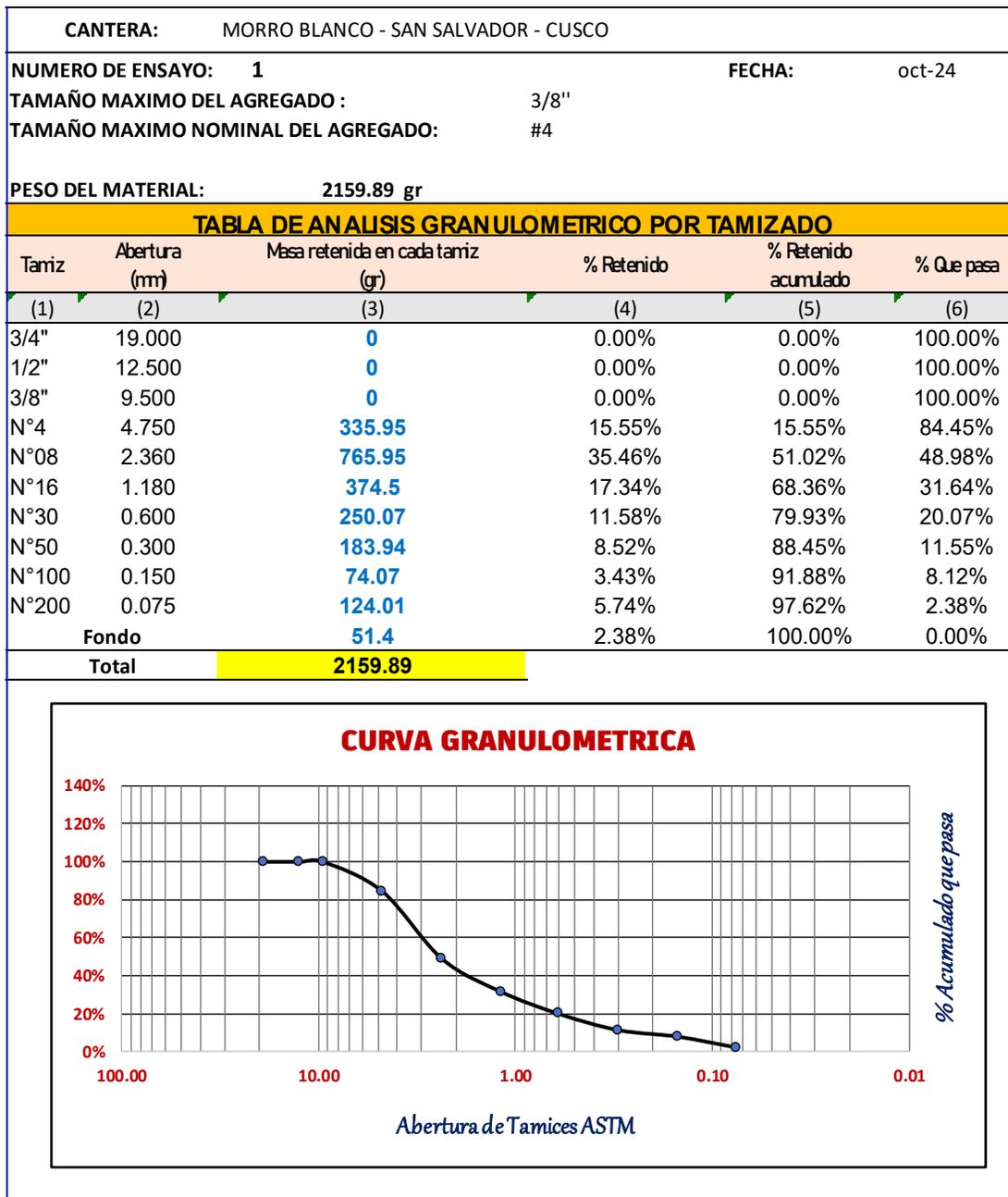
## ANEXO C

Análisis granulométrico-Ensayo 01-tamaño máximo 1/2"



## ANEXO D

## Análisis granulométrico-Ensayo 01-tamaño máximo 3/8''



## ANEXO E

Análisis granulométrico-Ensayo 01-tamaño máximo 1/2"

CANTERA:		CUNYAC - CUNYAC - CUSCO					
NUMERO DE ENSAYO:		1		FECHA:		oct-24	
TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO :		3/8"					
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:		#4					
PESO DEL MATERIAL:		2291.28 gr					
<b>TABLA DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO</b>							
Tamiz	Abertura (mm)	Masa retenida en cada tamiz (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)		
3/4"	19.000	0	0.00%	0.00%	100.00%		
1/2"	12.500	0	0.00%	0.00%	100.00%		
3/8"	9.500	0	0.00%	0.00%	100.00%		
N°4	4.750	2.29	0.10%	0.10%	99.90%		
N°08	2.360	5.26	0.23%	0.33%	99.67%		
N°16	1.180	7.67	0.33%	0.66%	99.34%		
N°30	0.600	102.31	4.47%	5.13%	94.87%		
N°50	0.300	960.53	41.92%	47.05%	52.95%		
N°100	0.150	1016.66	44.37%	91.42%	8.58%		
N°200	0.075	173.24	7.56%	98.98%	1.02%		
Fondo		23.32	1.02%	100.00%	0.00%		
Total		2291.28					

**CURVA GRANULOMETRICA**

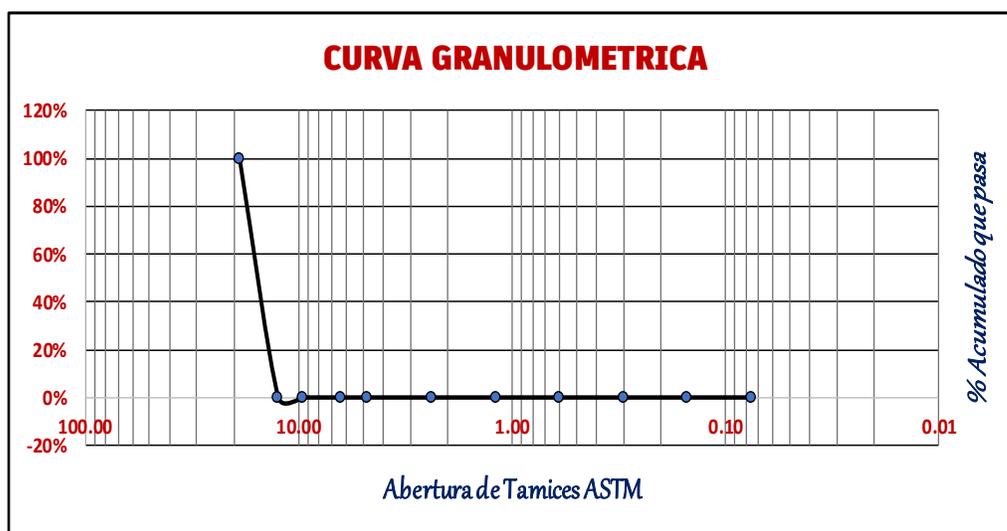
Abertura de Tamices ASTM

% Acumulado que pasa

## ANEXO F

Análisis granulométrico-Ensayo 02-tamaño máximo 1/2''

<b>CANTERA:</b>		MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - CUSCO			
<b>NUMERO DE ENSAYO:</b>	2	<b>FECHA:</b>	oct-24		
<b>TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO :</b>	3/4"				
<b>TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:</b>	1/2"				
<b>PESO DEL MATERIAL:</b>	4619.48 gr				
<b>TABLA DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO</b>					
Tamiz	Abertura (mm)	Masa retenida en cada tamiz (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
3/4"	19.000	0	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.500	4619.48	100.00%	100.00%	0.00%
3/8"	9.500	0	0.00%	100.00%	0.00%
1/4"	6.360	0	0.00%	100.00%	0.00%
N°4	4.750	0	0.00%	100.00%	0.00%
N°08	2.360	0	0.00%	100.00%	0.00%
N°16	1.180	0	0.00%	100.00%	0.00%
N°30	0.600	0	0.00%	100.00%	0.00%
N°50	0.300	0	0.00%	100.00%	0.00%
N°100	0.150	0	0.00%	100.00%	0.00%
N°200	0.075	0	0.00%	100.00%	0.00%
<b>Fondo</b>		0	0.00%	100.00%	0.00%
<b>Total</b>		<b>4619.48</b>			



## ANEXO G

Análisis granulométrico-Ensayo 02-tamaño máximo 1/2''

<b>CANTERA:</b>		MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - CUSCO			
<b>NUMERO DE ENSAYO:</b>		2		<b>FECHA:</b> oct-24	
<b>TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO :</b>		1/2"			
<b>TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:</b>		3/8"			
<b>PESO DEL MATERIAL:</b>		3831.71 gr			
TABLA DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO					
Tamiz	Abertura (mm)	Masa retenida en cada tamiz (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
3/4"	19.000	0	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.500	0	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.500	2370.16	61.86%	61.86%	38.14%
N°4	4.750	1427.89	37.27%	99.12%	0.88%
N°08	2.360	16.12	0.42%	99.54%	0.46%
N°16	1.180	0.47	0.01%	99.55%	0.45%
N°30	0.600	0.64	0.02%	99.57%	0.43%
N°50	0.300	0.39	0.01%	99.58%	0.42%
N°100	0.150	0.97	0.03%	99.61%	0.39%
N°200	0.075	3.93	0.10%	99.71%	0.29%
<b>Fondo</b>		<b>11.14</b>	<b>0.29%</b>	<b>100.00%</b>	<b>0.00%</b>
<b>Total</b>		<b>3831.71</b>			

**CURVA GRANULOMETRICA**

Abertura de Tamices ASTM

% Acumulado que pasa

## ANEXO H

Análisis granulométrico-Ensayo 02-tamaño máximo 3/8''

<b>CANTERA:</b> MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - CUSCO						
<b>NUMERO DE ENSAYO:</b> 2				<b>FECHA:</b> oct-24		
<b>TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO :</b> 3/8''						
<b>TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:</b> #4						
<b>PESO DEL MATERIAL:</b> 3421.05 gr						
<b>TABLA DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO</b>						
Tamiz	Abertura (mm)	Masa retenida en cada tamiz (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
3/4"	19.000	0	0.00%	0.00%	100.00%	
1/2"	12.500	0	0.00%	0.00%	100.00%	
3/8"	9.500	0	0.00%	0.00%	100.00%	
N°4	4.750	532.11	15.55%	15.55%	84.45%	
N°08	2.360	1213.19	35.46%	51.02%	48.98%	
N°16	1.180	593.17	17.34%	68.36%	31.64%	
N°30	0.600	396.09	11.58%	79.93%	20.07%	
N°50	0.300	291.34	8.52%	88.45%	11.55%	
N°100	0.150	117.32	3.43%	91.88%	8.12%	
N°200	0.075	196.42	5.74%	97.62%	2.38%	
<b>Fondo</b>		<b>81.41</b>	<b>2.38%</b>	<b>100.00%</b>	<b>0.00%</b>	
<b>Total</b>		<b>3421.05</b>				

**CURVA GRANULOMETRICA**

Abertura de Tamices ASTM

% Acumulado que pasa

## ANEXO I

Análisis granulométrico-Ensayo 03-tamaño máximo 3/4''

CANTERA:		CUNYAC - CUNYAC - CUSCO					
NUMERO DE ENSAYO:		2			FECHA:		oct-24
TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO :		3/8"					
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:		#4					
PESO DEL MATERIAL:		2130.89 gr					
<b>TABLA DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO</b>							
Tamiz	Abertura (mm)	Masa retenida en cada tamiz (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)		
3/4"	19.000	0	0.00%	0.00%	100.00%		
1/2"	12.500	0	0.00%	0.00%	100.00%		
3/8"	9.500	0	0.00%	0.00%	100.00%		
N°4	4.750	2.13	0.10%	0.10%	99.90%		
N°08	2.360	4.89	0.23%	0.33%	99.67%		
N°16	1.180	7.13	0.33%	0.66%	99.34%		
N°30	0.600	95.15	4.47%	5.13%	94.87%		
N°50	0.300	893.29	41.92%	47.05%	52.95%		
N°100	0.150	945.49	44.37%	91.42%	8.58%		
N°200	0.075	161.12	7.56%	98.98%	1.02%		
Fondo		21.69	1.02%	100.00%	0.00%		
Total		2130.89					

### CURVA GRANULOMETRICA

El gráfico muestra la curva granulométrica con los siguientes datos clave:

Abertura de Tamices ASTM (mm)	% Acumulado que pasa
19.000	100.00%
12.500	100.00%
9.500	100.00%
4.750	99.90%
2.360	99.67%
1.180	99.34%
0.600	94.87%
0.300	52.95%
0.150	8.58%
0.075	1.02%

## ANEXO J

Análisis granulométrico-Ensayo 03-tamaño máximo 3/4''

<b>CANTERA:</b>		MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - CUSCO			
<b>NUMERO DE ENSAYO:</b>	<b>3</b>	<b>FECHA:</b>	oct-24		
<b>TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO :</b>	3/4''				
<b>TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:</b>	1/2''				
<b>PESO DEL MATERIAL:</b>	2966.40 gr				
<b>TABLA DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO</b>					
Tamiz	Abertura (mm)	Masa retenida en cada tamiz (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
3/4"	19.000	0	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.500	2966.40	100.00%	100.00%	0.00%
3/8"	9.500	0	0.00%	100.00%	0.00%
1/4"	6.360	0	0.00%	100.00%	0.00%
N°4	4.750	0	0.00%	100.00%	0.00%
N°08	2.360	0	0.00%	100.00%	0.00%
N°16	1.180	0	0.00%	100.00%	0.00%
N°30	0.600	0	0.00%	100.00%	0.00%
N°50	0.300	0	0.00%	100.00%	0.00%
N°100	0.150	0	0.00%	100.00%	0.00%
N°200	0.075	0	0.00%	100.00%	0.00%
<b>Fondo</b>		<b>0</b>	<b>0.00%</b>	<b>100.00%</b>	<b>0.00%</b>
<b>Total</b>		<b>2966.40</b>			

**CURVA GRANULOMETRICA**

Abertura de Tamices ASTM

% Acumulado que pasa

## ANEXO K

Análisis granulométrico-Ensayo 03-tamaño máximo 1/2"

<b>CANTERA:</b>		MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - CUSCO				
<b>NUMERO DE ENSAYO:</b>		3			<b>FECHA:</b> oct-24	
<b>TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO :</b>		1/2"				
<b>TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:</b>		3/8"				
<b>PESO DEL MATERIAL:</b>		2460.58 gr				
<b>TABLA DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO</b>						
Tamiz	Abertura (mm)	Mesa retenida en cada tamiz (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
3/4"	19.000	0	0.00%	0.00%	100.00%	
1/2"	12.500	0	0.00%	0.00%	100.00%	
3/8"	9.500	1522.00	61.86%	61.86%	38.14%	
N°4	4.750	916.92	37.26%	99.12%	0.88%	
N°08	2.360	10.35	0.42%	99.54%	0.46%	
N°16	1.180	0.30	0.01%	99.55%	0.45%	
N°30	0.600	0.41	0.02%	99.57%	0.43%	
N°50	0.300	0.25	0.01%	99.58%	0.42%	
N°100	0.150	0.67	0.03%	99.61%	0.39%	
N°200	0.075	2.53	0.10%	99.71%	0.29%	
<b>Fondo</b>		<b>7.16</b>	0.29%	100.00%	0.00%	
<b>Total</b>		<b>2460.58</b>				

**CURVA GRANULOMETRICA**

El gráfico muestra una curva granulométrica con el eje horizontal etiquetado como 'Abertura de Tamices ASTM' (logaritmo) y el eje vertical como '% Acumulado que pasa'. Los puntos de datos corresponden a los valores de la tabla anterior.

Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
19.000	100.00%
12.500	100.00%
9.500	38.14%
4.750	0.88%
2.360	0.46%
1.180	0.45%
0.600	0.43%
0.300	0.42%
0.150	0.39%
0.075	0.29%

## ANEXO L

Análisis granulométrico-Ensayo 03-tamaño máximo 1/2''

<b>CANTERA:</b>		MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - CUSCO			
<b>NUMERO DE ENSAYO:</b>		3		<b>FECHA:</b> oct-24	
<b>TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO :</b>		1/2''			
<b>TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:</b>		3/8''			
<b>PESO DEL MATERIAL:</b>		2460.58 gr			
<b>TABLA DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO</b>					
Tamiz	Abertura (mm)	Masa retenida en cada tamiz (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
3/4"	19.000	0	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.500	0	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.500	1522.00	61.86%	61.86%	38.14%
N°4	4.750	916.92	37.26%	99.12%	0.88%
N°08	2.360	10.35	0.42%	99.54%	0.46%
N°16	1.180	0.30	0.01%	99.55%	0.45%
N°30	0.600	0.41	0.02%	99.57%	0.43%
N°50	0.300	0.25	0.01%	99.58%	0.42%
N°100	0.150	0.67	0.03%	99.61%	0.39%
N°200	0.075	2.53	0.10%	99.71%	0.29%
<b>Fondo</b>		<b>7.16</b>	0.29%	100.00%	0.00%
<b>Total</b>		<b>2460.58</b>			

**CURVA GRANULOMETRICA**

El gráfico muestra una curva granulométrica donde el eje vertical representa el '% Acumulado que pasa' (ranging from -20% to 120%) y el eje horizontal representa la 'Abertura de Tamices ASTM' (logarithmic scale from 100.00 to 0.01). La curva comienza en 100% para aberturas de 19.00 mm y 12.50 mm, luego cae a 38.14% a 9.50 mm, y continúa bajando hasta 0.29% a 0.075 mm.

## ANEXO M

Análisis granulométrico-Ensayo 03-tamaño máximo 3/8''

<b>CANTERA:</b>		MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - CUSCO				
<b>NUMERO DE ENSAYO:</b>		3			<b>FECHA:</b> oct-24	
<b>TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO :</b>		3/8"				
<b>TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:</b>		#4				
<b>PESO DEL MATERIAL:</b>		4112.53 gr				
<b>TABLA DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO</b>						
Tamiz	Abertura (mm)	Masa retenida en cada tamiz (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
3/4"	19.000	0	0.00%	0.00%	100.00%	
1/2"	12.500	0	0.00%	0.00%	100.00%	
3/8"	9.500	0	0.00%	0.00%	100.00%	
N°4	4.750	639.66	15.55%	15.55%	84.45%	
N°08	2.360	1458.40	35.46%	51.02%	48.98%	
N°16	1.180	713.07	17.34%	68.36%	31.64%	
N°30	0.600	476.14	11.58%	79.93%	20.07%	
N°50	0.300	350.23	8.52%	88.45%	11.55%	
N°100	0.150	141.03	3.43%	91.88%	8.12%	
N°200	0.075	236.12	5.74%	97.62%	2.38%	
<b>Fondo</b>		<b>97.87</b>	<b>2.38%</b>	<b>100.00%</b>	<b>0.00%</b>	
<b>Total</b>		<b>4112.53</b>				

### CURVA GRANULOMETRICA

El gráfico muestra la curva granulométrica con los siguientes datos:

Abertura de Tamices ASTM (mm)	% Acumulado que pasa
19.000	100.00%
12.500	100.00%
9.500	100.00%
4.750	84.45%
2.360	48.98%
1.180	31.64%
0.600	20.07%
0.300	11.55%
0.150	8.12%
0.075	2.38%

## ANEXO N

### Análisis granulométrico-Ensayo 03-tamaño máximo 3/8''

<b>CANTERA:</b> CUNYAC - CUNYAC - CUSCO					
<b>NUMERO DE ENSAYO:</b> 3	<b>FECHA:</b> oct-24				
<b>TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO :</b>	3/8''				
<b>TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:</b>	#4				
<b>PESO DEL MATERIAL:</b>	1718.46 gr				
<b>TABLA DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO</b>					
Tamiz	Abertura (mm)	Mesa retenida en cada tamiz (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
3/4"	19.000	0	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.500	0	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.500	0	0.00%	0.00%	100.00%
N°4	4.750	1.72	0.10%	0.10%	99.90%
N°08	2.360	3.94	0.23%	0.33%	99.67%
N°16	1.180	5.75	0.33%	0.66%	99.34%
N°30	0.600	76.73	4.47%	5.13%	94.87%
N°50	0.300	720.40	41.92%	47.05%	52.95%
N°100	0.150	762.49	44.37%	91.42%	8.58%
N°200	0.075	129.93	7.56%	98.98%	1.02%
<b>Fondo</b>		17.49	1.02%	100.00%	0.00%
<b>Total</b>		1718.46			

### CURVA GRANULOMETRICA

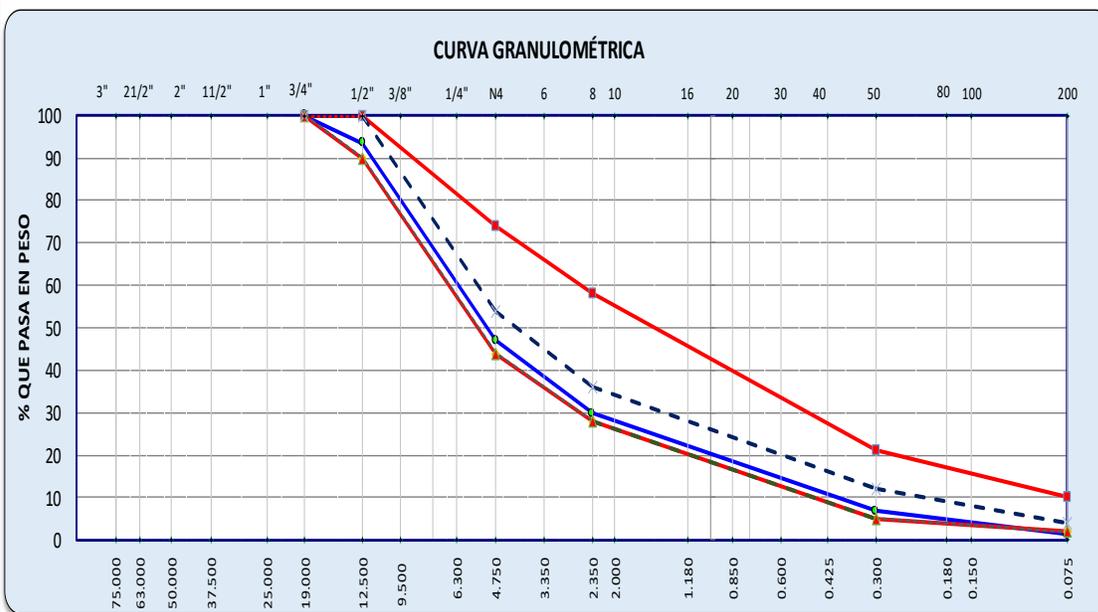
El gráfico muestra una curva granulométrica con el eje horizontal etiquetado como 'Abertura de Tamices ASTM' (logaritmo de 100.00 a 0.01) y el eje vertical como '% Acumulado que pasa' (de 0% a 140%). La curva permanece en 100% para aberturas mayores que 0.6 mm y luego cae bruscamente, alcanzando 0% en 0.075 mm.

Abertura de Tamices ASTM (mm)	% Acumulado que pasa
19.000	100.00%
12.500	100.00%
9.500	100.00%
4.750	99.90%
2.360	99.67%
1.180	99.34%
0.600	94.87%
0.300	52.95%
0.150	8.58%
0.075	1.02%

## ANEXO O

### Combinación teórica de agregados 01

Tamices ASTM	Abertura en mm.	PIEDRA CHANCADA 1/2"	ARENA CHANCADA	ARENA NATURAL	FILLER	% que Pasa	Especificaciones	Tolerancias	Datos de la Muestra
	Porcentaje	46.0	38.0	16.0	0.0	100	ASTM D 3515 (5)		
1"	25.000					100.0			
3/4"	19.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	+/- 8.0	
1/2"	12.500	86.0	100.0	100.0	100.0	93.6	90 - 100	+/- 8.0	OBSERVACIONES
3/8"	9.500	32.8	100.0	100.0	100.0	69.1			Grava ▼ 53.0
4	4.750	0.8	84.4	91.1	100.0	47.0	44 - 74	+/- 7.0	Arena ▼ 45.7
8	2.350	0.4	49.0	68.9	100.0	29.8	28 - 58	+/- 6.0	Finos ▼ 1.3
16	1.180	0.4	31.6	52.7	100.0	20.6			
30	0.600	0.4	20.1	36.3	100.0	13.6			
50	0.300	0.4	11.6	14.1	100.0	6.8	5 - 21	+/- 5.0	
100	0.150	0.3	8.1	6.3	100.0	4.2			
200	0.075	0.3	2.4	1.6	100.0	1.3	2 - 10	+/- 3.0	

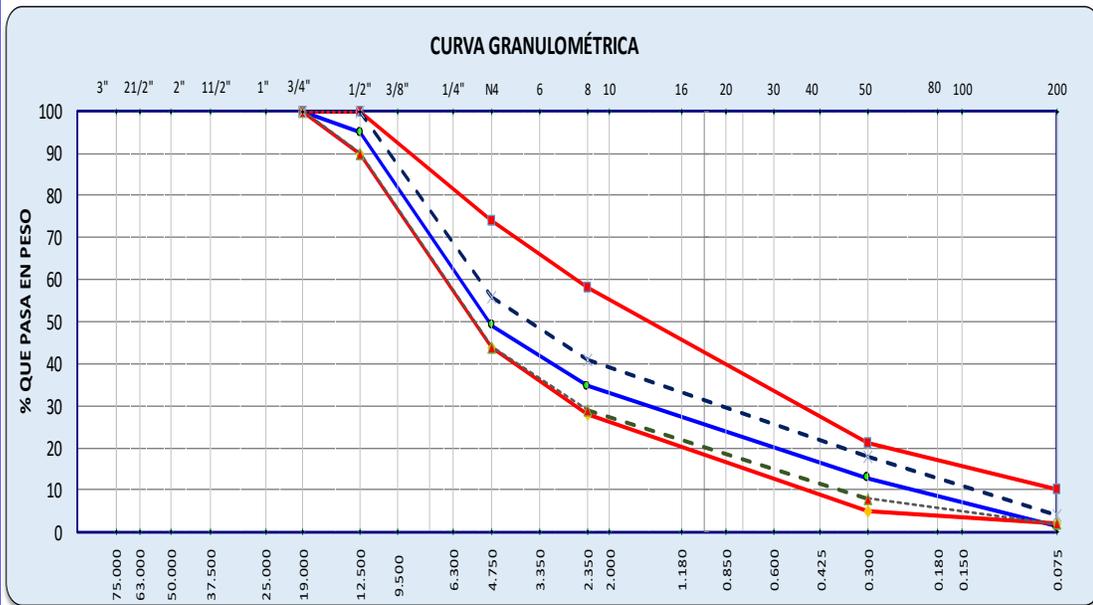


**NO CUMPLE** No esta dentro de los parametros de la malla #200

**ANEXO P**

**Combinación teórica de agregados 02**

Tamices ASTM	Abertura en mm.	PIEDRA CHANCADA 1/2"	ARENA CHANCADA	ARENA NATURAL	FILLER	% que Pasa	Especificaciones	Tolerancias	Datos de la Muestra
	Porcentaje	45.0	40.0	15.0	0.0	100	ASTM D 3515 (5)		
1"	25.000					100.0			
3/4"	19.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	+/- 8.0	
1/2"	12.500	89.0	100.0	100.0	100.0	95.1	90 - 100	+/- 8.0	<b>OBSERVACIONES</b>
3/8"	9.500	33.9	100.0	100.0	100.0	70.3			Grava 50.9
4	4.750	0.8	84.4	99.9	100.0	49.1	44 - 74	+/- 7.0	Arena 47.9
8	2.350	0.4	49.0	99.7	100.0	34.7	28 - 58	+/- 6.0	Finos 1.2
16	1.180	0.4	31.6	99.3	100.0	27.7			
30	0.600	0.4	20.1	94.9	100.0	22.4			
50	0.300	0.4	11.6	52.9	100.0	12.7	5 - 21	+/- 5.0	
100	0.150	0.4	8.1	8.6	100.0	4.7			
200	0.075	0.3	2.4	1.0	100.0	1.2	2 - 10	+/- 3.0	



**NO CUMPLE** No esta dentro de los parametros de la malla #200

## ANEXO Q

## Análisis Granulométrico de filler-Ensayo 01

FILLER:		CAL HIDRATADA					
NUMERO DE ENSAYO:		1		FECHA:		nov-24	
TAMAÑO MAXIMO DEL FILLER:		3/8"					
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL FILLER:		#4					
PESO DEL MATERIAL:		951.03 gr					
<b>TABLA DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO</b>							
Tamiz	Abertura (mm)	Masa retenida en cada tamiz (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)		
3/4"	19.000	0	0.00%	0.00%	100.00%		
1/2"	12.500	0	0.00%	0.00%	100.00%		
3/8"	9.500	0	0.00%	0.00%	100.00%		
N°4	4.750	147.92	15.55%	15.55%	84.45%		
N°08	2.360	337.26	35.46%	51.02%	48.98%		
N°16	1.180	164.90	17.34%	68.36%	31.64%		
N°30	0.600	110.11	11.58%	79.93%	20.07%		
N°50	0.300	80.99	8.52%	88.45%	11.55%		
N°100	0.150	32.61	3.43%	91.88%	8.12%		
N°200	0.075	54.60	5.74%	97.62%	2.38%		
Fondo		22.63	2.38%	100.00%	0.00%		
<b>Total</b>		<b>951.03</b>					

**CURVA GRANULOMETRICA**

The graph plots the cumulative percentage of material passing through different sieve sizes. The x-axis is labeled 'Abertura de Tamices ASTM' and ranges from 100.00 to 0.01 mm. The y-axis is labeled '% Acumulado que pasa' and ranges from 0% to 140%. The curve shows that 100% of the material passes through a 100.00 mm sieve, and the percentage of material passing decreases as the sieve size decreases, reaching 0% at 0.01 mm.

## ANEXO R

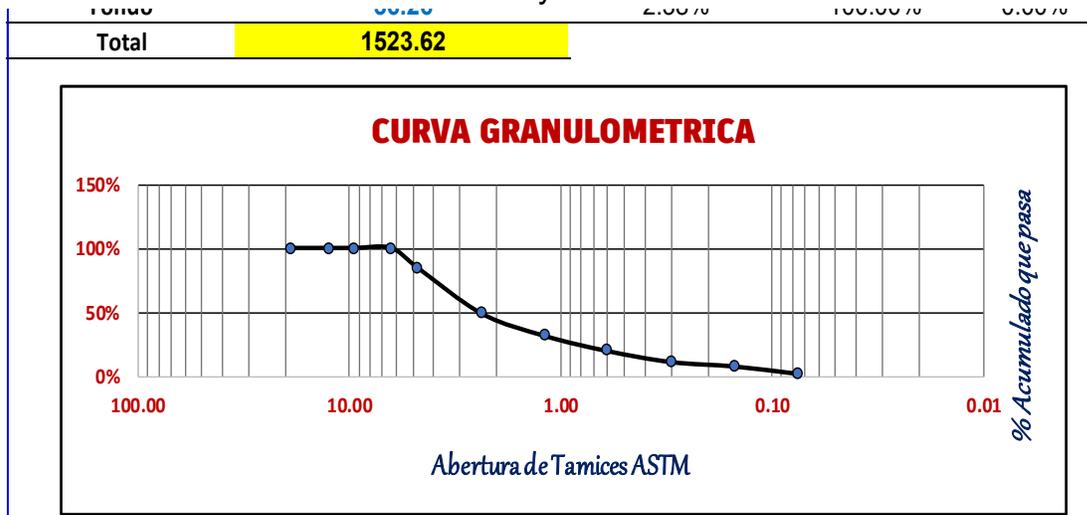
## Análisis Granulométrico de filler-Ensayo 02

FILLER:		CAL HIDRATADA			
NUMERO DE ENSAYO:	2	FECHA:	nov-24		
TAMAÑO MAXIMO DEL FILLER:	3/8"				
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL FILLER:	#4				
PESO DEL MATERIAL:	1523.62 gr				
<b>TABLA DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO</b>					
Tamiz	Abertura (mm)	Masa retenida en cada tamiz (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
3/4"	19.000	0	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.500	0	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.500	0	0.00%	0.00%	100.00%
1/4"	6.360	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
N°4	4.750	236.98	15.55%	15.55%	84.45%
N°08	2.360	540.31	35.46%	51.02%	48.98%
N°16	1.180	264.18	17.34%	68.36%	31.64%
N°30	0.600	176.40	11.58%	79.93%	20.07%
N°50	0.300	129.75	8.52%	88.45%	11.55%

ANEXO

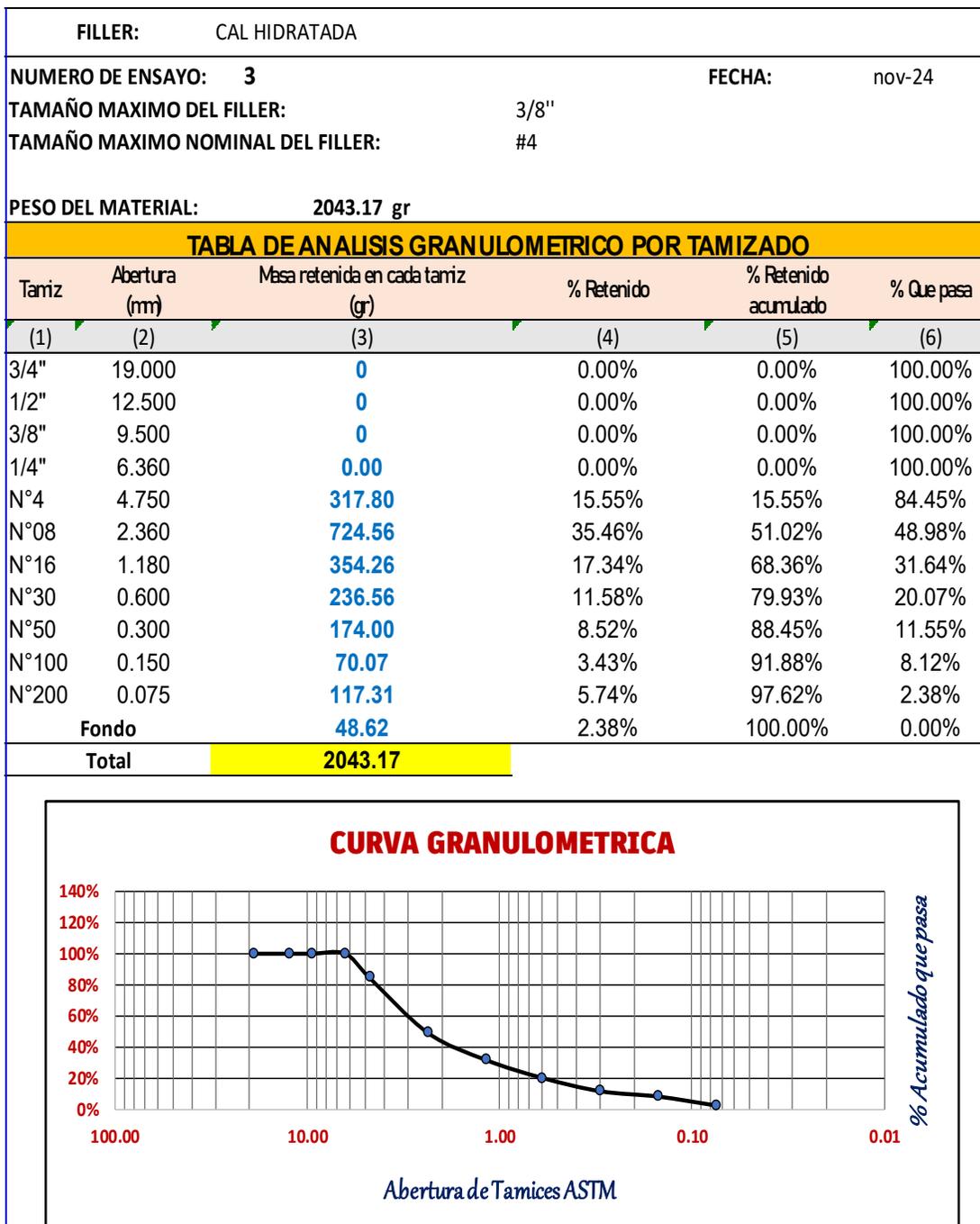
S

## Análisis Granulométrico de filler-Ensayo 03



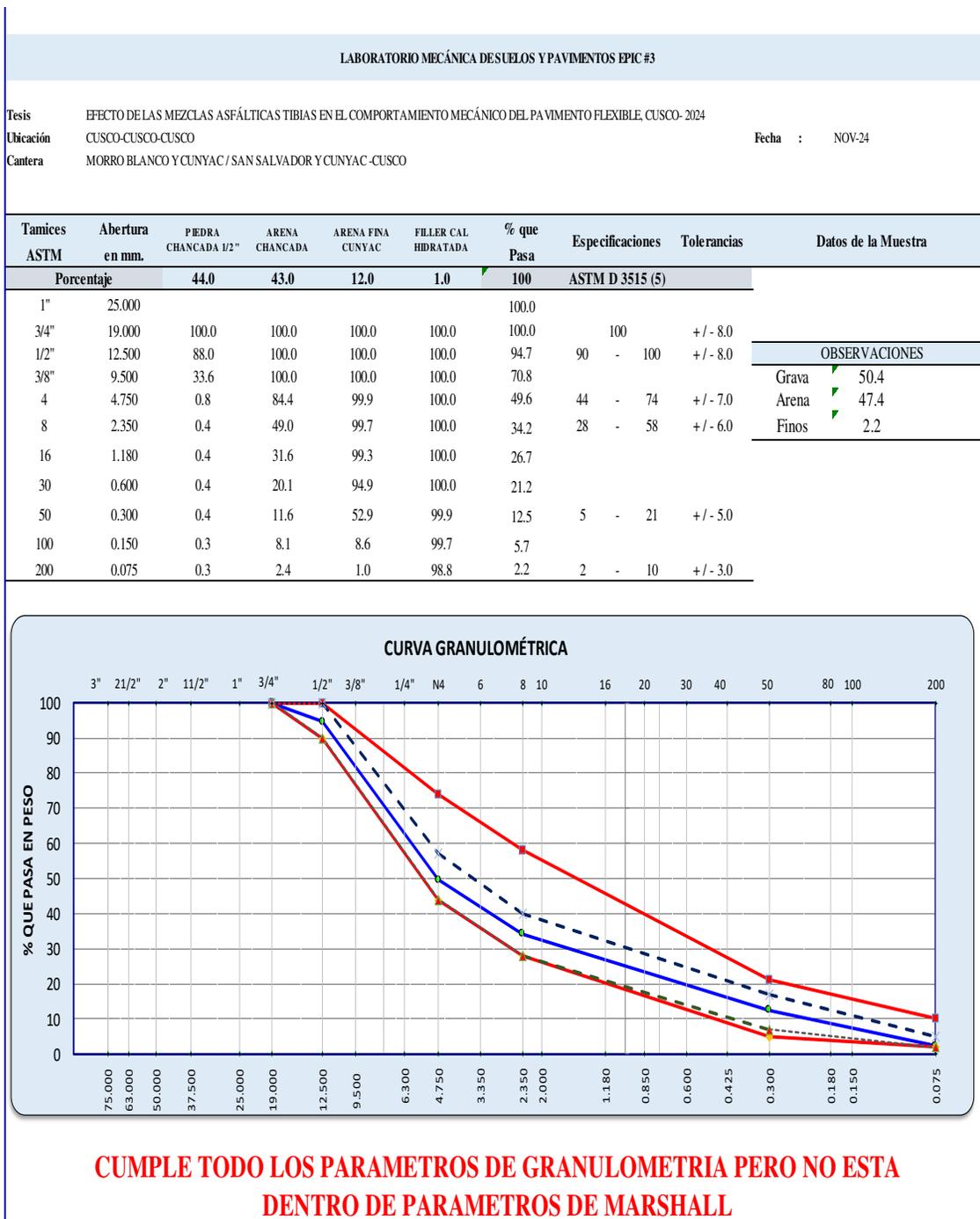
## ANEXO T

## Análisis Granulométrico de filler-Ensayo 03



# ANEXO U

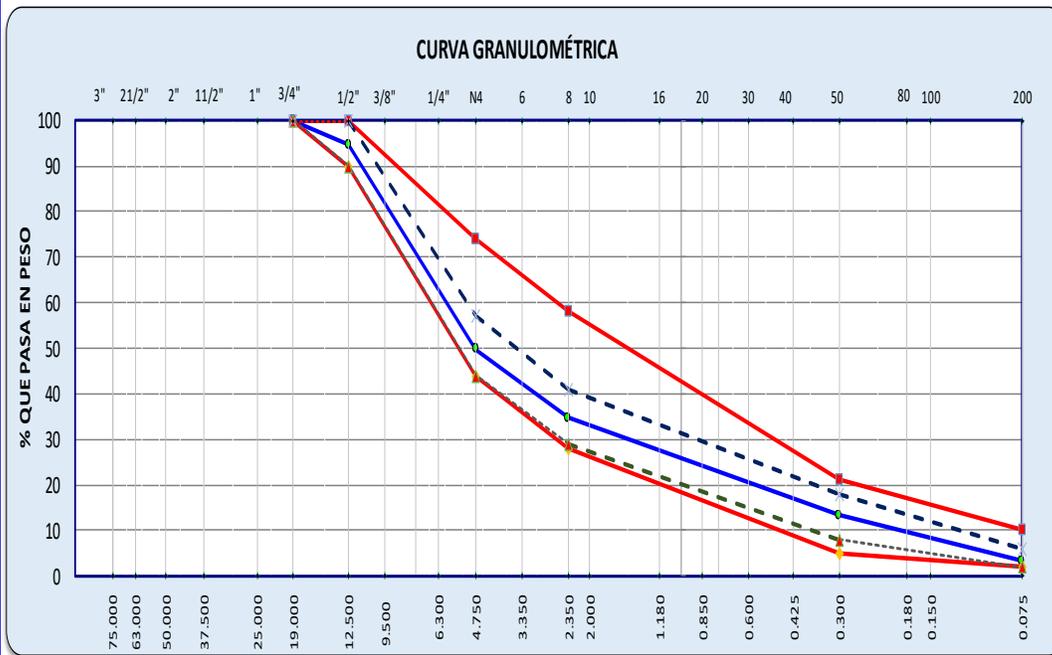
## Combinación teórica de agregados 03



**ANEXO V**

**Combinación teórica de agregados 04**

Tamices ASTM	Abertura en mm.	PIEDRA CHANCADA 1/2"	ARENA CHANCADA	ARENA FINA CUNYAC	FILLER CAL HIDRATADA	% que Pasa	Especificaciones	Tolerancias	Datos de la Muestra
	Porcentaje	44.0	42.0	12.0	2.0	100	ASTM D 3515 (5)		
1"	25.000					100.0			
3/4"	19.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	+/- 8.0	
1/2"	12.500	88.0	100.0	100.0	100.0	94.7	90 - 100	+/- 8.0	OBSERVACIONES
3/8"	9.500	33.6	100.0	100.0	100.0	70.8			Grava ▼ 50.2
4	4.750	0.8	84.4	99.9	100.0	49.8	44 - 74	+/- 7.0	Arena ▼ 46.6
8	2.350	0.4	49.0	99.7	100.0	34.7	28 - 58	+/- 6.0	Finos ▼ 3.2
16	1.180	0.4	31.6	99.3	100.0	27.4			
30	0.600	0.4	20.1	94.9	99.9	22.0			
50	0.300	0.4	11.6	52.9	99.8	13.4	5 - 21	+/- 5.0	
100	0.150	0.3	8.1	8.6	99.4	6.6			
200	0.075	0.3	2.4	1.0	97.6	3.2	2 - 10	+/- 3.0	

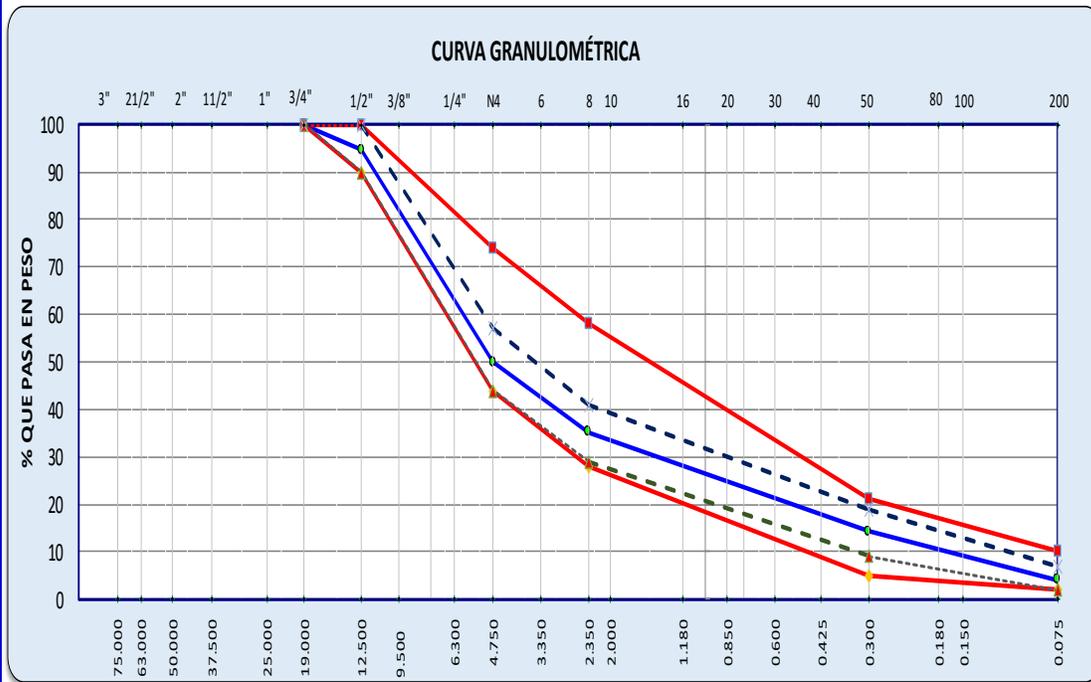


**CUMPLE TODO LOS PARAMETROS DE GRANULOMETRIA PERO NO ESTA DENTRO DE PARAMETROS DE MARSHALL**

### ANEXO W

#### Combinación teórica de agregados 05

Tamices ASTM	Abertura en mm.	PIEDRA CHANCADA 1/2"	ARENA CHANCADA	ARENA FINA CUNYAC	FILLER CAL HIDRATADA	% que Pasa	Especificaciones	Tolerancias	Datos de la Muestra
	Porcentaje	44.0	41.0	12.0	3.0	100	ASTM D 3515 (5)		
1"	25.000					100.0			
3/4"	19.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	+/- 8.0	
1/2"	12.500	88.0	100.0	100.0	100.0	94.7	90 - 100	+/- 8.0	OBSERVACIONES
3/8"	9.500	33.6	100.0	100.0	100.0	70.8			Grava 50.0
4	4.750	0.8	84.4	99.9	100.0	50.0	44 - 74	+/- 7.0	Arena 45.8
8	2.350	0.4	49.0	99.7	100.0	35.2	28 - 58	+/- 6.0	Finos 4.1
16	1.180	0.4	31.6	99.3	100.0	28.1			
30	0.600	0.4	20.1	94.9	99.9	22.8			
50	0.300	0.4	11.6	52.9	99.7	14.2	5 - 21	+/- 5.0	
100	0.150	0.3	8.1	8.6	99.0	7.5			
200	0.075	0.3	2.4	1.0	96.4	4.1	2 - 10	+/- 3.0	



**CUMPLE CON TODO LOS PARAMETROS DE MARSHALL**

## ANEXO X

Abrasión de Ángeles Gradación "B"

Anexo Abrasión Los Ángeles (L.A.) Al Desgaste De Los Agregados De Tamaños

<b>CANTERA:</b>		MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - CUSCO			
<b>NUMERO DE ENSAYO:</b>		1		<b>FECHA:</b> oct-24	
<b>GRANULOMETRIA DE ENSAYO</b>					
<b>GRADACION</b>		"A"	"B"	"C"	"D"
<b>CARGA ABRASIVA (N° de esferas de acero)</b>		12	11	8	6
<b>GRANULOMETRIA DE LA MUESTRA DE AGREGADO PATA ENSAYO</b>					
<b>Tamiz (pasa)</b>	<b>Tamiz(retiene)</b>	<b>"A" (gr)</b>	<b>"B" (gr)</b>	<b>"C" (gr)</b>	<b>"D" (gr)</b>
1 1/2"	1"				
1"	3/4"				
3/4"	1/2"		5118.78		
1/2"	3/8"				
3/8"	1/4"				
1/4"	N°4				
N°4	N°8				
<b>TOTALES</b>		<b>0</b>	<b>5118.78</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>DESGASTE A LA ABRASION</b>					
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UND</b>	<b>1</b>		
A	Peso muestra total	gr	5118.78		
B	Peso retenido en tamiz N°12	gr	4076.32		
D	<b>Desgaste a la abrasion Los Angeles</b> <b>D=(A-B)*100/A</b>	%	<b>20.37%</b>		

<b>CANTERA:</b>		MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - CUSCO			
<b>NUMERO DE ENSAYO:</b>		2		<b>FECHA:</b> oct-24	
<b>GRANULOMETRIA DE ENSAYO</b>					
<b>GRADACION</b>		"A"	"B"	"C"	"D"
<b>CARGA ABRASIVA (N° de esferas de acero)</b>		12	11	8	6
<b>GRANULOMETRIA DE LA MUESTRA DE AGREGADO PATA ENSAYO</b>					
<b>Tamiz (pasa)</b>	<b>Tamiz(retiene)</b>	<b>"A" (gr)</b>	<b>"B" (gr)</b>	<b>"C" (gr)</b>	<b>"D" (gr)</b>
1 1/2"	1"				
1"	3/4"				
3/4"	1/2"		5004.12		
1/2"	3/8"				
3/8"	1/4"				
1/4"	N°4				
N°4	N°8				
<b>TOTALES</b>		<b>0</b>	<b>5004.12</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>DESGASTE A LA ABRASION</b>					
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UND</b>	<b>1</b>		
A	Peso muestra total	gr	5004.12		
B	Peso retenido en tamiz N°12	gr	3990.37		
D	<b>Desgaste a la abrasion Los Angeles</b> <b>D=(A-B)*100/A</b>	%	<b>20.26%</b>		

Menores DE 37,5 mm (1 1/2")

<b>CANTERA:</b>		MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - CUSCO			
<b>NUMERO DE ENSAYO:</b>		3		<b>FECHA:</b> oct-24	
<b>GRANULOMETRIA DE ENSAYO</b>					
<b>GRADACION</b>		"A"	"B"	"C"	"D"
<b>CARGA ABRASIVA (N° de esferas de acero)</b>		12	11	8	6
<b>GRANULOMETRIA DE LA MUESTRA DE AGREGADO PATA ENSAYO</b>					
<b>Tamiz (pasa)</b>	<b>Tamiz(retiene)</b>	<b>"A" (gr)</b>	<b>"B" (gr)</b>	<b>"C" (gr)</b>	<b>"D" (gr)</b>
1 1/2"	1"				
1"	3/4"				
3/4"	1/2"		5012.4		
1/2"	3/8"				
3/8"	1/4"				
1/4"	N°4				
N°4	N°8				
<b>TOTALES</b>		0	5012.4	0	0
<b>DESGASTE A LA ABRASION</b>					
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UND</b>	<b>1</b>		
A	Peso muestra total	gr	5012.40		
B	Peso retenido en tamiz N°12	gr	3977.14		
D	<b>Desgaste a la abrasion Los Angeles</b> <b>D=(A-B)*100/A</b>	%	20.65%		

Resumen correspondiente gradación " B "

<b>CANTERA:</b>		MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - CUSCO				
<b>RESUMEN</b>		<b>FECHA:</b> oct-24				
<b>DESGASTE A LA ABRASION -GRADACION "B"</b>						
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UND</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>P R O M E D I O</b>
A	Peso muestra total	gr	5118.78	5004.12	5012.40	
B	Peso retenido en tamiz N°12	gr	4076.32	3990.37	3977.14	
D	<b>Desgaste a la abrasion Los Angeles</b> <b>D=(A-B)*100/A</b>	%	20.37%	20.26%	20.65%	<b>20.43%</b>

## ANEXO Y

## Abrasión de Ángeles Gradación "C"

<b>CANTERA:</b>		MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - CUSCO			
<b>NUMERO DE ENSAYO:</b>		1		<b>FECHA:</b> oct-24	
<b>GRANULOMETRIA DE ENSAYO</b>					
<b>GRADACION</b>		"A"	"B"	"C"	"D"
<b>CARGA ABRASIVA (N° de esferas de acero)</b>		12	11	8	6
<b>GRANULOMETRIA DE LA MUESTRA DE AGREGADO PATA ENSAYO</b>					
<b>Tamiz (pasa)</b>	<b>Tamiz(retiene)</b>	<b>"A" (gr)</b>	<b>"B" (gr)</b>	<b>"C" (gr)</b>	<b>"D" (gr)</b>
1 1/2"	1"				
1"	3/4"				
3/4"	1/2"				
1/2"	3/8"			5077.32	
3/8"	1/4"				
1/4"	N°4				
N°4	N°8				
<b>TOTALES</b>				<b>5077.32</b>	
<b>DESGASTE A LA ABRASION</b>					
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UND</b>	<b>1</b>		
A	Peso muestra total	gr	5077.32		
B	Peso retenido en tamiz N°12	gr	3974.95		
<b>CANTERA:</b>		MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - CUSCO			
<b>NUMERO DE ENSAYO:</b>		2		<b>FECHA:</b> oct-24	
<b>GRANULOMETRIA DE ENSAYO</b>					
<b>GRADACION</b>		"A"	"B"	"C"	"D"
<b>CARGA ABRASIVA (N° de esferas de acero)</b>		12	11	8	6
<b>GRANULOMETRIA DE LA MUESTRA DE AGREGADO PATA ENSAYO</b>					
<b>Tamiz (pasa)</b>	<b>Tamiz(retiene)</b>	<b>"A" (gr)</b>	<b>"B" (gr)</b>	<b>"C" (gr)</b>	<b>"D" (gr)</b>
1 1/2"	1"				
1"	3/4"				
3/4"	1/2"				
1/2"	3/8"			5012.38	
3/8"	1/4"				
1/4"	N°4				
N°4	N°8				
<b>TOTALES</b>				<b>5012.38</b>	
<b>DESGASTE A LA ABRASION</b>					
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UND</b>	<b>1</b>		
A	Peso muestra total	gr	5012.38		
B	Peso retenido en tamiz N°12	gr	3895.37		
D	<b>Desgaste a la abrasion Los Angeles</b> <b>D=(A-B)*100/A</b>	%	<b>22.29%</b>		

<b>CANTERA:</b>		MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - CUSCO			
<b>NUMERO DE ENSAYO:</b>		3		<b>FECHA:</b> oct-24	
<b>GRANULOMETRIA DE ENSAYO</b>					
<b>GRADACION</b>		"A"	"B"	"C"	"D"
<b>CARGA ABRASIVA (N° de esferas de acero)</b>		12	11	8	6
<b>GRANULOMETRIA DE LA MUESTRA DE AGREGADO PATA ENSAYO</b>					
<b>Tamiz (pasa)</b>	<b>Tamiz(retiene)</b>	<b>"A" (gr)</b>	<b>"B" (gr)</b>	<b>"C" (gr)</b>	<b>"D" (gr)</b>
1 1/2"	1"				
1"	3/4"				
3/4"	1/2"				
1/2"	3/8"			5007.21	
3/8"	1/4"				
1/4"	N°4				
N°4	N°8				
<b>TOTALES</b>				<b>5007.21</b>	
<b>DESGASTE A LA ABRASION</b>					
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UND</b>	<b>1</b>		
A	Peso muestra total	gr	5007.21		
B	Peso retenido en tamiz N°12	gr	3873.14		
D	<b>Desgaste a la abrasion Los Angeles</b> <b>D=(A-B)*100/A</b>	%	<b>22.65%</b>		

Resumen correspondiente gradación "C"

<b>CANTERA:</b>		MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - CUSCO				
<b>RESUMEN</b>		<b>FECHA:</b> oct-24				
<b>DESGASTE A LA ABRASION -GRADACION "C"</b>						
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UND</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>P R O M E D I O</b>
A	Peso muestra total	gr	5077.32	5012.38	5007.21	
B	Peso retenido en tamiz N°12	gr	3974.95	3895.37	3873.14	
D	<b>Desgaste a la abrasion Los Angeles</b> <b>D=(A-B)*100/A</b>	%	21.71%	22.29%	22.65%	<b>22.22%</b>

**ANEXO Z**

Gravedad específica y Absorción de agregado Fino y Grueso

Gravedad específica y Absorción de agregado Fino

CANTERA:		CUNYAC - CUNYAC - CUSCO		FECHA: NOV-24
AGREGADO FINO				
IDENTIFICACION				
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en Aire)	300.00	300.20	
B	Peso Frasco + H2O	745.30	756.20	
C	Peso Frasco + H2O + A	1045.30	1056.40	
D	peso Mat. + H2O en el Frasco	930.90	941.90	
E	Vol. Masa + Vol. Vacíos = C - D	<b>114.40</b>	<b>114.50</b>	
F	Peso del Mat. Seco en Estufa (105º)	298.50	298.90	
G	Vol. .de Masa = E - (A-F)	<b>112.90</b>	<b>113.20</b>	<b>PROMEDIO</b>
	Pe Bulk (Base seca) = F/E	<b>2.61</b>	<b>2.61</b>	<b>2.61</b>
	Pe Bulk (Base Saturada) =A/E	<b>2.62</b>	<b>2.62</b>	<b>2.62</b>
	Pe Aparente (Base seca) = F/G	<b>2.64</b>	<b>2.64</b>	<b>2.64</b>
	% Absorción =(( A-F ) / F ) x 100	<b>0.50</b>	<b>0.43</b>	<b>0.47</b>

Gravedad específica y Absorción de agregado Grueso

CANTERA:		MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - CUSCO		FECHA: OCT-24
AGREGADO GRUESO				
IDENTIFICACION				
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en Aire)	2563.00	2650.00	
B	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en Agua)	1593.40	1647.20	
C	Vol. de Masas + Vol. de Vacíos = A-B	<b>969.60</b>	<b>1002.80</b>	
D	Peso Mat. Seco en estufa (105º)	2540.00	2625.00	
E	Vol. de Masa = C - ( A-D )	<b>946.60</b>	<b>977.80</b>	<b>PROMEDIO</b>
	Pe Bulk (Base seca) =D/C	<b>2.62</b>	<b>2.62</b>	<b>2.62</b>
	Pe Bulk (Base Saturada) =A/C	<b>2.64</b>	<b>2.64</b>	<b>2.64</b>
	Pe Aparente (Base seca) = D/E	<b>2.68</b>	<b>2.68</b>	<b>2.68</b>
	% Absorción =(( A-D ) / D ) x 100	<b>0.91</b>	<b>0.95</b>	<b>0.93</b>

**ANEXO AA**

## Partículas Fracturadas Y Chatas alargadas

<b>CANTERA:</b>		MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - CUSCO			<b>FECHA:</b> NOV-24		
<b>DESCRIPCION</b>		<b>1 1/2"</b>	<b>1"</b>	<b>3/4"</b>	<b>1/2"</b>	<b>3/8"</b>	<b>1/4"</b>
	MUESTRA TAMIZ				1935	3125	1389
PESO	UNA CARA FRACTURADA				65	69	45
	DOS CARAS FRACTURADAS				1848	3037	1330
%	<b>UNA CARA FRACTURADA</b>	2.8%	<b>PESO TOTAL</b>	6449	<b>Peso retenido</b>		179 grs.
	<b>DOS CARAS FRACTURADAS</b>	96.4%			<b>Peso retenido</b>		6215 grs.
<b>RESULTADOS CON POR LO MENOS UNA CARA FRACTURADA</b>					<b>99.1%</b>		
<b>RESULTADOS CON POR LO MENOS DOS CARAS FRACTURADA</b>					<b>96.4%</b>		

<b>CANTERA:</b>		MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - CUSCO			<b>FECHA:</b> NOV-24			
<b>Tamaño del Agregado</b>		<b>Peso (gr)</b>	<b>Chatas</b>		<b>Alargadas</b>		<b>Chatas y Alargadas</b>	
Pasa Tamiz	Retenido T.		particulas	peso	particulas	peso	particulas	peso
1"	3/4"							
3/4"	1/2"	1,466.00	9	28.3	11	33.5	12	26.3
1/2"	3/8"	948.00	15	34.2	14	29.5	13	19.5
3/8"	1/4"	300.00	13	14.6	8	11.6	15	14.7
<b>Total :</b>		<b>2,714.00</b>	<b>77.10</b>		<b>74.60</b>		<b>60.50</b>	
<b>%</b>			<b>2.8%</b>		<b>2.7%</b>		<b>2.2%</b>	
<b>PORCENTAJE DE CHATAS Y ALARGADAS =</b>			<b>2.2%</b>					

## ANEXO BB

## Ensayo de Durabilidad -Equivalente de Arena -Índice de plasticidad -Azul metileno

AGREGADO GRUESO								
TAMAÑO		RECIPIENTE	PESO INICIAL	PESO FINAL	PERDIDA		PERDIDA CORREGIDA	
Pasa	Retiene	N°	A (gr)	B (gr)	PESO C=(A-B)	%D=(C/A)*100		
3/4"	1/2"	1.00	685	675	10	1.459854015	0.448	
1/2"	3/8"	2.00	352	325	27	7.670454545	1.709	
3/8"	N° 4	3.00	325	301	24	7.384615385	2.352	
<b>TOTALES</b>							<b>4.51%</b>	
AGREGADO FINO								
TAMAÑO		RECIPIENTE	PESO INICIAL	PESO FINAL	PERDIDA		PERDIDA CORREGIDA	
Pasa	Retiene	N°	A (gr)	B (gr)	PESO C=(A-B)	%D=(C/A)*100		
1/4"	N° 4	1	100	96.2	3.8	3.8	0.445	
N° 4	N° 8	2	100	94.5	5.5	5.5	0.841	
N° 8	N° 16	3	100	93	7	7	1.192	
N° 16	N° 30	4	100	91	9	9	1.758	
N° 30	N° 50	5	100	89	11	11	2.218	
N° 50	N° 100	6	100	87.2	12.8	12.8	1.315	
<b>TOTALES</b>							<b>7.77%</b>	

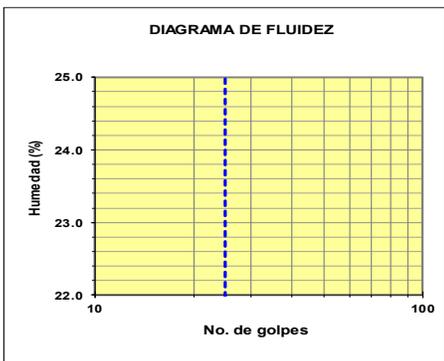
CANTERA:		MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - CUSCO			FECHA: NOV-24
		CUNYAC-CUNYAC-CUSCO			
N° DE ENSAYOS	1	2	3	PROMEDIO	
Tamaño maximo (pasa malla N° 4)					
Hora de entrada a saturacion	08:20	08:22	08:24		
Hora de salida de saturacion (mas 10")	08:30	08:32	08:34		
Hora de entrada a decantacion	08:32	08:34	08:36		
Hora de salida de decantacion (mas 20")	08:52	08:54	08:56		
Altura maxima de material fino	6.00	5.90	5.90		
Altura maxima de la arena	4.50	4.40	4.20		
Equivalente de Arena (%)	75.00	74.58	71.19	73.59	
<b>RESULTADO FINAL (%)</b>	<b>73.59</b>				

CANTERA: MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - CUSCO  
CUNYAC-CUNYAC-CUSCO

FECHA: NOV-24

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO NTP 339.129			LIMITE PLASTICO NPT 339.129	
	1	2	3	1	2
ENSAYO No					
CAPSULA No					
PESO DE CAPSULA + SUELO HUMEDO gr.					
PESO DE CAPSULA + SUELO SECO gr.					
PESO AGUA gr.					
PESO DE LA CAPSULA gr.					
PESO SUELO SECO gr.					
CONTENIDO DE HUMEDAD. %					
NUMERO DE GOLPES					

**N.P**



RESULTADOS DE ENSAYOS	
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (%)	
LIMITE LIQUIDO (%)	N.P
LIMITE PLASTICO (%)	N.P
INDICE PLASTICIDAD (%)	

CANTERA: MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - CUSCO  
CUNYAC-CUNYAC-CUSCO

FECHA: NOV-24

**DATOS**

MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	OBSERVACIONES
Muestra	30	Gramos	Seca al horno, lavada sobre tamiz N200
Agua destilada	1000	Militros	Mezcla de azul de metileno 1 P/V
Azul de metileno	1000	Miligramos	

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

Donde;

VA = Valor de Azul de Metileno en mg de azul por gramo de material seco

C = Concentración de la solución en (mg/ml)

V = miligramos de solución de azul de metileno requerida

W = Material seco usado en la prueba

$$VA = \frac{1 \times 1000}{30} = 33.33 \frac{mg}{g}$$

**RESULTADO =** Se realiza hasta que se forme un alo de color turquesa completa, este ensayo es netamente visual. Asi como se ve en la imagen es de 5.



## ANEXO CC

### Diseño De Mezcla Asfáltica En Caliente Con 2% De Cal Hidratada Método De Marshall Ensayo con 5 % de CA

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	49.8	34.7	27.4	22.0	13.4	6.6	3.2
ESPECIFICACIONES	100	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
AGREGADO GRUESO				50.2%						
AGREGADO FINO				47.8%						
PORCENTAJE DE FILLER				2.0%						
TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO				3/4"						
BRIQUETA N°				1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla				5.0					
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla				47.69					
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla				45.41					
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA				1.90					
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc				1.015					
6	Peso Especifico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc				2.620					
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc				2.610					
8	Peso Especifico del Filler (Aparente) gr/cc				2.340					
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc				2.680					
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc				2.640					
11	Altura promedio de la briqueta mm			60.53	64.43	62.43	65.43	65.47		
12	Diametro promedio de la briqueta mm			99.30	98.10	99.90	98.27	98.07		
13	Volumen de la briqueta cm3			468.79	487.01	489.37	496.25	494.48		
14	Peso de la briqueta al aire (gr)			1199.6	1201.5	1200.7	1198.3	1200.9		
15	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)			1199.9	1202.1	1201.9	1199.9	1201.5		
16	Peso de la briqueta desplazada (gr)			685.1	685.9	686.7	685.8	685.8		
17	Flujo 0,01"(0,25 mm)			14.0	15.0	14.0	14.0	14.0	14.2	8 - 14
18	Estabilidad sin corregir (Kg)			1063	1045	1028	1045	1019		
19	Factor de estabilidad			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
20	Estabilidad Corregida			1063	1045	1028	1045	1019	1040	MIN 815

## Ensayo con 5.5 % C.A

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	49.8	34.7	27.4	22.0	13.4	6.6	3.2
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
AGREGADO GRUESO				50.2%						
AGREGADO FINO				47.8%						
PORCENTAJE DE FILLER				2.0%						
TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO				3/4"						
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.			
1 % C.A. en Peso de la Mezcla		5.5								
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla		47.44								
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla		45.17								
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		1.89								
5 Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1.015								
6 Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc		2.620								
7 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.610								
8 Peso Especifico del Filler (Aparente) gr/cc		2.340								
9 Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.680								
10 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.640								
11 Altura promedio de la briqueta mm	64.43	61.07	62.33	64.20	65.47					
12 Diametro promedio de la briqueta mm	97.23	99.63	99.90	98.43	99.20					
13 Volumen de la briqueta cm <sup>3</sup>	478.44	476.11	488.59	488.55	505.98					
14 Peso de la briqueta al aire (gr)	1204.1	1198.6	1200.3	1199.5	1200.4					
15 Peso de la briqueta al agua por 60'(gr)	1206.3	1199.9	1201.8	1200.4	1201.9					
16 Peso de la briqueta desplazada (gr)	683.3	678.7	680.1	679.2	679.8					
17 Flujo 0,01"(0,25 mm)	14.0	15.0	15.0	15.0	15.0	14.8		8 - 14		
18 Estabilidad sin corregir (Kg)	1063	1036	1019	1045	1028					
19 Factor de estabilidad	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00					
20 Estabilidad Corregida	1020	1036	1019	1045	1028	1030		MIN 815		

## Ensayo de 6 % C.A

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	49.8	34.7	27.4	22.0	13.4	6.6	3.2
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
	AGREGADO GRUESO			50.2%						
	AGREGADO FINO			47.8%						
	PORCENTAJE DE FILLER			2.0%						
	TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO			3/4"						
BRIQUETA N°				1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla				6.0					
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla				47.19					
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla				44.93					
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA				1.88					
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc				1.015					
6	Peso Especifico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc				2.620					
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc				2.610					
8	Peso Especifico del Filler (Aparente) gr/cc				2.340					
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc				2.680					
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc				2.640					
11	Altura promedio de la briqueta mm			60.60	61.70	62.32	60.17	61.03		
12	Diametro promedio de la briqueta mm			99.87	99.63	100.01	99.95	100.06		
13	Volumen de la briqueta cm <sup>3</sup>			474.68	481.02	489.56	472.10	479.90		
14	Peso de la briqueta al aire (gr)			1202.3	1198.3	1203.1	1200.3	1199.5		
15	Peso de la briqueta al agua por 60°(gr)			1203.5	1201.0	1204.4	1203.6	1202.6		
16	Peso de la briqueta desplazada (gr)			675.2	675.1	675.8	676.3	675.7		
17	Flujo 0,01"(0,25 mm)			16.0	17.0	16.0	16.0	15.0	16.0	8 - 14
18	Estabilidad sin corregir (Kg)			1001	1050	1032	1023	1001		
19	Factor de estabilidad			0.96	0.96	0.96	0.96	0.96		
20	Estabilidad Corregida			961	1008	991	982	961	980	MIN 815

## Ensayo de 6.5% C.A

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	49.8	34.7	27.4	22.0	13.4	6.6	3.2
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
AGREGADO GRUESO				50.2%						
AGREGADO FINO				47.8%						
PORCENTAJE DE FILLER				2.0%						
TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO				3/4"						
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.			
1 % C.A. en Peso de la Mezcla		6.5								
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla		46.94								
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla		44.69								
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		1.87								
5 Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1.015								
6 Peso Especifico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc		2.620								
7 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.610								
8 Peso Especifico del Filler (Aparente) gr/cc		2.340								
9 Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.680								
10 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.640								
11 Altura promedio de la briqueta mm	60.73	64.70	62.53	65.67	65.47					
12 Diametro promedio de la briqueta mm	99.57	98.70	100.00	98.47	98.07					
13 Volumen de la briqueta cm3	472.87	495.03	491.14	500.05	494.48					
14 Peso de la briqueta al aire (gr)	1202.1	1202.5	1198.7	1191.3	1199.7					
15 Peso de la briqueta al agua por 60´(gr)	1204.5	1205.4	1200.1	1195.1	1202.1					
16 Peso de la briqueta desplazada (gr)	691.4	692.9	689.8	687.1	690.4					
17 Flujo 0,01"(0,25 mm)	17.0	18.0	18.0	18.0	17.0	17.6		8 - 14		
18 Estabilidad sin corregir (Kg)	1063	1085	1076	1005	974					
19 Factor de estabilidad	1.00	1.00	1.00	1.04	1.00					
20 Estabilidad Corregida 29 * 30	1063	1085	1076	1046	974	1049		MIN 815		

## Ensayo de 7% C.A

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	49.8	34.7	27.4	22.0	13.4	6.6	3.2
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
AGREGADO GRUESO				50.2%						
AGREGADO FINO				47.8%						
PORCENTAJE DE FILLER				2.0%						
TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO				3/4"						
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.			
1 % C.A. en Peso de la Mezcla		7.0								
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla		46.69								
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla		44.45								
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		1.86								
5 Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1.015								
6 Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc		2.620								
7 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.610								
8 Peso Especifico del Filler (Aparente) gr/cc		2.340								
9 Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.680								
10 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.640								
11 Altura promedio de la briqueta mm	65.37	61.40	62.43	64.90	65.77					
12 Diametro promedio de la briqueta mm	98.77	100.00	100.07	98.73	99.43					
13 Volumen de la briqueta cm <sup>3</sup>	500.80	482.23	491.00	496.89	510.69					
14 Peso de la briqueta al aire (gr)	1202.1	1203.6	1199.4	1198.8	1204.4					
15 Peso de la briqueta al agua por 60° (gr)	1203.9	1205.4	1202.5	1201.1	1201.7					
16 Peso de la briqueta desplazada (gr)	692.5	693.1	692.0	691.3	689.6					
17 Flujo 0,01*(0,25 mm)	18.0	20.0	19.0	19.0	18.0	18.8	8 - 14			
18 Estabilidad sin corregir (Kg)	886	930	1001	926	913					
19 Factor de estabilidad	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00					
20 Estabilidad Corregida 29 * 30	886	930	1001	926	913	931	MIN 815			

## Ensayo de Rice - Ensayo Gravedad Específica Teórica Máxima (ASTM D2041)

INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)					
MUESTRA N°	01	02	03	04	05
1.- PESO DEL FRASCO	1500.0	1500.0	1500.0	1500.0	1500.0
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO	7749.0	7749.0	7749.0	7749.0	7749.0
3.- DIFERENCIA DEL PESO ( 04 ) - ( 05 )	7256.1	7253.8	7253.2	7250.7	7246.8
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	8460.0	8458.0	8456.0	8452.0	8449.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1203.9	1204.2	1201.8	1201.3	1202.2
6.- AGUA DESPLAZADA ( 2 ) - ( 3 )	492.9	495.2	495.8	498.3	502.2
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA ( 5 ) / ( 6 )	2.442	2.432	2.424	2.411	2.394
CONTENIDO % C.A.	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00

GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA

Y = -0.0236x + 2.5624  
R² = 0.98

Nota: Como se observa en los datos anteriores con cal hidrata al 2%, y con todos sus porcentajes de 5%, 5.5%,6%,6.5% y 7%, se ve que los parámetros no cumplen, según la EG-2013.

## ANEXO DD

Diseño De Mezcla Asfáltica En Caliente Con 3% De Cal Hidratada Método De Marshall.

Ensayo de 5% de C.A

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
AGREGADO GRUESO				50.0%						
AGREGADO FINO				47.0%						
PORCENTAJE DE FILLER				3.0%						
TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO				3/4"						
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.			
1 % C.A. en Peso de la Mezcla		5.0								
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla		47.55								
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla		44.60								
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		2.85								
5 Peso Específico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1.015								
6 Peso Específico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc		2.620								
7 Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.610								
8 Peso Específico del Filler (Aparente) gr/cc		2.340								
9 Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.680								
10 Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.640								
11 Altura promedio de la briqueta mm	60.53	64.43	62.43	65.43	65.47					
12 Diametro promedio de la briqueta mm	99.30	98.10	99.90	98.27	98.07					
13 Volumen de la briqueta cm3	468.79	487.01	489.37	496.25	494.48					
14 Peso de la briqueta al aire (gr)	1203.5	1202.6	1180.7	1189.9	1194.5					
15 Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)	1207.6	1204.4	1186.2	1195.1	1197.9					
16 Peso de la briqueta desplazada (gr)	684.1	681.6	672.9	678.5	678.5					
17 Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (15-16)	523.5	522.8	513.3	516.6	519.4					
18 Peso específico Bulk de la Briqueta = (14/17)	2.299	2.300	2.300	2.303	2.300	2.301				
19 Peso Específico Maximo - Rice (ASTM D 2041)		2.442								
20 % de Vacios = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)	5.9	5.8	5.8	5.7	5.8	5.8	3 - 5			
21 Peso Específico Bulk Agregado Total		2.606								
22 Peso Específico Efectivo Agregado total		2.638								
23 Asfalto Absorbido por el Agregado		0.47								
24 % de Asfalto Efectivo		4.55								
25 Relación Polvo/Asfalto		1.1					0.6 - 1.3			
26 V.M.A.	16.2	16.1	16.1	16.0	16.2	16.1	14			
27 % Vacios llenos con C.A.	63.7	63.9	63.9	64.5	63.8	64.0				
28 Flujo 0,01"(0,25 mm)	10.0	9.0	10.0	10.0	9.0	9.6	8 - 14			
29 Estabilidad sin corregir (Kg)	1045	913	1001	974	904					
30 Factor de estabilidad	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00					
31 Estabilidad Corregida 29 * 30	1003	913	1001	974	904	959	MIN 815			
32 Estabilidad / Flujo	3950	3992	3941	3837	3953	3935	1700 - 4000			

## Ensayo de 5.5 % de C.A.

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
AGREGADO GRUESO				50.0%						
AGREGADO FINO				47.0%						
PORCENTAJE DE FILLER				3.0%						
TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO				3/4"						
BRIQUETA N°				1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla				5.5					
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla				47.30					
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla				44.37					
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA				2.84					
5	Peso Específico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc				1.015					
6	Peso Específico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc				2.620					
7	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc				2.610					
8	Peso Específico del Filler (Aparente) gr/cc				2.340					
9	Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc				2.680					
10	Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc				2.640					
11	Altura promedio de la briqueta mm			64.43	61.07	62.33	64.20	65.47		
12	Diametro promedio de la briqueta mm			97.23	99.63	99.90	98.43	99.20		
13	Volumen de la briqueta cm3			478.44	476.11	488.59	488.55	505.98		
14	Peso de la briqueta al aire (gr)			1208.9	1193.3	1194.5	1191.0	1207.6		
15	Peso de la briqueta al agua por 60''(gr)			1210.2	1194.8	1197.9	1195.9	1208.9		
16	Peso de la briqueta desplazada (gr)			688.3	679.7	682.5	681.8	687.4		
17	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (15-16)			521.9	515.1	515.4	514.1	521.5		
18	Peso específico Bulk de la Briqueta = (14/17)			2.316	2.317	2.318	2.317	2.316	2.317	
19	Peso Específico Maximo - Rice (ASTM D 2041)				2.432					
20	% de Vacíos = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)			4.7	4.7	4.7	4.7	4.8	4.7	3 - 5
21	Peso Específico Bulk Agregado Total				2.606					
22	Peso Específico Efectivo Agregado total				2.647					
23	Asfalto Absorbido por el Agregado				0.60					
24	% de Asfalto Efectivo				4.93					
25	Relación Polvo/Asfalto				1.2					0.6 - 1.3
26	V.M.A.			16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	14
27	% Vacíos llenos con C.A.			70.3	70.4	70.6	70.4	70.2	70.4	
28	Flujo 0,01"(0,25 mm)			11.0	12.0	10.0	9.0	10.0	10.4	8 - 14
29	Estabilidad sin corregir (Kg)			908	974	904	824	952		
30	Factor de estabilidad			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
31	Estabilidad Corregida 29 * 30			908	974	904	824	952	913	MIN 815
32	Estabilidad / Flujo			3250	3197	3558	3604	3749	3472	1700 - 4000

## Ensayo de 6 % C.A.

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
AGREGADO GRUESO				50.0%						
AGREGADO FINO				47.0%						
PORCENTAJE DE FILLER				3.0%						
TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO				3/4"						
BRIQUETA N°				1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla				6.0					
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla				47.05					
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla				44.13					
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA				2.82					
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc				1.015					
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc				2.620					
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc				2.610					
8	Peso Especifico del Filler (Aparente) gr/cc				2.340					
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc				2.680					
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc				2.640					
11	Altura promedio de la briqueta mm			61.30	62.60	61.23	62.47	62.07		
12	Diametro promedio de la briqueta mm			99.47	97.87	99.33	98.60	98.60		
13	Volumen de la briqueta cm <sup>3</sup>			476.33	470.91	474.53	476.97	473.92		
14	Peso de la briqueta al aire (gr)			1202.6	1193.0	1203.7	1193.0	1203.0		
15	Peso de la briqueta al agua por 60'(gr)			1204.3	1194.8	1204.3	1193.7	1204.6		
16	Peso de la briqueta desplazada (gr)			689.8	683.4	688.9	682.5	688.8		
17	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (15-16)			514.5	511.4	515.4	511.2	515.8		
18	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (14/17)			2.337	2.333	2.335	2.334	2.332	2.334	
19	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)				2.424					
20	% de Vacios = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)			3.6	3.8	3.7	3.7	3.8	3.7	3 - 5
21	Peso Especifico Bulk Agregado Total				2.606					
22	Peso Especifico Efectivo Agregado total				2.660					
23	Asfalto Absorbido por el Agregado				0.79					
24	% de Asfalto Efectivo				5.26					
25	Relación Polvo/Asfalto				1.3					0.6 - 1.3
26	V.M.A.			15.7	15.9	15.8	15.8	15.9	15.8	14
27	% Vacios llenos con C.A.			77.2	76.3	76.8	76.5	76.2	76.6	
28	Flujo 0,01"(0,25 mm)			13.0	14.0	15.0	14.0	13.0	13.8	8 - 14
29	Estabilidad sin corregir (Kg)			1063	1133	1098	1147	1063		
30	Factor de estabilidad			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
31	Estabilidad Corregida 29 * 30			1063	1133	1098	1147	1063	1101	MIN 815
32	Estabilidad / Flujo			3219	3187	2882	3225	3219	3146	1700 - 4000

## Ensayo de 6.5% C.A

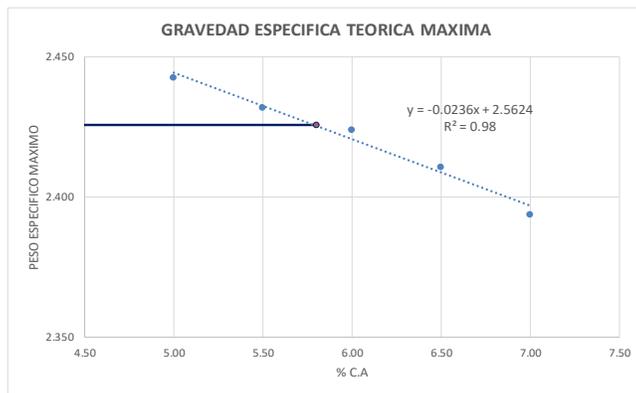
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
AGREGADO GRUESO				50.0%						
AGREGADO FINO				47.0%						
PORCENTAJE DE FILLER				3.0%						
TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO				3/4"						
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.			
1 % C.A. en Peso de la Mezcla		6.5								
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla		46.80								
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla		43.90								
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		2.81								
5 Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1.015								
6 Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc		2.620								
7 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.610								
8 Peso Especifico del Filler (Aparente) gr/cc		2.340								
9 Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.680								
10 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.640								
11 Altura promedio de la briqueta mm	60.73	64.70	62.53	65.67	65.47					
12 Diametro promedio de la briqueta mm	99.57	98.70	100.00	98.47	98.07					
13 Volumen de la briqueta cm3	472.87	495.03	491.14	500.05	494.48					
14 Peso de la briqueta al aire (gr)	1202.1	1202.5	1198.7	1191.3	1199.7					
15 Peso de la briqueta al agua por 60" (gr)	1204.5	1205.4	1200.1	1195.1	1202.1					
16 Peso de la briqueta desplazada (gr)	691.4	692.9	689.8	687.1	690.4					
17 Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (15-16)	513.1	512.5	510.3	508.0	511.7					
18 Peso especifico Bulk de la Briqueta = (14/17)	2.343	2.346	2.349	2.345	2.345	2.346				
19 Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)		2.411								
20 % de Vacios = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)	2.8	2.7	2.6	2.7	2.7	2.7	3 - 5			
21 Peso Especifico Bulk Agregado Total		2.606								
22 Peso Especifico Efectivo Agregado total		2.666								
23 Asfalto Absorbido por el Agregado		0.87								
24 % de Asfalto Efectivo		5.68								
25 Relación Polvo/Asfalto		1.4					0.6 - 1.3			
26 V.M.A.	15.9	15.8	15.7	15.9	15.9	15.8	14			
27 % Vacios llenos con C.A.	82.3	83.1	83.7	82.8	82.7	82.9				
28 Flujo 0,01"(0,25 mm)	15.0	16.0	15.0	16.0	17.0	15.8	8 - 14			
29 Estabilidad sin corregir (Kg)	1063	1085	1076	1005	974					
30 Factor de estabilidad	1.00	1.00	1.00	1.04	1.00					
31 Estabilidad Corregida 29 * 30	1063	1085	1076	1046	974	1049	MIN 815			
32 Estabilidad / Flujo	2790	2670	2824	2573	2257	2623	1700 - 4000			

## Ensayo de 7% C.A.

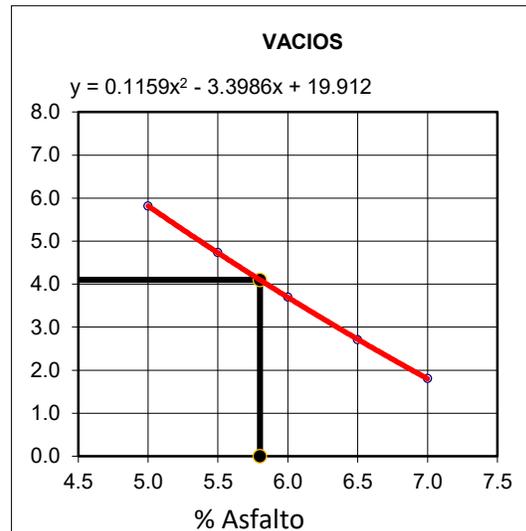
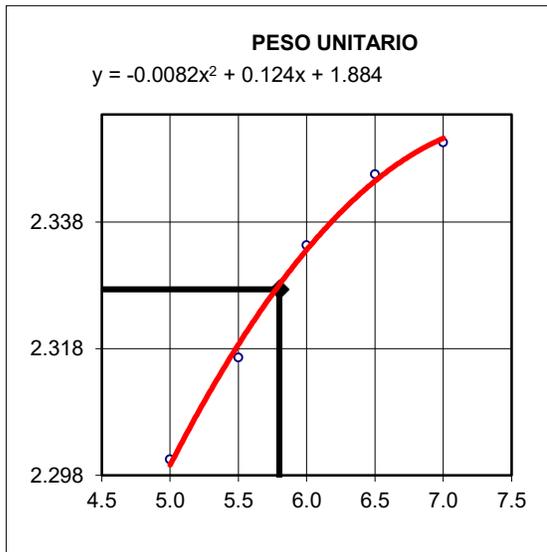
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
AGREGADO GRUESO				50.0%						
AGREGADO FINO				47.0%						
PORCENTAJE DE FILLER				3.0%						
TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO				3/4"						
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.			
1 % C.A. en Peso de la Mezcla		7.0								
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla		46.55								
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla		43.66								
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		2.79								
5 Peso Específico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1.015								
6 Peso Específico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc		2.620								
7 Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.610								
8 Peso Específico del Filler (Aparente) gr/cc		2.340								
9 Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.680								
10 Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.640								
11 Altura promedio de la briqueeta mm	65.37	61.40	62.43	64.90	65.77					
12 Diametro promedio de la briqueeta mm	98.77	100.00	100.07	98.73	99.43					
13 Volumen de la briqueeta cm <sup>3</sup>	500.80	482.23	491.00	496.89	510.69					
14 Peso de la briqueeta al aire (gr)	1202.1	1203.6	1199.4	1198.8	1204.4					
15 Peso de la briqueeta al agua por 60´(gr)	1203.9	1205.4	1202.5	1201.1	1201.7					
16 Peso de la briqueeta desplazada (gr)	692.5	693.1	692.0	691.3	689.6					
17 Volumen de la briqueeta por desplazamiento (cc) = (15-16)	511.4	512.3	510.5	509.8	512.1					
18 Peso especifico Bulk de la Briqueeta = (14/17)	2.351	2.349	2.349	2.352	2.352	2.351				
19 Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)		2.394								
20 % de Vacios = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)	1.8	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8				3 - 5
21 Peso Especifico Bulk Agregado Total		2.606								
22 Peso Especifico Efectivo Agregado total		2.667								
23 Asfalto Absorbido por el Agregado		0.88								
24 % de Asfalto Efectivo		6.18								
25 Relación Polvo/Asfalto		1.5								0.6 - 1.3
26 V.M.A.	16.1	16.2	16.2	16.1	16.1	16.1				14
27 % Vacios llenos con C.A.	88.8	88.5	88.5	89.0	89.1	88.8				
28 Flujo 0,01"(0,25 mm)	17.0	16.0	19.0	19.0	17.0	17.6				8 - 14
29 Estabilidad sin corregir (Kg)	886	930	1001	926	913					
30 Factor de estabilidad	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00					
31 Estabilidad Corregida 29 * 30	886	930	1001	926	913	931				MIN 815
32 Estabilidad / Flujo	2052	2289	2074	1918	2113	2089				1700 - 4000

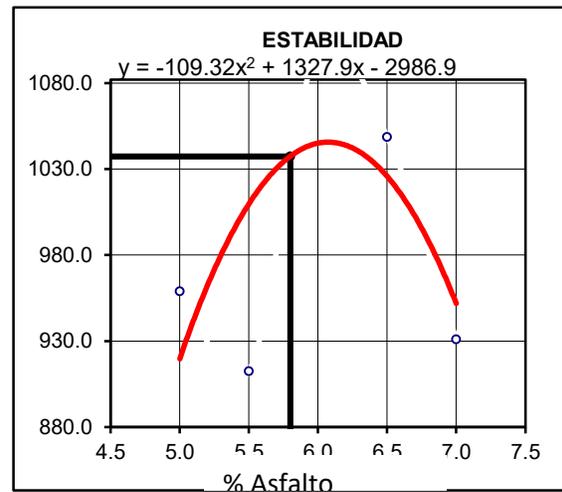
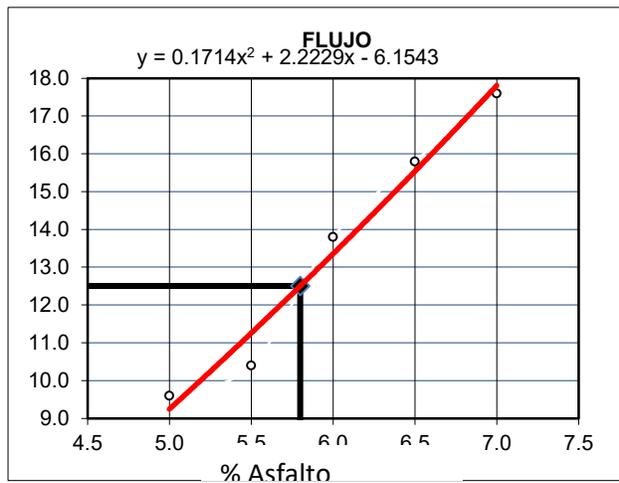
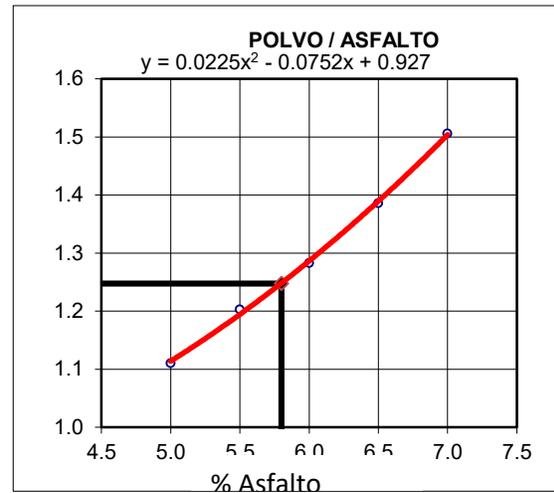
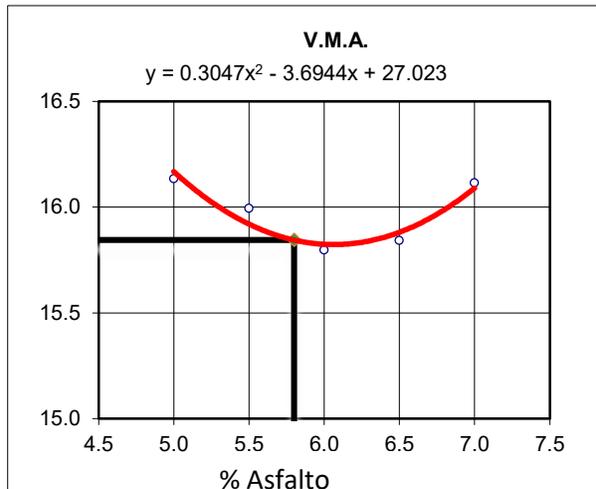
## Ensayo de Rice- Gravedad Específica Teórica Máxima (ASTM D2041)

INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)					
MUESTRA N°	01	02	03	04	05
1.- PESO DEL FRASCO	1500.0	1500.0	1500.0	1500.0	1500.0
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO	7749.0	7749.0	7749.0	7749.0	7749.0
3.- DIFERENCIA DEL PESO ( 04 ) - ( 05 )	7256.1	7253.8	7253.2	7250.7	7246.8
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	8460.0	8458.0	8455.0	8452.0	8449.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1203.9	1204.2	1201.8	1201.3	1202.2
6.- AGUA DESPLAZADA ( 2 ) - ( 3 )	492.9	495.2	495.8	498.3	502.2
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA ( 5 ) / ( 6 )	2.442	2.432	2.424	2.411	2.394
CONTENIDO % C.A	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00



### Determinación Del Óptimo De Cemento Asfáltico Curvas De Energía De Compactación Constante





### CARACTERISTICAS MARSHALL

GOLPES	<b>75</b>	75
% C. A.	<b>5.80</b>	
P. UNITARIO	<b>2.327</b>	
VACIOS	<b>4.1</b>	3 - 5
V.M.A.	<b>15.8</b>	14.0
V. LL.C.A.	<b>74.0</b>	
POLVO / ASFALTO	<b>1.2</b>	0.6 - 1.3
FLUJO	<b>12.5</b>	8 - 14
ESTABILIDAD	<b>1037.4</b>	8.15 kN.
ESTABILIDAD/ FLUJO	<b>3318.5</b>	1700 - 4000
PESO ESPECIFICO MAXIMO	<b>2.4</b>	

En el resumen requerido se observa el C.A. es de 5.8 %. vacíos de 4.1, polvo/asfalto de 1.2, estabilidad 1037.4 KN, y relación de estabilidad/flujo 3318.5 con peso máximo de 2.4

## Resumen de parámetros de Marshall

DISEÑO DE MEZCLA EN CALIENTE					
MÉTODO DE MARSHALL					
(RESUMEN)					
<b>1.- Mezcla de agregados (Dosificación)</b>					
Gradación	: ASTM D 3515				
<b>2.- Ligante asfáltico</b>					
Tipo de asfalto	: PEN 120/150				
% optimo de asfalto residual	: 5.8%				
<b>3.- Características marshall modificado</b>					
Parámetros de diseño		- 0.2 %	% Óptimo	+0.2 %	Especificación EG 2013
GOLPES	N°		75.0		75
CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.60	5.80	6.00	
PESO UNITARIO	kg/m <sup>3</sup>	2.321	2.327	2.333	
VACIOS	%	4.5	4.1	3.7	3 - 5
V.M.A.	%	15.9	15.8	15.8	14
V. L.L.C.A.	%	71.6	74.0	76.5	
POLVO / ASFALTO	%	1.2	1.2	1.3	0.6 - 1.3
FLUJO	mm	11.7	12.5	13.4	8 - 14
ESTABILIDAD	kN	1021.1	1037.4	1045.0	8,15
ESTABILIDAD/ FLUJO	kg/cm	3500.1	3318.5	3130.2	1700 - 4000

## ANEXO EE

### Diseño De Mezcla Asfáltica Modificadas Con 3% De Cal Hidratada Método De Marshall.

#### Ensayo de 5% C.A

Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con POLIMERO SBS									
Identificación	: BETUTEC IB									
Descripción	: Diseño ASTM D 3515 (Asfalto Modificado con Polímero SBS)									
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	<b>3/4"</b>	<b>1/2"</b>	<b>3/8"</b>	<b>No 4</b>	<b>No 8</b>	<b>No 16</b>	<b>No 30</b>	<b>No 50</b>	<b>No 100</b>	<b>No 200</b>
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
	AGREGADO GRUESO			50.0%						
	AGREGADO FINO			47.0%						
	PORCENTAJE DE FILLER			3.0%						
	TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO			3/4"						
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.			
1 % C.A. en Peso de la Mezcla		<b>5.0</b>								
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla		47.55								
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla		44.60								
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		2.85								
5 Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1.012								
6 Peso Especifico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc		2.620								
7 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.610								
8 Peso Especifico del Filler (Aparente) gr/cc		2.340								
9 Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.680								
10 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.640								
11 Altura promedio de la briqueta mm	61.17	61.53	61.27	65.10	64.23					
12 Diametro promedio de la briqueta mm	99.00	98.40	99.93	98.87	98.73					
13 Volumen de la briqueta cm3	470.84	467.94	480.55	499.77	491.79					
14 Peso de la briqueta al aire (gr)	1200.4	1201.3	1197.6	1200.5	1201.1					
15 Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)	1201.7	1202.5	1199.3	1201.8	1202.5					
16 Peso de la briqueta desplazada (gr)	686.1	687.2	685.6	686.0	687.3					
17 Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (15-16)	515.6	515.3	513.7	515.8	515.2					
18 Peso especifico Bulk de la Briqueta = (14/17)	2.328	2.331	2.331	2.327	2.331	<b>2.330</b>				
19 Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)		2.455								
20 % de Vacios = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)	5.2	5.1	5.1	5.2	5.1	<b>5.1</b>				3 - 5
21 Peso Especifico Bulk Agregado Total		2.606								
22 Peso Especifico Efectivo Agregado total		2.655								
23 Asfalto Absorbido por el Agregado		<b>0.71</b>								
24 % de Asfalto Efectivo		4.32								
25 Relación Polvo/Asfalto		1.1								0.6 - 1.3
26 V.M.A.	15.1	15.0	15.0	15.2	15.0	<b>15.1</b>				14
27 % Vacios llenos con C.A.	65.7	66.3	66.3	65.6	66.3	<b>66.1</b>				
28 Flujo 0,01"(0,25 mm)	10.0	10.0	10.0	10.0	9.0	<b>9.8</b>				8 - 14
29 Estabilidad sin corregir (Kg)	1199	1226	1213	1164	1182					
30 Factor de estabilidad	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00					
31 Estabilidad Corregida 29 * 30	1199	1226	1213	1164	1182	<b>1197</b>				MIN 815
32 Estabilidad / Flujo	4722	4826	4774	4584	5170	<b>4815</b>				1700 - 4000

## Ensayo de 5.5% C.A

Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con POLIMERO SBS									
Identificación	: BETUTECH IB									
Descripción	: Diseño ASTM D 3515 (Asfalto Modificado con Polímero SBS)									
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
	AGREGADO GRUESO			50.0%						
	AGREGADO FINO			47.0%						
	PORCENTAJE DE FILLER			3.0%						
	TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO			3/4"						
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.			
1	% C.A. en Peso de la Mezcla			<b>5.5</b>						
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla			47.30						
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla			44.37						
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA			2.84						
5	Peso Específico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc			1.012						
6	Peso Específico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc			2.620						
7	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc			2.610						
8	Peso Específico del Filler (Aparente) gr/cc			2.340						
9	Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc			2.680						
10	Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc			2.640						
11	Altura promedio de la briqueta	mm	64.87	61.13	62.87	64.17	65.83			
12	Diámetro promedio de la briqueta	mm	98.00	99.83	100.13	98.97	99.03			
13	Volumen de la briqueta	cm3	489.29	478.54	495.07	493.60	507.11			
14	Peso de la briqueta al aire (gr)		1195.3	1200.1	1198.7	1199.3	1203.2			
15	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)		1197.1	1203.4	1200.1	1200.6	1204.5			
16	Peso de la briqueta desplazada (gr)		686.1	689.8	687.2	687.4	690.1			
17	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (15-16)		511.0	513.6	512.9	513.2	514.4			
18	Peso específico Bulk de la Briqueta = (14/17)		2.339	2.337	2.337	2.337	2.339	<b>2.338</b>		
19	Peso Específico Máximo - Rice	(ASTM D 2041)	2.442							
20	% de Vacíos = (19-18)x100/19	(ASTM D 3203)	4.2	4.3	4.3	4.3	4.2	<b>4.3</b>	3 - 5	
21	Peso Específico Bulk Agregado Total		2.606							
22	Peso Específico Efectivo Agregado total		2.660							
23	Asfalto Absorbido por el Agregado		0.79							
24	% de Asfalto Efectivo		4.75							
25	Relación Polvo/Asfalto		1.2							0.6 - 1.3
26	V.M.A.		15.2	15.3	15.2	15.3	15.2	<b>15.2</b>	14	
27	% Vacíos llenos con C.A.		72.3	71.8	71.9	71.9	72.3	<b>72.1</b>		
28	Flujo 0,01"(0,25 mm)		12.0	12.0	12.0	13.0	12.0	<b>12.2</b>	8 - 14	
29	Estabilidad sin corregir (Kg)		1191	1151	1133	1173	1147			
30	Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
31	Estabilidad Corregida 29 * 30		1191	1151	1133	1173	1147	<b>1159</b>	MIN 815	
32	Estabilidad / Flujo		3906	3776	3719	3553	3762	<b>3743</b>	1700 - 4000	

## Ensayo de 6% C.A

Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con POLIMERO SBS										
Identificación	: BETUTECH IB										
Descripción	: Diseño ASTM D 3515 (Asfalto Modificado con Polímero SBS)										
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)											
TAMICES ASTM	<b>3/4"</b>	<b>1/2"</b>	<b>3/8"</b>	<b>No 4</b>	<b>No 8</b>	<b>No 16</b>	<b>No 30</b>	<b>No 50</b>	<b>No 100</b>	<b>No 200</b>	
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1	
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10	
	AGREGADO GRUESO			50.0%							
	AGREGADO FINO			47.0%							
	PORCENTAJE DE FILLER			3.0%							
	TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO			3/4"							
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.				
1	% C.A. en Peso de la Mezcla		<b>6.0</b>								
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla		47.05								
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla		44.13								
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		2.82								
5	Peso Específico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1.012								
6	Peso Específico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc		2.620								
7	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.610								
8	Peso Específico del Filler (Aparente) gr/cc		2.340								
9	Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.680								
10	Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.640								
11	Altura promedio de la briqueta	mm	61.23	63.03	62.13	63.00	62.40				
12	Diámetro promedio de la briqueta	mm	100.03	99.67	99.67	99.10	98.83				
13	Volumen de la briqueta	cm3	481.25	491.77	484.75	485.93	478.72				
14	Peso de la briqueta al aire (gr)		1202.7	1199.8	1200.4	1201.7	1198.5				
15	Peso de la briqueta al agua por 60" (gr)		1203.8	1201.3	1202.9	1203.9	1201.6				
16	Peso de la briqueta desplazada (gr)		694.5	693.3	694.1	694.7	694.2				
17	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (15-16)		509.3	508.0	508.8	509.2	507.4				
18	Peso específico Bulk de la Briqueta = (14/17)		2.361	2.362	2.359	2.360	2.362	<b>2.361</b>			
19	Peso Específico Máximo - Rice (ASTM D 2041)		2.433								
20	% de Vacíos = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)		2.9	2.9	3.0	3.0	2.9	<b>2.9</b>	3 - 5		
21	Peso Específico Bulk Agregado Total		2.606								
22	Peso Específico Efectivo Agregado total		2.672								
23	Asfalto Absorbido por el Agregado		0.96								
24	% de Asfalto Efectivo		5.10								
25	Relación Polvo/Asfalto		1.2								0.6 - 1.3
26	V.M.A.		14.8	14.8	14.9	14.9	14.8	<b>14.8</b>	14		
27	% Vacíos llenos con C.A.		80.3	80.3	79.8	79.9	80.4	<b>80.1</b>			
28	Flujo 0,01"(0,25 mm)		13.0	14.0	14.0	14.0	13.0	<b>13.6</b>	8 - 14		
29	Estabilidad sin corregir (Kg)		1230	1133	1116	1147	1089				
30	Factor de estabilidad		1.00	1.04	1.04	1.00	1.04				
31	Estabilidad Corregida 29 * 30		1230	1179	1160	1147	1133	<b>1170</b>	MIN 815		
32	Estabilidad / Flujo		3726	3315	3263	3225	3431	<b>3392</b>	1700 - 4000		

## Ensayo de 6.5% C.A

Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con POLIMERO SBS									
Identificación	: BETUTEC IB									
Descripción	: Diseño ASTM D 3515 (Asfalto Modificado con Polímero SBS)									
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	<b>3/4"</b>	<b>1/2"</b>	<b>3/8"</b>	<b>No 4</b>	<b>No 8</b>	<b>No 16</b>	<b>No 30</b>	<b>No 50</b>	<b>No 100</b>	<b>No 200</b>
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
	AGREGADO GRUESO			50.0%						
	AGREGADO FINO			47.0%						
	PORCENTAJE DE FILLER			3.0%						
	TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO			3/4"						
<b>BRIQUETA N°</b>				<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla				<b>6.5</b>					
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla				46.80					
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla				43.90					
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA				2.81					
5	Peso Específico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc				1.012					
6	Peso Específico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc				2.620					
7	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc				2.610					
8	Peso Específico del Filler (Aparente) gr/cc				2.340					
9	Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc				2.680					
10	Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc				2.640					
11	Altura promedio de la briqueeta mm			60.83	65.10	62.97	66.03	66.10		
12	Diametro promedio de la briqueeta mm			99.97	99.20	100.27	98.93	98.83		
13	Volumen de la briqueeta cm3			477.47	503.15	497.18	507.62	507.11		
14	Peso de la briqueeta al aire (gr)			1199.0	1200.1	1197.9	1201.3	1200.6		
15	Peso de la briqueeta al agua por 60´ (gr)			1200.4	1202.2	1199.5	1202.8	1202.1		
16	Peso de la briqueeta desplazada (gr)			694.9	696.4	695.0	696.3	696.5		
17	Volumen de la briqueeta por desplazamiento (cc) = (15-16)			505.5	505.8	504.5	506.5	505.6		
18	Peso específico Bulk de la Briqueeta = (14/17)			2.372	2.373	2.374	2.372	2.375	<b>2.373</b>	
19	Peso Específico Maximo - Rice (ASTM D 2041)				2.422					
20	% de Vacios = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)			2.1	2.0	2.0	2.1	1.9	<b>2.0</b>	3 - 5
21	Peso Específico Bulk Agregado Total				2.606					
22	Peso Específico Efectivo Agregado total				2.681					
23	Asfalto Absorbido por el Agregado				<b>1.09</b>					
24	% de Asfalto Efectivo				5.48					
25	Relación Polvo/Asfalto				1.3					0.6 - 1.3
26	V.M.A.			14.9	14.9	14.8	14.9	14.8	<b>14.9</b>	14
27	% Vacios llenos con C.A.			86.2	86.4	86.8	86.2	86.9	<b>86.5</b>	
28	Flujo 0,01"(0,25 mm)			17.0	16.0	17.0	17.0	17.0	<b>16.8</b>	8 - 14
29	Estabilidad sin corregir (Kg)			970	930	961	1005	974		
30	Factor de estabilidad			1.04	1.04	1.04	1.04	1.04		
31	Estabilidad Corregida 29 * 30			1009	967	1000	1046	1013	<b>1007</b>	MIN 815
32	Estabilidad / Flujo			2336	2381	2315	2422	2347	<b>2360</b>	1700 - 4000

## Ensayo de 7% C.A

Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con POLIMERO SBS									
Identificación	: BETUTEC IB									
Descripción	: Diseño ASTM D 3515 (Asfalto Modificado con Polímero SBS)									
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	<b>3/4"</b>	<b>1/2"</b>	<b>3/8"</b>	<b>No 4</b>	<b>No 8</b>	<b>No 16</b>	<b>No 30</b>	<b>No 50</b>	<b>No 100</b>	<b>No 200</b>
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
	AGREGADO GRUESO			50.0%						
	AGREGADO FINO			47.0%						
	PORCENTAJE DE FILLER			3.0%						
	TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO			3/4"						
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.			
1 % C.A. en Peso de la Mezcla		<b>7.0</b>								
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla		46.55								
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla		43.66								
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		2.79								
5 Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1.012								
6 Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc		2.620								
7 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.610								
8 Peso Especifico del Filler (Aparente) gr/cc		2.340								
9 Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.680								
10 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.640								
11 Altura promedio de la briqueta mm	65.77	62.07	62.73	65.10	65.97					
12 Diametro promedio de la briqueta mm	99.30	100.10	100.13	98.90	99.93					
13 Volumen de la briqueta cm3	509.32	488.45	494.02	500.11	517.41					
14 Peso de la briqueta al aire (gr)	1200.4	1199.8	1201.3	1198.6	1202.4					
15 Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)	1202.1	1201.7	1202.7	1201.1	1203.5					
16 Peso de la briqueta desplazada (gr)	695.1	695.3	695.1	694.6	696.1					
17 Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (15-16)	507.0	506.4	507.6	506.5	507.4					
18 Peso especifico Bulk de la Briqueta = (14/17)	2.368	2.369	2.367	2.366	2.370	<b>2.368</b>				
19 Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)		2.409								
20 % de Vacios = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	<b>1.7</b>			3 - 5	
21 Peso Especifico Bulk Agregado Total		2.606								
22 Peso Especifico Efectivo Agregado total		2.688								
23 Asfalto Absorbido por el Agregado		<b>1.18</b>								
24 % de Asfalto Efectivo		5.90								
25 Relación Polvo/Asfalto		1.4								0.6 - 1.3
26 V.M.A.	15.5	15.4	15.5	15.5	15.4	<b>15.5</b>			14	
27 % Vacios llenos con C.A.	89.0	89.4	88.8	88.8	89.6	<b>89.1</b>				
28 Flujo 0,01"(0,25 mm)	18.0	17.0	18.0	18.0	19.0	<b>18.0</b>			8 - 14	
29 Estabilidad sin corregir (Kg)	886	904	913	873	899					
30 Factor de estabilidad	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04					
31 Estabilidad Corregida 29 * 30	921	940	949	908	935	<b>931</b>			MIN 815	
32 Estabilidad / Flujo	2015	2177	2076	1985	1938	<b>2038</b>			1700 - 4000	

### Informe De Ensayo Gravedad Específica Teórica Máxima (ASTM D2041)

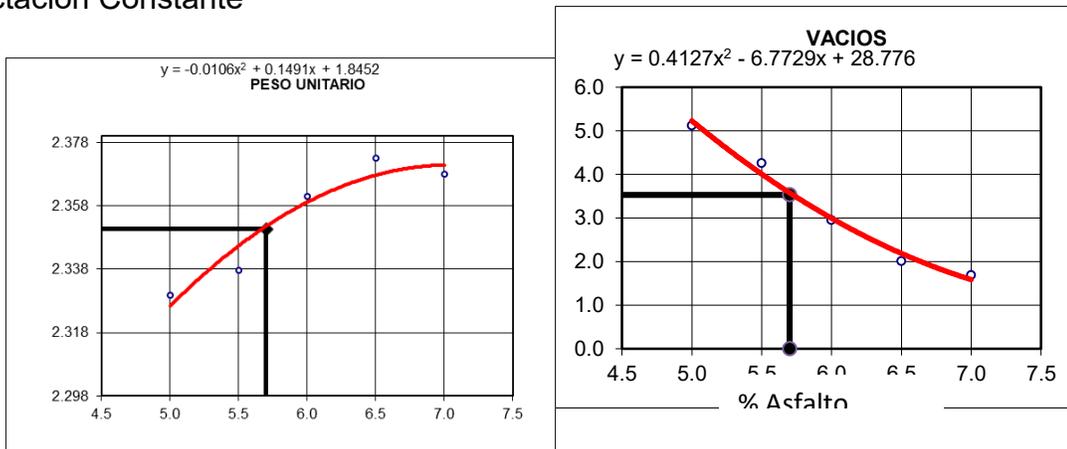
Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con POLIMERO SBS				
Identificación	: BETUTECH IB				
Descripción	: Diseño ASTM D 3515 (Asfalto Modificado con Polímero SBS)				
INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)					
MUESTRA Nº	01	02	03	04	05
1.- PESO DEL FRASCO	1500.0	1500.0	1500.0	1500.0	1500.0
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO	7749.0	7749.0	7749.0	7749.0	7749.0
3.- DIFERENCIA DEL PESO ( 04 ) - ( 05 )	7260.5	7257.2	7254.8	7251.7	7249.2
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	<b>8460.0</b>	<b>8458.0</b>	<b>8457.0</b>	<b>8456.0</b>	<b>8453.0</b>
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	<b>1199.5</b>	<b>1200.8</b>	<b>1202.2</b>	<b>1204.3</b>	<b>1203.8</b>
6.- AGUA DESPLAZADA ( 2 ) - ( 3 )	488.5	491.8	494.2	497.3	499.8
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA ( 5 ) / ( 6 )	<b>2.455</b>	<b>2.442</b>	<b>2.433</b>	<b>2.422</b>	<b>2.409</b>
<b>CONTENIDO % C.A.</b>	<b>5.00</b>	<b>5.50</b>	<b>6.00</b>	<b>6.50</b>	<b>7.00</b>

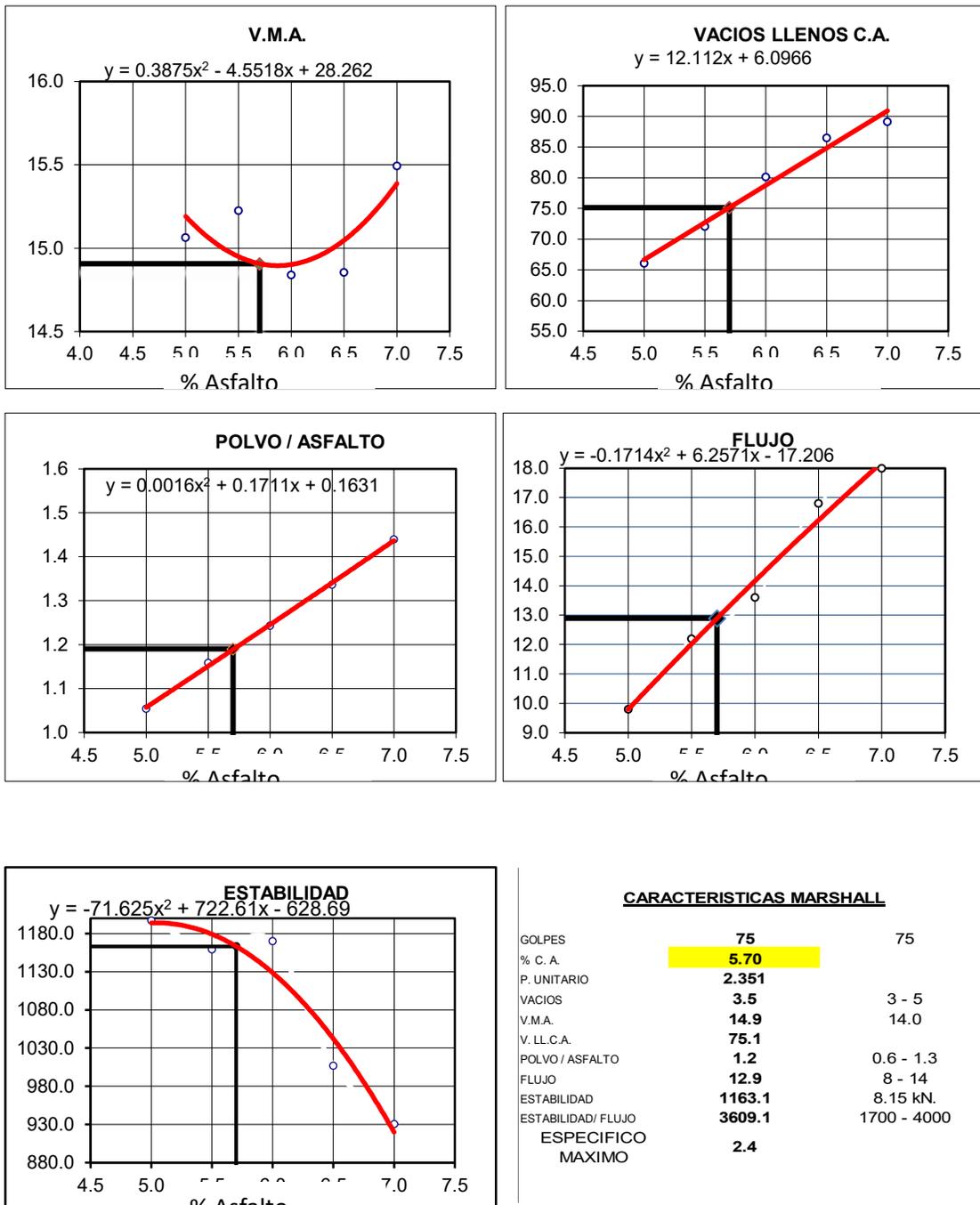
  

**GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA (ASTM D2041)**

$y = -0.0228x + 2.5685$   
 $R^2 = 0.9958$

### Determinación Del Óptimo De Cemento Asfáltico Curvas De Energía De Compactación Constante





La mezcla asfáltica modificada es el 5.7 % de C.A de cantidad de vacíos, relación de polvo/asfalto 1.2, estabilidad de valor 11631 KN y relación de estabilidad/flujo de 3609,1..

## Resumen de mezcla asfáltica modificada

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con POLIMERO SBS  
 Identificación : BETUTEC IB  
 Descripción : Diseño ASTM D 3515 (Asfalto Modificado con Polímero SBS)

### 1.- Mezcla de agregados (Dosificación)

Gradación : ASTM D 3515

### 2.- Ligante asfáltico

Tipo de asfalto : BETUTEC IB  
 % óptimo de asfalto residual : 5.7%

### 3.- Características marshall modificado

Parámetros de diseño		- 0.2 %	% Óptimo	+0.2 %	Especificación EG 2013
GOLPES	Nº		75.0		75
CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.50	5.70	5.90	
PESO UNITARIO	kg/m <sup>3</sup>	2.345	2.351	2.356	
VACIOS	%	4.0	3.5	3.1	3 - 5
V.M.A.	%	14.9	14.9	14.9	14
V. LL.C.A.	%	72.7	75.1	77.6	
POLVO / ASFALTO	%	1.2	1.2	1.2	0.6 - 1.3
FLUJO	mm	12.0	12.9	13.7	8 - 14
ESTABILIDAD	kN	1179.0	1163.1	1141.4	8,15
ESTABILIDAD/ FLUJO	kg/cm	3922.4	3609.1	3321.9	1700 - 4000

## ANEXO FF

Mezcla asfáltica convencional PEN120/150 con aditivo con 0.3% de aditivo Surfactante por el método de Marshall

Temperatura de compactación de 132 °C

Tipo de muestra		: Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con PEN 120/150										
Identificación		: PEN 120/150										
Descripción		: Diseño ASTM D 3515 (Asfalto convencional)										
Temperatura de compactación:		132 °C										
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)												
TAMICES ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200		
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1		
ESPECIFICACIONES	100	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10		
AGREGADO GRUESO				50.0%								
AGREGADO FINO				47.0%								
PORCENTAJE DE FILLER				3.0%								
TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO				3/4"								
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.					
1 % C.A. en Peso de la Mezcla					5.8							
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla					47.15							
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla					44.23							
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA					2.83							
5 Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc					1.015							
6 Peso Especifico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc					2.620							
7 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.610							
8 Peso Especifico del Filler (Aparente) gr/cc					2.340							
9 Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.680							
10 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.640							
11 Altura promedio de la briqueta mm	60.33	60.43	62.03	61.43	60.47							
12 Diametro promedio de la briqueta mm	99.03	99.10	100.05	100.12	99.17							
13 Volumen de la briqueta cm3	464.71	466.14	487.70	483.65	467.02							
14 Peso de la briqueta al aire (gr)	1200.1	1201.2	1202.0	1198.8	1201.4							
15 Peso de la briqueta al agua por 60°(gr)	1200.4	1202.4	1202.6	1200.4	1202.0							
16 Peso de la briqueta desplazada (gr)	685.6	687.2	686.4	686.3	686.3							
17 Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (15-16)	514.8	515.2	516.2	514.1	515.7							
18 Peso especifico Bulk de la Briqueta = (14/17)	2.331	2.332	2.329	2.332	2.330	2.331						
19 Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.426							
20 % de Vacios = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)	3.9	3.9	4.0	3.9	4.0	3.9	3 - 5					
21 Peso Especifico Bulk Agregado Total					2.606							
22 Peso Especifico Efectivo Agregado total					2.652							
23 Asfalto Absorbido por el Agregado					0.68							
24 % de Asfalto Efectivo					5.16							
25 Relación Polvo/Asfalto					1.3							0.6 - 1.3
26 V.M.A.	15.7	15.7	15.8	15.7	15.8	15.8	14					
27 % Vacios llenos con C.A.	75.3	75.3	74.7	75.4	75.0	75.1						
28 Flujo 0,01"(0,25 mm)	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	8 - 14					
29 Estabilidad sin corregir (Kg)	1050	1058	1036	1041	1028							
30 Factor de estabilidad	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00							
31 Estabilidad Corregida 29 * 30	1050	1058	1036	1041	1028	1043	MIN 815					
32 Estabilidad / Flujo	3444	3473	3400	3415	3371	3420	1700 - 4000					

## Temperatura de compactación de 120 °C

Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con PEN 120/150									
Identificación	: PEN 120/150									
Descripción	: Diseño ASTM D 3515 (Asfalto convencional)									
Temperatura de compactación:	<b>120° C</b>									
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	<b>3/4"</b>	<b>1/2"</b>	<b>3/8"</b>	<b>No 4</b>	<b>No 8</b>	<b>No 16</b>	<b>No 30</b>	<b>No 50</b>	<b>No 100</b>	<b>No 200</b>
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
	AGREGADO GRUESO			50.0%						
	AGREGADO FINO			47.0%						
	PORCENTAJE DE FILLER			3.0%						
	TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO			3/4"						
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.			
1 % C.A. en Peso de la Mezcla		<b>5.8</b>								
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla		47.15								
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla		44.23								
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		2.83								
5 Peso Específico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1.015								
6 Peso Específico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc		2.620								
7 Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.610								
8 Peso Específico del Filler (Aparente) gr/cc		2.340								
9 Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.680								
10 Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.640								
11 Altura promedio de la briqueta mm		60.02	61.12	61.43	60.15	62.47				
12 Diametro promedio de la briqueta mm		100.24	99.93	100.00	99.94	100.03				
13 Volumen de la briqueta cm <sup>3</sup>		473.66	479.40	482.49	471.88	490.91				
14 Peso de la briqueta al aire (gr)		1200.4	1198.7	1204.2	1200.5	1199.6				
15 Peso de la briqueta al agua por 60"(gr)		1201.7	1199.9	1205.3	1201.4	1200.3				
16 Peso de la briqueta desplazada (gr)		685.1	684.3	686.9	685.4	684.7				
17 Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (15-16)		516.6	515.6	518.4	516.0	515.6				
18 Peso especifico Bulk de la Briqueta = (14/17)		2.324	2.325	2.323	2.326	2.327	<b>2.325</b>			
19 Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)			2.426							
20 % de Vacios = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)		4.2	4.2	4.2	4.1	4.1	<b>4.1</b>			3 - 5
21 Peso Especifico Bulk Agregado Total			2.606							
22 Peso Especifico Efectivo Agregado total			2.652							
23 Asfalto Absorbido por el Agregado			0.68							
24 % de Asfalto Efectivo			5.16							
25 Relación Polvo/Asfalto			1.3							0.6 - 1.3
26 V.M.A.		16.0	16.0	16.0	15.9	15.9	<b>16.0</b>			14
27 % Vacios llenos con C.A.		73.7	74.0	73.6	74.3	74.3	<b>74.0</b>			
28 Flujo 0,01"(0,25 mm)		12.0	12.0	13.0	12.0	13.0	<b>12.4</b>			8 - 14
29 Estabilidad sin corregir (Kg)		1063	1036	1019	1045	1028				
30 Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				
31 Estabilidad Corregida 29 * 30		1063	1036	1019	1045	1028	<b>1038</b>			MIN 815
32 Estabilidad / Flujo		3487	3400	3085	3429	3112	<b>3303</b>			1700 - 4000

## Temperatura de compactación de 110 °C

Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con PEN 120/150									
Identificación	: PEN 120/150									
Descripción	: Diseño ASTM D 3515 (Asfalto convencional)									
Temperatura de compactación:	<b>110 °C</b>									
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
	AGREGADO GRUESO			50.0%						
	AGREGADO FINO			47.0%						
	PORCENTAJE DE FILLER			3.0%						
	TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO			3/4"						
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.			
1 % C.A. en Peso de la Mezcla		<b>5.8</b>								
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla		47.15								
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla		44.23								
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		2.83								
5 Peso Específico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1.015								
6 Peso Específico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc		2.620								
7 Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.610								
8 Peso Específico del Filler (Aparente) gr/cc		2.340								
9 Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.680								
10 Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.640								
11 Altura promedio de la briqueta mm	60.13	61.70	62.22	60.16	61.24					
12 Diametro promedio de la briqueta mm	100.00	99.64	100.11	100.04	99.87					
13 Volumen de la briqueta cm3	472.29	481.12	489.75	472.87	479.73					
14 Peso de la briqueta al aire (gr)	1201.6	1199.6	1204.4	1203.6	1200.8					
15 Peso de la briqueta al agua por 60" (gr)	1204.9	1202.3	1205.7	1204.8	1203.9					
16 Peso de la briqueta desplazada (gr)	686.2	684.1	685.3	685.4	684.9					
17 Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (15-16)	518.7	518.2	520.4	519.4	519.0					
18 Peso especifico Bulk de la Briqueta = (14/17)	2.317	2.315	2.314	2.317	2.314	<b>2.315</b>				
19 Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)		2.426								
20 % de Vacios = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)	4.5	4.6	4.6	4.5	4.6	<b>4.5</b>	3 - 5			
21 Peso Especifico Bulk Agregado Total		2.606								
22 Peso Especifico Efectivo Agregado total		2.652								
23 Asfalto Absorbido por el Agregado		0.68								
24 % de Asfalto Efectivo		5.16								
25 Relación Polvo/Asfalto		1.3					0.6 - 1.3			
26 V.M.A.	16.3	16.3	16.3	16.2	16.4	<b>16.3</b>	14			
27 % Vacios llenos con C.A.	72.4	72.1	72.0	72.5	71.8	<b>72.1</b>				
28 Flujo 0,01"(0,25 mm)	12.0	13.0	13.0	12.0	13.0	<b>12.6</b>	8 - 14			
29 Estabilidad sin corregir (Kg)	1036	1045	1032	1036	1036					
30 Factor de estabilidad	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00					
31 Estabilidad Corregida 29 * 30	1036	1045	1032	1036	1036	<b>1037</b>	MIN 815			
32 Estabilidad / Flujo	3400	3165	3125	3400	3139	<b>3246</b>	1700 - 4000			

## Temperatura de compactación de 105 °C

Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con PEN 120/150									
Identificación	: PEN 120/150									
Descripción	: Diseño ASTM D 3515 (Asfalto convencional)									
Temperatura de compactación:	105° C									
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
	AGREGADO GRUESO			50.0%						
	AGREGADO FINO			47.0%						
	PORCENTAJE DE FILLER			3.0%						
	TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO			3/4"						
BRIQUETA N°				1	2	3	4	5	PRMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla				5.8					
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla				47.15					
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla				44.23					
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA				2.83					
5	Peso Específico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc				1.015					
6	Peso Específico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc				2.620					
7	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc				2.610					
8	Peso Específico del Filler (Aparente) gr/cc				2.340					
9	Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc				2.680					
10	Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc				2.640					
11	Altura promedio de la briqueta mm			61.73	61.70	61.25	62.87	62.45		
12	Diámetro promedio de la briqueta mm			99.57	98.79	100.01	99.47	100.05		
13	Volumen de la briqueta cm <sup>3</sup>			480.63	472.93	481.15	488.56	490.97		
14	Peso de la briqueta al aire (gr)			1192.6	1202.8	1200.0	1201.0	1203.4		
15	Peso de la briqueta al agua por 60°(gr)			1196.4	1203.6	1201.9	1203.4	1204.8		
16	Peso de la briqueta desplazada (gr)			679.3	681.4	681.1	682.9	683.2		
17	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (15-16)			517.1	522.2	520.8	520.5	521.6		
18	Peso específico Bulk de la Briqueta = (14/17)			2.306	2.303	2.304	2.307	2.307	2.306	
19	Peso Específico Maximo - Rice (ASTM D 2041)				2.426					
20	% de Vacíos = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)			4.9	5.0	5.0	4.9	4.9	4.9	3 - 5
21	Peso Específico Bulk Agregado Total				2.606					
22	Peso Específico Efectivo Agregado total				2.652					
23	Asfalto Absorbido por el Agregado				0.68					
24	% de Asfalto Efectivo				5.16					
25	Relación Polvo/Asfalto				1.3					0.6 - 1.3
26	V.M.A.			16.6	16.7	16.7	16.6	16.6	16.7	14
27	% Vacíos llenos con C.A.			70.5	69.9	70.1	70.6	70.6	70.3	
28	Flujo 0,01"(0,25 mm)			13.0	14.0	13.0	13.0	13.0	13.2	8 - 14
29	Estabilidad sin corregir (Kg)			1036	1045	1032	1019	1050		
30	Factor de estabilidad			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
31	Estabilidad Corregida 29 * 30			1036	1045	1032	1019	1050	1036	MIN 815
32	Estabilidad / Flujo			3139	2939	3125	3085	3179	3093	1700 - 4000

## Temperatura de compactación de 100 °C

Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con PEN 120/150									
Identificación	: PEN 120/150									
Descripción	: Diseño ASTM D 3515 (Asfalto convencional)									
Temperatura de compactación:	<b>100°C</b>									
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
	AGREGADO GRUESO			50.0%						
	AGREGADO FINO			47.0%						
	PORCENTAJE DE FILLER			3.0%						
	TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO			3/4"						
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.			
1 % C.A. en Peso de la Mezcla		<b>5.8</b>								
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla		47.15								
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla		44.23								
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		2.83								
5 Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1.015								
6 Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc		2.620								
7 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.610								
8 Peso Especifico del Filler (Aparente) gr/cc		2.340								
9 Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.680								
10 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.640								
11 Altura promedio de la briqueeta mm	60.05	61.21	61.06	64.93	63.77					
12 Diametro promedio de la briqueeta mm	99.89	100.08	100.07	99.73	99.73					
13 Volumen de la briqueeta cm3	470.59	481.51	480.20	507.24	498.15					
14 Peso de la briqueeta al aire (gr)	1198.3	1202.5	1201.0	1203.3	1197.7					
15 Peso de la briqueeta al agua por 60'(gr)	1201.4	1204.3	1202.8	1204.7	1200.0					
16 Peso de la briqueeta desplazada (gr)	680.3	681.6	680.9	681.2	679.4					
17 Volumen de la briqueeta por desplazamiento (cc) = (15-16)	521.1	522.7	521.9	523.5	520.6					
18 Peso especifico Bulk de la Briqueeta = (14/17)	2.300	2.301	2.301	2.299	2.301	<b>2.300</b>				
19 Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)		2.426								
20 % de Vacios = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)	5.2	5.2	5.1	5.2	5.1	<b>5.2</b>			3 - 5	
21 Peso Especifico Bulk Agregado Total		2.606								
22 Peso Especifico Efectivo Agregado total		2.652								
23 Asfalto Absorbido por el Agregado		0.68								
24 % de Asfalto Efectivo		5.16								
25 Relación Polvo/Asfalto		1.3								0.6 - 1.3
26 V.M.A.	16.9	16.8	16.8	16.9	16.8	<b>16.9</b>			14	
27 % Vacios llenos con C.A.	69.2	69.4	69.5	69.1	69.4	<b>69.3</b>				
28 Flujo 0,01"(0,25 mm)	14.0	15.0	14.0	13.0	14.0	<b>14.0</b>			8 - 14	
29 Estabilidad sin corregir (Kg)	1045	1019	1036	1041	1023					
30 Factor de estabilidad	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00					
31 Estabilidad Corregida 29 * 30	1045	1019	1036	1041	1023	<b>1033</b>			MIN 815	
32 Estabilidad / Flujo	2939	2674	2914	3152	2877	<b>2911</b>			1700 - 4000	

## Resumen de método de Marshall

Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con PEN 120/150				
Identificación	: PEN 120/150				
Descripción	: Diseño ASTM D 3515 (Asfalto convencional)				
<b>DISEÑO DE MEZCLA EN CALIENTE</b>					
<b>MÉTODO DE MARSHALL</b>					
(RESUMEN)					
<b>1.- Mezcla de agregados (Dosificación)</b>					
Gradación	: ASTM D 3515				
<b>2.- Ligante asfáltico</b>					
Tipo de asfalto	: PEN 120/150				
% óptimo de asfalto residual	: 5.8%				
<b>3.- Características marshall modificado</b>					
Parámetros de diseño		- 0.2 %	% Óptimo	+0.2 %	Especificación EG 2013
GOLPES	N°		75.0		75
CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.60	5.80	6.00	
PESO UNITARIO	kg/m <sup>3</sup>	2.321	2.327	2.333	
VACIOS	%	4.5	4.1	3.7	3 - 5
V.M.A.	%	15.9	15.8	15.8	14
V. LL.C.A.	%	71.6	74.0	76.5	
POLVO / ASFALTO	%	1.2	1.2	1.3	0.6 - 1.3
FLUJO	mm	11.7	12.5	13.4	8 - 14
ESTABILIDAD	kN	1021.1	1037.4	1045.0	8,15
ESTABILIDAD/ FLUJO	kg/cm	3500.1	3318.5	3130.2	1700 - 4000

## ANEXO GG

Mezcla asfáltica convencional PEN120/150 con aditivo con 0.5% de aditivo Surfactante por el método de Marshall

Temperatura de compactación de 132 °C

Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con PEN 120/150									
Identificación	: PEN 120/150									
Descripción	: Diseño ASTM D 3515 (Asfalto convencional)									
Temperatura de compactación:	132 °C									
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
	AGREGADO GRUESO			50.0%						
	AGREGADO FINO			47.0%						
	PORCENTAJE DE FILLER			3.0%						
	TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO			3/4"						
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.			
1 % C.A. en Peso de la Mezcla		5.8								
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla		47.15								
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla		44.23								
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		2.83								
5 Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1.015								
6 Peso Especifico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc		2.620								
7 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.610								
8 Peso Especifico del Filler (Aparente) gr/cc		2.340								
9 Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.680								
10 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.640								
11 Altura promedio de la briqueta mm	60.13	62.43	60.43	62.43	61.47					
12 Diametro promedio de la briqueta mm	100.03	99.01	99.05	98.27	99.07					
13 Volumen de la briqueta cm3	472.57	480.69	465.67	473.50	473.79					
14 Peso de la briqueta al aire (gr)	1199.8	1200.9	1201.7	1198.5	1201.1					
15 Peso de la briqueta al agua por 60´(gr)	1200.1	1202.7	1202.3	1200.2	1201.7					
16 Peso de la briqueta desplazada (gr)	685.7	688.5	687.4	686.9	687.6					
17 Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (15-16)	514.4	514.2	514.9	513.3	514.1					
18 Peso especifico Bulk de la Briqueta = (14/17)	2.332	2.335	2.334	2.335	2.336	2.335				
19 Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)		2.426								
20 % de Vacios = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)	3.8	3.7	3.8	3.7	3.7	3.7	3.7			3 - 5
21 Peso Especifico Bulk Agregado Total		2.606								
22 Peso Especifico Efectivo Agregado total		2.652								
23 Asfalto Absorbido por el Agregado		0.68								
24 % de Asfalto Efectivo		5.16								
25 Relación Polvo/Asfalto		1.3								0.6 - 1.3
26 V.M.A.	15.7	15.6	15.6	15.6	15.5	15.6				14
27 % Vacios llenos con C.A.	75.5	76.2	75.8	76.0	76.3	76.0				
28 Flujo 0,01"(0,25 mm)	12.0	11.0	12.0	11.0	12.0	11.6				8 - 14
29 Estabilidad sin corregir (Kg)	1063	1072	1036	1041	1028					
30 Factor de estabilidad	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00					
31 Estabilidad Corregida 29 * 30	1063	1072	1036	1041	1028	1048				MIN 815
32 Estabilidad / Flujo	3487	3836	3400	3725	3371	3564				1700 - 4000

## Temperatura de compactación de 120 °C

Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con PEN 120/150									
Identificación	: PEN 120/150									
Descripción	: Diseño ASTM D 3515 (Asfalto convencional)									
Temperatura de compactación:	<b>120° c</b>									
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	<b>3/4"</b>	<b>1/2"</b>	<b>3/8"</b>	<b>No 4</b>	<b>No 8</b>	<b>No 16</b>	<b>No 30</b>	<b>No 50</b>	<b>No 100</b>	<b>No 200</b>
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
	AGREGADO GRUESO			50.0%						
	AGREGADO FINO			47.0%						
	PORCENTAJE DE FILLER			3.0%						
	TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO			3/4"						
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.			
1 % C.A. en Peso de la Mezcla		<b>5.8</b>								
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla		47.15								
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla		44.23								
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		2.83								
5 Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1.015								
6 Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc		2.620								
7 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.610								
8 Peso Especifico del Filler (Aparente) gr/cc		2.340								
9 Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.680								
10 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.640								
11 Altura promedio de la briqueta mm	61.43	61.17	61.33	60.20	64.47					
12 Diametro promedio de la briqueta mm	98.23	99.73	100.02	99.43	100.20					
13 Volumen de la briqueta cm <sup>3</sup>	465.60	477.84	481.90	467.47	508.35					
14 Peso de la briqueta al aire (gr)	1204.7	1199.2	1200.9	1201.0	1200.1					
15 Peso de la briqueta al agua por 60° (gr)	1205.8	1200.4	1202.2	1201.9	1200.8					
16 Peso de la briqueta desplazada (gr)	688.5	685.6	687.1	686.9	685.2					
17 Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (15-16)	517.3	514.8	515.1	515.0	515.6					
18 Peso especifico Bulk de la Briqueta = (14/17)	2.329	2.329	2.331	2.332	2.328	<b>2.330</b>				
19 Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)		2.426								
20 % de Vacios = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)	4.0	4.0	3.9	3.9	4.0	<b>3.9</b>				3 - 5
21 Peso Especifico Bulk Agregado Total		2.606								
22 Peso Especifico Efectivo Agregado total		2.652								
23 Asfalto Absorbido por el Agregado		<b>0.68</b>								
24 % de Asfalto Efectivo		5.16								
25 Relación Polvo/Asfalto		1.3								0.6 - 1.3
26 V.M.A.	15.8	15.8	15.7	15.7	15.9	<b>15.8</b>				14
27 % Vacios llenos con C.A.	74.8	74.9	75.3	75.4	74.5	<b>75.0</b>				
28 Flujo 0,01"(0,25 mm)	12.0	12.0	12.0	12.0	13.0	<b>12.2</b>				8 - 14
29 Estabilidad sin corregir (Kg)	1045	1036	1050	1054	1045					
30 Factor de estabilidad	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00					
31 Estabilidad Corregida 29 * 30	1045	1036	1050	1054	1045	<b>1046</b>				MIN 815
32 Estabilidad / Flujo	3429	3400	3444	3458	3165	<b>3379</b>				1700 - 4000

## Temperatura de compactación de 110 °C

Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con PEN 120/150									
Identificación	: PEN 120/150									
Descripción	: Diseño ASTM D 3515 (Asfalto convencional)									
Temperatura de compactación:	110 °C									
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
	AGREGADO GRUESO			50.0%						
	AGREGADO FINO			47.0%						
	PORCENTAJE DE FILLER			3.0%						
	TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO			3/4"						
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.			
1 % C.A. en Peso de la Mezcla		5.8								
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla		47.15								
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla		44.23								
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		2.83								
5 Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1.015								
6 Peso Especifico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc		2.620								
7 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.610								
8 Peso Especifico del Filler (Aparente) gr/cc		2.340								
9 Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.680								
10 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.640								
11 Altura promedio de la briqueta mm	60.61	61.79	61.12	60.87	61.03					
12 Diametro promedio de la briqueta mm	99.97	99.63	100.01	99.95	100.24					
13 Volumen de la briqueta cm3	475.71	481.72	480.13	477.59	481.63					
14 Peso de la briqueta al aire (gr)	1202.7	1198.7	1203.5	1200.7	1199.9					
15 Peso de la briqueta al agua por 60° (gr)	1203.9	1201.4	1204.8	1204.0	1203.0					
16 Peso de la briqueta desplazada (gr)	685.5	684.2	686.4	686.9	685.9					
17 Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (15-16)	518.4	517.2	518.4	517.1	517.1					
18 Peso especifico Bulk de la Briqueta = (14/17)	2.320	2.318	2.322	2.322	2.320	2.320			2.320	
19 Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)		2.426								
20 % de Vacios = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)	4.3	4.4	4.3	4.3	4.3	4.3			4.3	3 - 5
21 Peso Especifico Bulk Agregado Total		2.606								
22 Peso Especifico Efectivo Agregado total		2.652								
23 Asfalto Absorbido por el Agregado		0.68								
24 % de Asfalto Efectivo		5.16								
25 Relación Polvo/Asfalto		1.3								0.6 - 1.3
26 V.M.A.	16.1	16.2	16.1	16.1	16.1	16.1			16.1	14
27 % Vacios llenos con C.A.	73.0	72.6	73.3	73.4	73.1	73.1			73.1	
28 Flujo 0,01"(0,25 mm)	12.0	12.0	13.0	12.0	13.0	12.4			12.4	8 - 14
29 Estabilidad sin corregir (Kg)	1050	1045	1032	1036	1036					
30 Factor de estabilidad	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00					
31 Estabilidad Corregida 29 * 30	1050	1045	1032	1036	1036	1040			1040	MIN 815
32 Estabilidad / Flujo	3444	3429	3125	3400	3139	3307			3307	1700 - 4000

## Temperatura de compactación de 105 °C

Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con PEN 120/150									
Identificación	: PEN 120/150									
Descripción	: Diseño ASTM D 3515 (Asfalto convencional)									
Temperatura de compactación:	<b>105°c</b>									
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	<b>3/4"</b>	<b>1/2"</b>	<b>3/8"</b>	<b>No 4</b>	<b>No 8</b>	<b>No 16</b>	<b>No 30</b>	<b>No 50</b>	<b>No 100</b>	<b>No 200</b>
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
	AGREGADO GRUESO			50.0%						
	AGREGADO FINO			47.0%						
	PORCENTAJE DE FILLER			3.0%						
	TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO			3/4"						
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.			
1 % C.A. en Peso de la Mezcla		<b>5.8</b>								
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla		47.15								
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla		44.23								
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		2.83								
5 Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1.015								
6 Peso Especifico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc		2.620								
7 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.610								
8 Peso Especifico del Filler (Aparente) gr/cc		2.340								
9 Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.680								
10 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.640								
11 Altura promedio de la briqueeta mm	60.37	61.08	61.75	65.67	65.49					
12 Diametro promedio de la briqueeta mm	99.05	99.52	101.80	98.47	98.07					
13 Volumen de la briqueeta cm3	465.18	475.13	502.60	500.05	494.64					
14 Peso de la briqueeta al aire (gr)	1200.7	1202.5	1203.1	1200.1	1199.7					
15 Peso de la briqueeta al agua por 60"(gr)	1203.1	1203.3	1204.5	1202.4	1201.6					
16 Peso de la briqueeta desplazada (gr)	683.8	683.3	683.9	682.5	681.8					
17 Volumen de la briqueeta por desplazamiento (cc) = (15-16)	519.3	520.0	520.6	519.9	519.8					
18 Peso especifico Bulk de la Briqueeta = (14/17)	2.312	2.313	2.311	2.308	2.308	<b>2.310</b>				
19 Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)		2.426								
20 % de Vacios = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)	4.7	4.7	4.7	4.8	4.8	<b>4.7</b>				3 - 5
21 Peso Especifico Bulk Agregado Total		2.606								
22 Peso Especifico Efectivo Agregado total		2.652								
23 Asfalto Absorbido por el Agregado		<b>0.68</b>								
24 % de Asfalto Efectivo		5.16								
25 Relación Polvo/Asfalto		1.3								0.6 - 1.3
26 V.M.A.	16.4	16.4	16.5	16.6	16.6	<b>16.5</b>				14
27 % Vacios llenos con C.A.	71.5	71.6	71.3	70.8	70.8	<b>71.2</b>				
28 Flujo 0,01"(0,25 mm)	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	<b>13.0</b>				8 - 14
29 Estabilidad sin corregir (Kg)	1032	1041	1032	1036	1050					
30 Factor de estabilidad	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00					
31 Estabilidad Corregida 29 * 30	1032	1041	1032	1036	1050	<b>1038</b>				MIN 815
32 Estabilidad / Flujo	3125	3152	3125	3139	3179	<b>3144</b>				1700 - 4000

## Temperatura de compactación de 100 °C

Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con PEN 120/150									
Identificación	: PEN 120/150									
Descripción	: Diseño ASTM D 3515 (Asfalto convencional)									
Temperatura de compactación:	100 °C									
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
	AGREGADO GRUESO			50.0%						
	AGREGADO FINO			47.0%						
	PORCENTAJE DE FILLER			3.0%						
	TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO			3/4"						
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.			
1 % C.A. en Peso de la Mezcla		5.8								
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla		47.15								
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla		44.23								
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		2.83								
5 Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1.015								
6 Peso Especifico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc		2.620								
7 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.610								
8 Peso Especifico del Filler (Aparente) gr/cc		2.340								
9 Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.680								
10 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.640								
11 Altura promedio de la briqueta mm	60.13	60.41	61.58	60.06	61.07					
12 Diametro promedio de la briqueta mm	99.75	100.02	100.07	99.41	99.76					
13 Volumen de la briqueta cm3	469.90	474.65	484.29	466.16	477.34					
14 Peso de la briqueta al aire (gr)	1202.9	1202.1	1200.6	1199.7	1198.5					
15 Peso de la briqueta al agua por 60´(gr)	1204.3	1203.9	1202.4	1201.4	1200.1					
16 Peso de la briqueta desplazada (gr)	681.8	680.9	680.8	680.0	679.1					
17 Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (14-16)	522.5	523.0	521.6	521.4	521.0					
18 Peso especifico Bulk de la Briqueta = (14/17)	2.302	2.298	2.302	2.301	2.300	2.301				
19 Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)		2.426								
20 % de Vacios = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)	5.1	5.2	5.1	5.1	5.2	5.1				3 - 5
21 Peso Especifico Bulk Agregado Total		2.606								
22 Peso Especifico Efectivo Agregado total		2.652								
23 Asfalto Absorbido por el Agregado		0.68								
24 % de Asfalto Efectivo		5.16								
25 Relación Polvo/Asfalto		1.3								0.6 - 1.3
26 V.M.A.	16.8	16.9	16.8	16.8	16.8	16.8				14
27 % Vacios llenos con C.A.	69.7	69.0	69.6	69.5	69.4	69.4				
28 Flujo 0,01"(0,25 mm)	14.0	14.0	14.0	13.0	14.0	13.8				8 - 14
29 Estabilidad sin corregir (Kg)	1032	1036	1036	1041	1032					
30 Factor de estabilidad	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00					
31 Estabilidad Corregida 29 * 30	1032	1036	1036	1041	1032	1035				MIN 815
32 Estabilidad / Flujo	2902	2914	2914	3152	2902	2957				1700 - 4000

Resumen de 0.5% de aditivo surfactante de temperatura de 132 °C,120 °C ,110 °C,  
105°C,100°C

1.- Mezcla de agregados (Dosificación)

Gradación : ASTM D 3515

2.- Ligante asfáltico

Tipo de asfalto : PEN 120/150  
% optimo de asfalto residual : 5.8%

3.- Características marshall modificado

Parámetros de diseño		- 0.2 %	% Óptimo	+0.2 %	Especificación EG 2013
GOLPES	N°		75.0		75
CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.60	5.80	6.00	
PESO UNITARIO	kg/m <sup>3</sup>	2.321	2.327	2.333	
VACIOS	%	4.5	4.1	3.7	3 - 5
V.M.A.	%	15.9	15.8	15.8	14
V. LL.C.A.	%	71.6	74.0	76.5	
POLVO / ASFALTO	%	1.2	1.2	1.3	0.6 - 1.3
FLUJO	mm	11.7	12.5	13.4	8 - 14
ESTABILIDAD	kN	1021.1	1037.4	1045.0	8,15
ESTABILIDAD/ FLUJO	kg/cm	3500.1	3318.5	3130.2	1700 - 4000

## ANEXO HH

### Diseño De Mezcla Asfáltica En Modificada Con 0.4% De Aditivo Surfactante Método De Marshall

Temperatura de compactación de 145 °C

Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con POLIMERO SBS									
Identificación	: BETUTECH IB									
Descripción	: Diseño ASTM D 3515 (Asfalto Modificado con Polímero SBS)									
Temperatura de compactación:	145 °C									
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
	AGREGADO GRUESO			50.0%						
	AGREGADO FINO			47.0%						
	PORCENTAJE DE FILLER			3.0%						
	TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO			3/4"						
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.			
1 % C.A. en Peso de la Mezcla		5.8								
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla		47.15								
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla		44.23								
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		2.83								
5 Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1.012								
6 Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc		2.620								
7 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.610								
8 Peso Especifico del Filler (Aparente) gr/cc		2.340								
9 Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.680								
10 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.640								
11 Altura promedio de la briqueta mm	60.25	60.18	61.67	63.50	61.53					
12 Diametro promedio de la briqueta mm	99.02	100.10	99.95	99.87	99.93					
13 Volumen de la briqueta cm3	463.97	473.63	483.88	497.40	482.64					
14 Peso de la briqueta al aire (gr)	1200.5	1202.8	1202.1	1199.7	1201.3					
15 Peso de la briqueta al agua por 60''(gr)	1201.4	1203.4	1203.4	1202.1	1203.1					
16 Peso de la briqueta desplazada (gr)	693.6	693.9	694.9	693.8	694.0					
17 Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (15-16)	507.8	509.5	508.5	508.3	509.1					
18 Peso especifico Bulk de la Briqueta = (14/17)	2.364	2.361	2.364	2.360	2.360	2.362				
19 Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)		2.439								
20 % de Vacios = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)	3.1	3.2	3.1	3.2	3.2	3.1				3 - 5
21 Peso Especifico Bulk Agregado Total		2.606								
22 Peso Especifico Efectivo Agregado total		2.670								
23 Asfalto Absorbido por el Agregado		0.93								
24 % de Asfalto Efectivo		4.92								
25 Relación Polvo/Asfalto		1.2								0.6 - 1.3
26 V.M.A.	14.5	14.7	14.5	14.7	14.7	14.6				14
27 % Vacios llenos con C.A.	79.0	78.2	79.0	78.1	78.0	78.5				
28 Flujo 0,01"(0,25 mm)	12.0	12.0	11.0	12.0	12.0	11.8				8 - 14
29 Estabilidad sin corregir (Kg)	1120	1164	1063	1164	1182					
30 Factor de estabilidad	1.04	1.00	1.04	1.04	1.00					
31 Estabilidad Corregida 29 * 30	1165	1164	1105	1211	1182	1165				MIN 815
32 Estabilidad / Flujo	3822	3820	3956	3973	3878	3890				1700 - 4000

## Temperatura de compactación de 120 °C

Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con POLIMERO SBS									
Identificación	: BETUTEC IB									
Descripción	: Diseño ASTM D 3515 (Asfalto Modificado con Polímero SBS)									
Temperatura de compactación:	120 °C									
<b>INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)</b>										
TAMICES ASTM	<b>3/4"</b>	<b>1/2"</b>	<b>3/8"</b>	<b>No 4</b>	<b>No 8</b>	<b>No 16</b>	<b>No 30</b>	<b>No 50</b>	<b>No 100</b>	<b>No 200</b>
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
	AGREGADO GRUESO			50.0%						
	AGREGADO FINO			47.0%						
	PORCENTAJE DE FILLER			3.0%						
	TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO			3/4"						
<b>BRIQUETA N°</b>				<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla				<b>5.8</b>					
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla				47.15					
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla				44.23					
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA				2.83					
5	Peso Específico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc				1.012					
6	Peso Específico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc				2.620					
7	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc				2.610					
8	Peso Específico del Filler (Aparente) gr/cc				2.340					
9	Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc				2.680					
10	Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc				2.640					
11	Altura promedio de la briketa mm			61.97	61.13	61.97	60.17	60.03		
12	Diametro promedio de la briketa mm			99.01	100.54	100.17	99.03	100.01		
13	Volumen de la briketa cm3			477.10	485.34	488.37	463.42	471.60		
14	Peso de la briketa al aire (gr)			1199.9	1201.6	1200.2	1200.8	1204.7		
15	Peso de la briketa al agua por 60' (gr)			1201.7	1201.9	1201.6	1202.1	1205.3		
16	Peso de la briketa desplazada (gr)			693.5	693.0	692.7	692.9	694.9		
17	Volumen de la briketa por desplazamiento (cc) = (15-16)			508.2	508.9	508.9	509.2	510.4		
18	Peso específico Bulk de la Briketa = (14/17)			2.361	2.361	2.358	2.358	2.360	<b>2.360</b>	
19	Peso Específico Máximo - Rice (ASTM D 2041)				2.439					
20	% de Vacíos = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)			3.2	3.2	3.3	3.3	3.2	<b>3.2</b>	3 - 5
21	Peso Específico Bulk Agregado Total				2.606					
22	Peso Específico Efectivo Agregado total				2.670					
23	Asfalto Absorbido por el Agregado				0.93					
24	% de Asfalto Efectivo				4.92					
25	Relación Polvo/Asfalto				1.2					0.6 - 1.3
26	V.M.A.			14.7	14.6	14.7	14.8	14.7	<b>14.7</b>	14
27	% Vacíos llenos con C.A.			78.3	78.3	77.7	77.7	78.1	<b>78.0</b>	
28	Flujo 0,01"(0,25 mm)			12.0	12.0	12.0	13.0	12.0	<b>12.2</b>	8 - 14
29	Estabilidad sin corregir (Kg)			1133	1107	1098	1195	1147		
30	Factor de estabilidad			1.04	1.04	1.04	1.00	1.00		
31	Estabilidad Corregida 29 * 30			1179	1151	1142	1195	1147	<b>1163</b>	MIN 815
32	Estabilidad / Flujo			3867	3777	3747	3619	3762	<b>3755</b>	1700 - 4000

## Temperatura de compactación de 110 °

Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con POLIMERO SBS									
Identificación	: BETUTEC IB									
Descripción	: Diseño ASTM D 3515 (Asfalto Modificado con Polímero SBS)									
Temperatura de compactación:	<b>110 °C</b>									
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	<b>3/4"</b>	<b>1/2"</b>	<b>3/8"</b>	<b>No 4</b>	<b>No 8</b>	<b>No 16</b>	<b>No 30</b>	<b>No 50</b>	<b>No 100</b>	<b>No 200</b>
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
	AGREGADO GRUESO			50.0%						
	AGREGADO FINO			47.0%						
	PORCENTAJE DE FILLER			3.0%						
	TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO			3/4"						
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.			
1 % C.A. en Peso de la Mezcla		<b>5.8</b>								
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla		47.15								
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla		44.23								
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		2.83								
5 Peso Específico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1.012								
6 Peso Específico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc		2.620								
7 Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.610								
8 Peso Específico del Filler (Aparente) gr/cc		2.340								
9 Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.680								
10 Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.640								
11 Altura promedio de la briqueta mm	60.17	60.06	62.83	62.03	61.08					
12 Diámetro promedio de la briqueta mm	100.06	99.99	100.03	99.73	99.86					
13 Volumen de la briqueta cm3	473.14	471.62	493.79	484.56	478.38					
14 Peso de la briqueta al aire (gr)	1201.3	1198.4	1199.0	1200.3	1198.8					
15 Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)	1202.4	1199.6	1201.5	1202.5	1201.9					
16 Peso de la briqueta desplazada (gr)	691.1	690.0	691.3	691.4	691.2					
17 Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (15-16)	511.3	509.6	510.2	511.1	510.7					
18 Peso específico Bulk de la Briqueta = (14/17)	2.350	2.352	2.350	2.348	2.347	<b>2.349</b>				
19 Peso Específico Máximo - Rice (ASTM D 2041)		2.439								
20 % de Vacíos = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)	3.7	3.6	3.6	3.7	3.7	<b>3.7</b>			3 - 5	
21 Peso Específico Bulk Agregado Total		2.606								
22 Peso Específico Efectivo Agregado total		2.670								
23 Asfalto Absorbido por el Agregado		0.93								
24 % de Asfalto Efectivo		4.92								
25 Relación Polvo/Asfalto		1.2								0.6 - 1.3
26 V.M.A.	15.1	15.0	15.1	15.1	15.1	<b>15.1</b>			14	
27 % Vacíos llenos con C.A.	75.8	76.2	75.9	75.6	75.3	<b>75.8</b>				
28 Flujo 0,01"(0,25 mm)	12.0	12.0	13.0	12.0	13.0	<b>12.4</b>			8 - 14	
29 Estabilidad sin corregir (Kg)	1164	1160	1160	1160	1160					
30 Factor de estabilidad	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00					
31 Estabilidad Corregida 29 * 30	1164	1160	1160	1160	1160	<b>1161</b>			MIN 815	
32 Estabilidad / Flujo	3820	3805	3513	3805	3513	<b>3691</b>			1700 - 4000	

## Temperatura de compactación de 100 °

Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con POLIMERO SBS									
Identificación	: BETUTEC IB									
Descripción	: Diseño ASTM D 3515 (Asfalto Modificado con Polímero SBS)									
Temperatura de compactación:	<b>100 °C</b>									
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	<b>3/4"</b>	<b>1/2"</b>	<b>3/8"</b>	<b>No 4</b>	<b>No 8</b>	<b>No 16</b>	<b>No 30</b>	<b>No 50</b>	<b>No 100</b>	<b>No 200</b>
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
	AGREGADO GRUESO			50.0%						
	AGREGADO FINO			47.0%						
	PORCENTAJE DE FILLER			3.0%						
	TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO			3/4"						
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.			
1 % C.A. en Peso de la Mezcla		<b>5.8</b>								
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla		47.15								
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla		44.23								
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		2.83								
5 Peso Específico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1.012								
6 Peso Específico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc		2.620								
7 Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.610								
8 Peso Específico del Filler (Aparente) gr/cc		2.340								
9 Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.680								
10 Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.640								
11 Altura promedio de la briqueta mm	60.56	61.37	59.24	62.30	62.37					
12 Diámetro promedio de la briqueta mm	99.07	101.11	102.18	100.84	100.74					
13 Volumen de la briqueta cm <sup>3</sup>	466.83	492.76	485.72	497.62	497.16					
14 Peso de la briqueta al aire (gr)	1199.2	1201.4	1200.3	1202.6	1201.9					
15 Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)	1200.8	1202.5	1201.7	1203.1	1203.4					
16 Peso de la briqueta desplazada (gr)	687.9	688.7	688.1	688.5	688.8					
17 Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (15-16)	512.9	513.8	513.6	514.6	514.6					
18 Peso específico Bulk de la Briqueta = (14/17)	2.338	2.338	2.337	2.337	2.336	<b>2.337</b>				
19 Peso Específico Máximo - Rice (ASTM D 2041)		2.439								
20 % de Vacíos = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	<b>4.2</b>			3 - 5	
21 Peso Específico Bulk Agregado Total		2.606								
22 Peso Específico Efectivo Agregado total		2.670								
23 Asfalto Absorbido por el Agregado		<b>0.93</b>								
24 % de Asfalto Efectivo		4.92								
25 Relación Polvo/Asfalto		1.2								0.6 - 1.3
26 V.M.A.	15.5	15.5	15.5	15.5	15.6	<b>15.5</b>			14	
27 % Vacíos llenos con C.A.	73.4	73.4	73.2	73.2	72.9	<b>73.2</b>				
28 Flujo 0,01"(0,25 mm)	12.0	12.0	13.0	14.0	13.0	<b>12.8</b>			8 - 14	
29 Estabilidad sin corregir (Kg)	1151	1177	1151	1169	1151					
30 Factor de estabilidad	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00					
31 Estabilidad Corregida 29 * 30	1151	1177	1151	1169	1151	<b>1160</b>			MIN 815	
32 Estabilidad / Flujo	3776	3863	3486	3286	3486	<b>3580</b>			1700 - 4000	

## Temperatura de compactación de 90 °

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con POLIMERO SBS  
 Identificación : BETUTECH IB  
 Descripción : Diseño ASTM D 3515 (Asfalto Modificado con Polímero SBS)  
 Temperatura de compactación: 90°C

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
AGREGADO GRUESO				50.0%						
AGREGADO FINO				47.0%						
PORCENTAJE DE FILLER				3.0%						
TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO				3/4"						
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.			
1 % C.A. en Peso de la Mezcla		5.8								
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla		47.15								
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla		44.23								
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		2.83								
5 Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1.012								
6 Peso Especifico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc		2.620								
7 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.610								
8 Peso Especifico del Filler (Aparente) gr/cc		2.340								
9 Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.680								
10 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.640								
11 Altura promedio de la briqueeta mm	61.98	61.28	60.94	61.31	62.18					
12 Diametro promedio de la briqueeta mm	100.11	99.89	100.23	99.95	99.93					
13 Volumen de la briqueeta cm3	487.85	480.21	480.88	481.05	487.68					
14 Peso de la briqueeta al aire (gr)	1198.9	1200.6	1202.1	1199.1	1200.9					
15 Peso de la briqueeta al agua por 60"(gr)	1200.6	1202.5	1203.5	1201.6	1202.0					
16 Peso de la briqueeta desplazada (gr)	683.9	685.3	685.8	684.7	684.1					
17 Volumen de la briqueeta por desplazamiento (cc) = (15-16)	516.7	517.2	517.7	516.9	517.9					
18 Peso especifico Bulk de la Briqueeta = (14/17)	2.320	2.321	2.322	2.320	2.319	2.320				
19 Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)		2.439								
20 % de Vacios = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	4.8		3 - 5		
21 Peso Especifico Bulk Agregado Total		2.606								
22 Peso Especifico Efectivo Agregado total		2.670								
23 Asfalto Absorbido por el Agregado		0.93								
24 % de Asfalto Efectivo		4.92								
25 Relación Polvo/Asfalto		1.2						0.6 - 1.3		
26 V.M.A.	16.1	16.1	16.1	16.1	16.2	16.1		14		
27 % Vacios llenos con C.A.	69.9	70.1	70.3	69.8	69.6	70.0				
28 Flujo 0,01"(0,25 mm)	13.0	13.0	14.0	13.0	13.0	13.2		8 - 14		
29 Estabilidad sin corregir (Kg)	1151	1147	1151	1160	1169					
30 Factor de estabilidad	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00					
31 Estabilidad Corregida 29 * 30	1151	1147	1151	1160	1169	1155		MIN 815		
32 Estabilidad / Flujo	3486	3473	3237	3513	3539	3449		1700 - 4000		

## Temperatura de compactación de 85 °

Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con POLIMERO SBS									
Identificación	: BETUTECH IB									
Descripción	: Diseño ASTM D 3515 (Asfalto Modificado con Polímero SBS)									
Temperatura de compactación:	85 °C									
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
AGREGADO GRUESO				50.0%						
AGREGADO FINO				47.0%						
PORCENTAJE DE FILLER				3.0%						
TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO				3/4"						
BRIQUETA N°				1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla				5.8					
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla				47.15					
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla				44.23					
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA				2.83					
5	Peso Específico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc				1.012					
6	Peso Específico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc				2.620					
7	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc				2.610					
8	Peso Específico del Filler (Aparente) gr/cc				2.340					
9	Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc				2.680					
10	Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc				2.640					
11	Altura promedio de la briqueta mm			61.80	61.10	61.76	61.13	62.00		
12	Diametro promedio de la briqueta mm			99.76	100.31	100.23	99.94	100.15		
13	Volumen de la briqueta cm³			483.02	482.83	487.35	479.54	488.40		
14	Peso de la briqueta al aire (gr)			1203.3	1201.8	1200.1	1200.3	1202.1		
15	Peso de la briqueta al agua por 60''(gr)			1204.7	1203.7	1201.3	1202.8	1203.3		
16	Peso de la briqueta desplazada (gr)			684.8	684.5	682.4	683.4	683.3		
17	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (15-16)			519.9	519.2	518.9	519.4	520.0		
18	Peso específico Bulk de la Briqueta = (14/17)			2.314	2.315	2.313	2.311	2.312	2.313	
19	Peso Específico Máximo - Rice (ASTM D 2041)				2.439					
20	% de Vacíos = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)			5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	5.2	3 - 5
21	Peso Específico Bulk Agregado Total				2.606					
22	Peso Específico Efectivo Agregado total				2.670					
23	Asfalto Absorbido por el Agregado				0.93					
24	% de Asfalto Efectivo				4.92					
25	Relación Polvo/Asfalto				1.2					0.6 - 1.3
26	V.M.A.			16.3	16.3	16.4	16.5	16.4	16.4	14
27	% Vacíos llenos con C.A.			68.9	68.9	68.5	68.2	68.4	68.6	
28	Flujo 0,01"(0,25 mm)			14.0	14.0	14.0	14.0	13.0	13.8	8 - 14
29	Estabilidad sin corregir (Kg)			1063	1072	1081	1067	1098		
30	Factor de estabilidad			1.04	1.04	1.04	1.04	1.04		
31	Estabilidad Corregida 29 * 30			1105	1115	1124	1110	1142	1119	MIN 815
32	Estabilidad / Flujo			3108	3134	3160	3121	3459	3197	1700 - 4000

Resumen de 0.5% de aditivo surfactante de temperatura de 145 °C,120 °C ,110 °C, 100°C,90°C,85 °C

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con POLIMERO SBS  
 Identificación : BETUTEC IB  
 Descripción : Diseño ASTM D 3515 (Asfalto Modificado con Polímero SBS)

**1.- Mezcla de agregados (Dosificación)**

Gradación : ASTM D 3515

**2.- Ligante asfáltico**

Tipo de asfalto : BETUTEC IB  
 % óptimo de asfalto residual : 5.7%

**3.- Características marshall modificado**

Parámetros de diseño		- 0.2 %	% Óptimo	+0.2 %	Especificación EG 2013
GOLPES	N°		75.0		75
CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.50	5.70	5.90	
PESO UNITARIO	kg/m <sup>3</sup>	2.345	2.351	2.356	
VACIOS	%	4.0	3.5	3.1	3 - 5
V.M.A.	%	14.9	14.9	14.9	14
V. L.L.C.A.	%	72.7	75.1	77.6	
POLVO / ASFALTO	%	1.2	1.2	1.2	0.6 - 1.3
FLUJO	mm	12.0	12.9	13.7	8 - 14
ESTABILIDAD	kN	1179.0	1163.1	1141.4	8,15
ESTABILIDAD/ FLUJO	kg/cm	3922.4	3609.1	3321.9	1700 - 4000

## ANEXO II

### Diseño De Mezcla Asfáltica En Modificada Con 0.6% De Aditivo Surfactante Método De Marshall.

Temperatura de compactación 145 °C

Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con POLIMERO SBS										
Identificación	: BETUTECH IB										
Descripción	: Diseño ASTM D 3515 (Asfalto Modificado con Polímero SBS)										
Temperatura de compactación:	145 °C										
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)											
TAMICES ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200	
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1	
ESPECIFICACIONES	100	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10	
AGREGADO GRUESO				50.0%							
AGREGADO FINO				47.0%							
PORCENTAJE DE FILLER				3.0%							
TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO				3/4"							
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.				
1 % C.A. en Peso de la Mezcla				5.8							
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla				47.15							
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla				44.23							
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA				2.83							
5 Peso Específico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc				1.012							
6 Peso Específico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc				2.620							
7 Peso Específico de la Arena > N°4 (Bulk) gr/cc				2.610							
8 Peso Específico del Filler (Aparente) gr/cc				2.340							
9 Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc				2.680							
10 Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc				2.640							
11 Altura promedio de la briqueeta mm	60.87	60.23	59.97	61.80	62.93						
12 Diámetro promedio de la briqueeta mm	100.30	99.70	101.23	100.17	100.03						
13 Volumen de la briqueeta cm3	480.92	470.24	482.67	487.00	494.61						
14 Peso de la briqueeta al aire (gr)	1199.4	1202.5	1201.8	1201.0	1200.2						
15 Peso de la briqueeta al agua por 60' (gr)	1201.8	1203.1	1203.1	1202.8	1201.1						
16 Peso de la briqueeta desplazada (gr)	693.5	694.5	694.6	694.3	693.3						
17 Volumen de la briqueeta por desplazamiento (cc) = (15-16)	508.3	508.6	508.5	508.5	507.8						
18 Peso específico Bulk de la Briqueeta = (14/17)	2.360	2.364	2.363	2.362	2.364	2.363					
19 Peso Específico Máximo - Rice (ASTM D 2041)				2.439							
20 % de Vacíos = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)	3.2	3.0	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1			3 - 5
21 Peso Específico Bulk Agregado Total				2.606							
22 Peso Específico Efectivo Agregado total				2.670							
23 Asfalto Absorbido por el Agregado				0.93							
24 % de Asfalto Efectivo				4.92							
25 Relación Polvo/Asfalto				1.2							0.6 - 1.3
26 V.M.A.	14.7	14.5	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14
27 % Vacíos llenos con C.A.	78.0	79.1	78.9	78.5	78.9	78.7					
28 Flujo 0,01"(0,25 mm)	12.0	12.0	11.0	12.0	12.0	11.8					8 - 14
29 Estabilidad sin corregir (Kg)	1129	1164	1063	1164	1182						
30 Factor de estabilidad	1.04	1.00	1.04	1.04	1.00						
31 Estabilidad Corregida 29 * 30	1174	1164	1105	1211	1182	1167					MIN 815
32 Estabilidad / Flujo	3852	3820	3956	3973	3878	3896					1700 - 4000

## Temperatura de compactación 120 °C

Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con POLIMERO SBS									
Identificación	: BETUTEC IB									
Descripción	: Diseño ASTM D 3515 (Asfalto Modificado con Polímero SBS)									
Temperatura de compactación:	<b>120 °C</b>									
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	<b>3/4"</b>	<b>1/2"</b>	<b>3/8"</b>	<b>No 4</b>	<b>No 8</b>	<b>No 16</b>	<b>No 30</b>	<b>No 50</b>	<b>No 100</b>	<b>No 200</b>
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
	AGREGADO GRUESO			50.0%						
	AGREGADO FINO			47.0%						
	PORCENTAJE DE FILLER			3.0%						
	TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO			3/4"						
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.			
1	% C.A. en Peso de la Mezcla			<b>5.8</b>						
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla			47.15						
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla			44.23						
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA			2.83						
5	Peso Específico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc			1.012						
6	Peso Específico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc			2.620						
7	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc			2.610						
8	Peso Específico del Filler (Aparente) gr/cc			2.340						
9	Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc			2.680						
10	Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc			2.640						
11	Altura promedio de la briqueta	mm	61.08	60.34	59.08	60.38	62.04			
12	Dámetro promedio de la briqueta	mm	99.30	101.13	101.43	100.27	100.33			
13	Volumen de la briqueta	cm3	473.00	484.74	477.38	476.73	490.54			
14	Peso de la briqueta al aire (gr)		1198.9	1200.3	1198.6	1199.5	1203.4			
15	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)		1200.3	1200.6	1200.4	1200.8	1204.0			
16	Peso de la briqueta desplazada (gr)		691.7	691.7	692.2	691.6	693.6			
17	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (15-16)		508.6	508.9	508.2	509.2	510.4			
18	Peso específico Bulk de la Briqueta = (14/17)		2.357	2.359	2.359	2.356	2.358	<b>2.358</b>		
19	Peso Específico Máximo - Rice	(ASTM D 2041)	2.439							
20	% de Vacíos = (19-18)x100/19	(ASTM D 3203)	3.3	3.3	3.3	3.4	3.3	<b>3.3</b>	3 - 5	
21	Peso Específico Bulk Agregado Total		2.606							
22	Peso Específico Efectivo Agregado total		2.670							
23	Asfalto Absorbido por el Agregado		0.93							
24	% de Asfalto Efectivo		4.92							
25	Relación Polvo/Asfalto		1.2							
26	V.M.A.		14.8	14.7	14.7	14.8	14.8	<b>14.8</b>	14	0.6 - 1.3
27	% Vacíos llenos con C.A.		77.5	77.8	77.7	77.1	77.6	<b>77.5</b>		
28	Flujo 0,01"(0,25 mm)		12.0	12.0	12.0	13.0	12.0	<b>12.2</b>	8 - 14	
29	Estabilidad sin corregir (Kg)		1133	1107	1098	1195	1147			
30	Factor de estabilidad		1.04	1.04	1.04	1.00	1.00			
31	Estabilidad Corregida 29 * 30		1179	1151	1142	1195	1147	<b>1163</b>	MIN 815	
32	Estabilidad / Flujo		3867	3777	3747	3619	3762	<b>3755</b>	1700 - 4000	

## Temperatura de compactación 120 °C

Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con POLIMERO SBS									
Identificación	: BETUTECH IB									
Descripción	: Diseño ASTM D 3515 (Asfalto Modificado con Polímero SBS)									
Temperatura de compactación:	<b>110 °C</b>									
<b>INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)</b>										
TAMICES ASTM	<b>3/4"</b>	<b>1/2"</b>	<b>3/8"</b>	<b>No 4</b>	<b>No 8</b>	<b>No 16</b>	<b>No 30</b>	<b>No 50</b>	<b>No 100</b>	<b>No 200</b>
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
	AGREGADO GRUESO			50.0%						
	AGREGADO FINO			47.0%						
	PORCENTAJE DE FILLER			3.0%						
	TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO			3/4"						
<b>BRIQUETA N°</b>				<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla				<b>5.8</b>					
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla				47.15					
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla				44.23					
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA				2.83					
5	Peso Específico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc				1.012					
6	Peso Específico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc				2.620					
7	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc				2.610					
8	Peso Específico del Filler (Aparente) gr/cc				2.340					
9	Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc				2.680					
10	Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc				2.640					
11	Altura promedio de la briqueta mm			60.44	61.24	60.34	61.21	60.61		
12	Diámetro promedio de la briqueta mm			101.22	100.86	100.86	100.29	100.02		
13	Volumen de la briqueta cm <sup>3</sup>			486.41	489.28	482.09	483.53	476.25		
14	Peso de la briqueta al aire (gr)			1199.6	1199.2	1199.8	1201.1	1202.1		
15	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)			1202.7	1200.4	1202.3	1203.3	1203.2		
16	Peso de la briqueta desplazada (gr)			692.5	690.8	692.1	692.2	691.9		
17	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (15-16)			510.2	509.6	510.2	511.1	511.3		
18	Peso específico Bulk de la Briqueta = (14/17)			2.351	2.353	2.352	2.350	2.351	<b>2.351</b>	
19	Peso Específico Máximo - Rice (ASTM D 2041)				2.439					
20	% de Vacíos = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)			3.6	3.5	3.6	3.6	3.6	<b>3.6</b>	3 - 5
21	Peso Específico Bulk Agregado Total				2.606					
22	Peso Específico Efectivo Agregado total				2.670					
23	Asfalto Absorbido por el Agregado				<b>0.93</b>					
24	% de Asfalto Efectivo				4.92					
25	Relación Polvo/Asfalto				1.2					0.6 - 1.3
26	V.M.A.			15.0	14.9	15.0	15.1	15.0	<b>15.0</b>	14
27	% Vacíos llenos con C.A.			76.1	76.6	76.2	75.9	76.1	<b>76.2</b>	
28	Flujo 0,01" (0,25 mm)			12.0	12.0	13.0	12.0	13.0	<b>12.4</b>	8 - 14
29	Estabilidad sin corregir (Kg)			1164	1160	1164	1160	1160		
30	Factor de estabilidad			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
31	Estabilidad Corregida 29 * 30			1164	1160	1164	1160	1160	<b>1162</b>	MIN 815
32	Estabilidad / Flujo			3820	3805	3526	3805	3513	<b>3694</b>	1700 - 4000

## Temperatura de compactación 100 °C

Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con POLIMERO SBS									
Identificación	: BETUTECH IB									
Descripción	: Diseño ASTM D 3515 (Asfalto Modificado con Polímero SBS)									
Temperatura de compactación:	<b>100°C</b>									
<b>INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)</b>										
TAMICES ASTM	<b>3/4"</b>	<b>1/2"</b>	<b>3/8"</b>	<b>No 4</b>	<b>No 8</b>	<b>No 16</b>	<b>No 30</b>	<b>No 50</b>	<b>No 100</b>	<b>No 200</b>
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
	AGREGADO GRUESO			50.0%						
	AGREGADO FINO			47.0%						
	PORCENTAJE DE FILLER			3.0%						
	TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO			3/4"						
<b>BRIQUETA N°</b>				<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla				<b>5.8</b>					
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla				47.15					
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla				44.23					
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA				2.83					
5	Peso Específico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc				1.012					
6	Peso Específico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc				2.620					
7	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc				2.610					
8	Peso Específico del Filler (Aparente) gr/cc				2.340					
9	Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc				2.680					
10	Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc				2.640					
11	Altura promedio de la briqueta mm			60.86	61.13	59.00	62.06	60.13		
12	Diámetro promedio de la briqueta mm			100.06	99.29	100.36	99.02	98.92		
13	Volumen de la briqueta cm3			478.56	473.32	466.67	477.97	462.15		
14	Peso de la briqueta al aire (gr)			1201.0	1202.1	1201.3	1202.6	1199.9		
15	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)			1202.4	1203.2	1201.8	1204.1	1201.5		
16	Peso de la briqueta desplazada (gr)			688.8	689.4	687.9	689.6	688.6		
17	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (15-16)			513.6	513.8	513.9	514.5	512.9		
18	Peso específico Bulk de la Briqueta = (14/17)			2.338	2.340	2.338	2.337	2.339	<b>2.338</b>	
19	Peso Específico Máximo - Rice (ASTM D 2041)				2.439					
20	% de Vacíos = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)			4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	<b>4.1</b>	3 - 5
21	Peso Específico Bulk Agregado Total				2.606					
22	Peso Específico Efectivo Agregado total				2.670					
23	Asfalto Absorbido por el Agregado				<b>0.93</b>					
24	% de Asfalto Efectivo				4.92					
25	Relación Polvo/Asfalto				1.2					0.6 - 1.3
26	V.M.A.			15.5	15.4	15.5	15.5	15.4	<b>15.5</b>	14
27	% Vacíos llenos con C.A.			73.5	73.7	73.3	73.3	73.7	<b>73.5</b>	
28	Flujo 0,01"(0,25 mm)			12.0	12.0	13.0	13.0	13.0	<b>12.6</b>	8 - 14
29	Estabilidad sin corregir (Kg)			1151	1177	1151	1169	1151		
30	Factor de estabilidad			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
31	Estabilidad Corregida 29 * 30			1151	1177	1151	1169	1151	<b>1160</b>	MIN 815
32	Estabilidad / Flujo			3776	3863	3486	3539	3486	<b>3630</b>	1700 - 4000

## Temperatura de compactación 90 °C

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con POLIMERO SBS Identificación : BETUTECH IB Descripción : Diseño ASTM D 3515 (Asfalto Modificado con Polímero SBS) Temperatura de compactación: 90°C										
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	<b>3/4"</b>	<b>1/2"</b>	<b>3/8"</b>	<b>No 4</b>	<b>No 8</b>	<b>No 16</b>	<b>No 30</b>	<b>No 50</b>	<b>No 100</b>	<b>No 200</b>
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
AGREGADO GRUESO				50.0%						
AGREGADO FINO				47.0%						
PORCENTAJE DE FILLER				3.0%						
TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO				3/4"						
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.			
1 % C.A. en Peso de la Mezcla		<b>5.8</b>								
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla		47.15								
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla		44.23								
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		2.83								
5 Peso Específico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc		1.012								
6 Peso Específico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc		2.620								
7 Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.610								
8 Peso Específico del Filler (Aparente) gr/cc		2.340								
9 Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.680								
10 Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.640								
11 Altura promedio de la briqueta mm		61.80	61.10	60.76	61.13	62.00				
12 Diámetro promedio de la briqueta mm		100.09	100.89	100.92	99.69	100.72				
13 Volumen de la briqueta cm <sup>3</sup>		486.22	488.43	486.09	477.14	493.99				
14 Peso de la briqueta al aire (gr)		1200.2	1201.9	1203.4	1200.4	1202.2				
15 Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)		1201.9	1203.8	1204.8	1202.9	1203.3				
16 Peso de la briqueta desplazada (gr)		685.9	687.6	687.6	686.7	686.5				
17 Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (15-16)		516.0	516.2	517.2	516.2	516.8				
18 Peso específico Bulk de la Briqueta = (14/17)		2.326	2.328	2.327	2.325	2.326	<b>2.327</b>			
19 Peso Específico Máximo - Rice (ASTM D 2041)			2.439							
20 % de Vacíos = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)		4.6	4.5	4.6	4.6	4.6	<b>4.6</b>			3 - 5
21 Peso Específico Bulk Agregado Total			2.606							
22 Peso Específico Efectivo Agregado total			2.670							
23 Asfalto Absorbido por el Agregado			0.93							
24 % de Asfalto Efectivo			4.92							
25 Relación Polvo/Asfalto			1.2							0.6 - 1.3
26 V.M.A.		15.9	15.8	15.9	15.9	15.9	<b>15.9</b>			14
27 % Vacíos llenos con C.A.		71.0	71.5	71.2	70.9	71.1	<b>71.1</b>			
28 Flujo 0,01"(0,25 mm)		13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	<b>13.0</b>			8 - 14
29 Estabilidad sin corregir (Kg)		1151	1160	1151	1160	1169				
30 Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				
31 Estabilidad Corregida 29 * 30		1151	1160	1151	1160	1169	<b>1158</b>			MIN 815
32 Estabilidad / Flujo		3486	3513	3486	3513	3539	<b>3507</b>			1700 - 4000

## Temperatura de compactación 85 °C

Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con POLIMERO SBS									
Identificación	: BETUTEC IB									
Descripción	: Diseño ASTM D 3515 (Asfalto Modificado con Polímero SBS)									
Temperatura de compactación:	85 °C									
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)										
TAMICES ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	94.7	70.8	50.0	35.2	28.1	22.8	14.2	7.5	4.1
ESPECIFICACIONES	100.0	90 - 100		44 - 74	28 - 58			5 - 21		2 - 10
	AGREGADO GRUESO			50.0%						
	AGREGADO FINO			47.0%						
	PORCENTAJE DE FILLER			3.0%						
	TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO			3/4"						
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	PROMEDIO	ESPECIF.			
1 % C.A. en Peso de la Mezcla		5.8								
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla		47.15								
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla		44.23								
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		2.83								
5 Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1.012								
6 Peso Especifico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc		2.620								
7 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.610								
8 Peso Especifico del Filler (Aparente) gr/cc		2.340								
9 Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.680								
10 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.640								
11 Altura promedio de la briqueeta mm	62.58	60.88	59.54	61.91	62.78					
12 Diametro promedio de la briqueeta mm	100.12	100.76	101.24	99.98	99.83					
13 Volumen de la briqueeta cm3	492.70	485.42	479.32	486.03	491.40					
14 Peso de la briqueeta al aire (gr)	1198.6	1200.1	1198.4	1200.4	1201.6					
15 Peso de la briqueeta al agua por 60' (gr)	1201.1	1202.0	1199.6	1201.6	1203.0					
16 Peso de la briqueeta desplazada (gr)	683.4	682.8	681.6	682.7	683.9					
17 Volumen de la briqueeta por desplazamiento (cc) = (15-16)	517.7	519.2	518.0	518.9	519.1					
18 Peso especifico Bulk de la Briqueeta = (14/17)	2.315	2.311	2.314	2.313	2.315	2.314				
19 Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)		2.439								
20 % de Vacios = (19-18)x100/19 (ASTM D 3203)	5.1	5.2	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1			3 - 5
21 Peso Especifico Bulk Agregado Total		2.606								
22 Peso Especifico Efectivo Agregado total		2.670								
23 Asfalto Absorbido por el Agregado		0.93								
24 % de Asfalto Efectivo		4.92								
25 Relación Polvo/Asfalto		1.2								0.6 - 1.3
26 V.M.A.	16.3	16.4	16.4	16.4	16.3	16.4				14
27 % Vacios llenos con C.A.	69.0	68.3	68.7	68.7	68.9	68.7				
28 Flujo 0,01"(0,25 mm)	14.0	14.0	14.0	13.0	13.0	13.6				8 - 14
29 Estabilidad sin corregir (Kg)	1103	1142	1133	1067	1098					
30 Factor de estabilidad	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04					
31 Estabilidad Corregida 29 * 30	1147	1188	1179	1110	1142	1153				MIN 815
32 Estabilidad / Flujo	3225	3341	3315	3361	3459	3340				1700 - 4000

Resumen de mezcla asfáltica modificada a temperatura de 145 °C, 120 °C, 110 °C, 100 °C, 90 °C, 85 °C.

1.- Mezcla de agregados (Dosificación)

Gradación : ASTM D 3515

2.- Ligante asfáltico

Tipo de asfalto : BETUTEC IB  
% óptimo de asfalto residual : 5.7%

3.- Características marshall modificado

Parámetros de diseño		- 0.2 %	% Óptimo	+0.2 %	Especificación EG 2013
GOLPES	Nº		75.0		75
CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.50	5.70	5.90	
PESO UNITARIO	kg/m3	2.345	2.351	2.356	
VACIOS	%	4.0	3.5	3.1	3 - 5
V.M.A.	%	14.9	14.9	14.9	14
V. LL.C.A.	%	72.7	75.1	77.6	
POLVO / ASFALTO	%	1.2	1.2	1.2	0.6 - 1.3
FLUJO	mm	12.0	12.9	13.7	8 - 14
ESTABILIDAD	kN	1179.0	1163.1	1141.4	8,15
ESTABILIDAD/ FLUJO	kg/cm	3922.4	3609.1	3321.9	1700 - 4000

## ANEXO JJ

## Cuadro de Ensayos de Tracción Indirecta.

ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFATICAS MAC -MAT									
CONDICIONES DE LAS MUESTRAS MAC-MAT			D	t		St=(2000*P)/(η*t*D)		St PROMEDIO	
			DIAMETRO DE LA PROBETA	ALTURA DE LA PROBETA	CARGA MAXIMA	ESFUERZO A LA TENSION		RESISTENCIA PROMEDIO	
			(mm)	(mm)	(kg)	(Kg/cm2)	(Mpas)	(Kg/cm2)	(Mpas)
CONDICION SECA	MAC	CONVENCIONAL PEN 120/150 COA 5.8% (132°C)	101.25	65.25	352.12	3393.09	34575.58	3359.92	34237.62
			101.30	66.12	354.21	3366.66	34306.22		
			101.38	66.25	350.25	3320.03	33831.07		
		POLIMERO SBS COA 5.7% (145°C)	101.25	65.25	370.15	3566.83	36345.99	3565.76	36335.07
			101.02	68.12	380.12	3516.57	35833.81		
			101.38	66.25	381.25	3613.88	36825.39		
	MAT	CONVENCIONAL PEN 120/150 COA 5.8% + ADITIVO 0.3% (105°C)	101.25	65.25	552.32	5322.25	54233.74	5267.92	53680.08
			101.50	68.12	552.26	5084.91	51815.20		
			101.38	66.25	569.32	5396.59	54991.30		
		POLIMERO SBS COA 5.7% +ADITIVO 0.4% (90°C)	101.50	69.52	557.00	5025.27	51207.51	5134.82	52323.82
			101.15	67.12	556.00	5213.59	53126.51		
			101.00	68.12	558.26	5165.60	52637.45		
CONDICION HUMEDA	MAC	CONVENCIONAL PEN 120/150 COA 5.8% (132°C)	101.40	67.50	321.32	2988.66	30454.42	2979.62	30362.32
			101.20	65.12	312.26	3016.49	30738.01		
			101.10	67.00	312.15	2933.71	29894.53		
		POLIMERO SBS COA 5.7% (145°C)	101.40	67.50	340.12	3163.52	32236.27	3391.79	34562.38
			101.60	66.60	378.52	3561.24	36289.02		
			101.10	67.00	367.15	3450.62	35161.86		
	MAT	CONVENCIONAL PEN 120/150 COA 5.8% + ADITIVO 0.3% (105°C)	101.40	67.50	511.12	4754.02	48443.49	4819.75	49113.30
			101.60	66.60	519.00	4882.92	49756.95		
			101.10	67.00	513.10	4822.32	49139.46		
		POLIMERO SBS COA 5.7% +ADITIVO 0.4% (90°C)	101.60	68.12	510.32	4694.12	47833.10	4737.13	48271.38
			101.30	67.12	511.15	4785.94	48768.71		
			102.50	68.10	518.77	4731.34	48212.34		

## ANEXO KK

Cuadro resumen tenido el Comportamiento de las Condiciones antes Mencionadas.

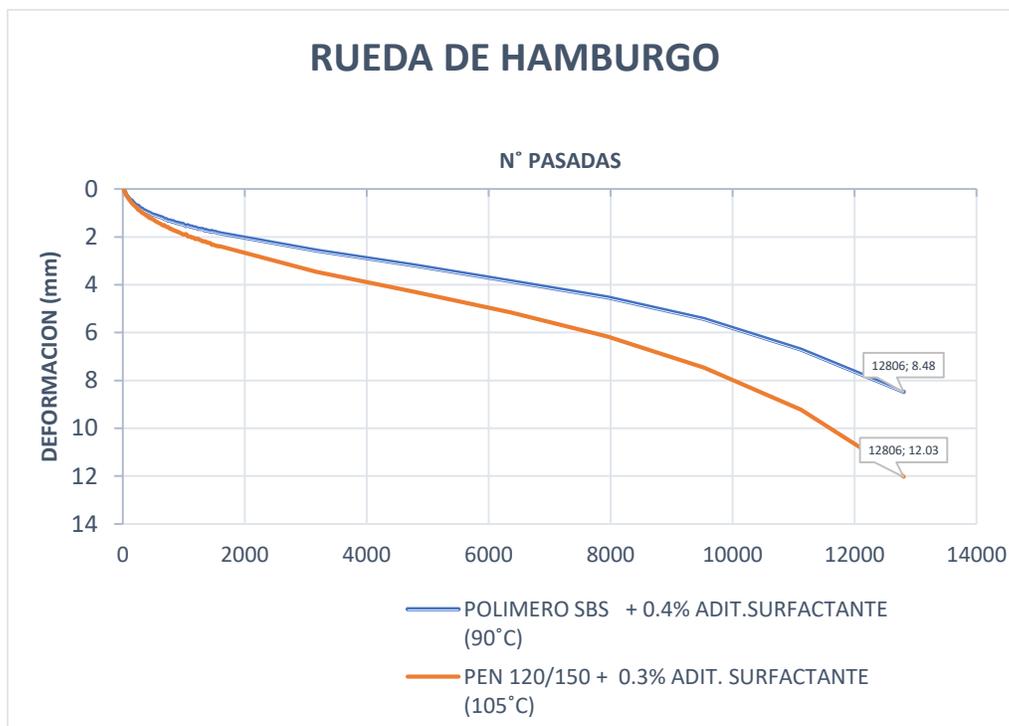
RAZON DEL ESFUERZO A LA TENSION (TSR)					
CONDICIONES DE LAS MUESTRAS MAC-MAT		DESCRIPCION	St	TSR	% MIN. PARA MAC-MAT
			ESFUERZO A LA TENSION	COEFICIENTE TSR	
			kpa	(%)	
CONDICION SECA	MESCLA ASFALTICA CALIENTE	CONVENCIONAL PEN 120/150 COA 5.8% ( 132°C )	3359.92	88.68%	80.00%
CONDICION SATURADA			2979.62		
CONDICION SECA		POLIMERO SBS COA 5.7% ( 145°C )	3565.76	95.12%	80.00%
CONDICION SATURADA			3391.79		
CONDICION SECA	MESCLA ASFALTICA TIBIA	CONVENCIONAL PEN 120/150 COA 5.8% + ADITIVO 0.3% ( 105°C )	5267.92	91.49%	80.00%
CONDICION SATURADA			4819.75		
CONDICION SECA		POLIMERO SBS COA 5.7% +ADITIVO 0.4% ( 90°C )	5134.82	92.26%	80.00%
CONDICION SATURADA			4737.13		

## ANEXO LL

Ensayo de desempeño de rueda de Hamburgo

DATOS INICIALES DE LA PRUEBA			
TIPO DE MUESTRA	: Moldes circulares	NUMERO MAX. PASADAS	: 20000 pasadas
DIAMETRO	: 150.0 mm	PROFUNDIDAD MAXIMA	: 12.5 mm
ESPEJOR	: 60.00 mm	VELOCIDAD DE LA RUEDA	: 52 pasadas/ min
RESULTADOS FINALES			
PROFUNDIDAD FINAL (POLIMERO SBS + 0.4% ADI.SURFAC. 90° c)			:12.03
PROFUNDIDAD FINAL (CEMENTO CONVENCIONAL PEN 120/150 + 0.3% ADI.SURFAC. 105° c)			:8.48
TIPO DE MEDIO TERMICO	: AGUA		
TEMPERATURA MAXIMA	: 50.5 °c		
TEMPERATURA MINIMA	:50.0 °C	PASADAS:	12806

Grafica de rueda de Hamburgo según normativa AASHTO T 324



**ANEXO MM**

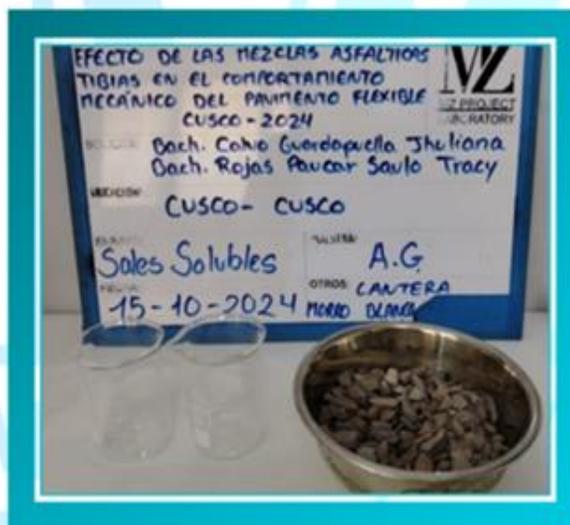
ENSAYO EXTERNOS-Ensayo de Índice de Durabilidad -Ensayo de sales Solubles-  
Ensayo de angularidad

INFORME N° 1025

**ENSAYOS FISICO-QUÍMICOS DE AGREGADOS**

PROYECTO

**"EFECTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS EN EL  
COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO-  
2024"**



**SOLICITANTE** : Bach. CALVO GUARDAPUCLLA JHULIANA

Bach. ROJAS PAUCAR SAULO TRACY

**UBICACIÓN** : CUSCO-CUSCO

**MUESTRA** : AGREGADO

**FECHA** : 15 DE OCTUBRE DE 2024



**MZ PROJECT S.R.L.**  
RUC: 20572430371

Zeudy Juliet Gomez Bejarano  
GERENTE GENERAL



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ  
CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO

Ing. Phd. Jhonor Velez Oquena  
INGENIERO CIVIL  
CIP 351008

Siempre en:

# MZ PROJECT S.R.L LABORATORIO QUÍMICO

Análisis fisicoquímicos, microbiológicos de suelos, aguas, agregados y otros  
Venta de materiales y reactivos de laboratorio



## 1. OBJETIVOS

El objetivo del presente informe es identificar de manera cualitativa y cuantitativa las propiedades físico-químicas de la muestra de agregado fino y agregado grueso, empleando ensayos establecidos según la Norma Técnica Peruana.

## 2. NORMAS APLICADAS AL PRESENTE ESTUDIO

- **MTC E 214:** Prueba de ensayo estándar para índice de durabilidad del agregado.
- **MTC E 219:** Sales solubles en agregados para pavimento flexible.
- **MTC E 222:** Angularidad del agregado fino.

## 3. RESULTADOS

### Muestra Agregado Fino

ENSAYO	M1	UNIDAD
Angularidad	44.90	%
Índice de Durabilidad	48.01	%
Sales Solubles	0.22	%

### Muestra Agregado Grueso

ENSAYO	M1	UNIDAD
Índice de Durabilidad	58.90	%
Sales Solubles	0.29	%



**MZ PROJECT S.R.L.**  
RUC: 20572430371

*Zeudy Juliet Gomez Bejarano*  
GERENTE GENERAL



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ  
CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO

*Ing. Phd. Jhonor Velez Oquenaya*  
INGENIERO CIVIL  
CIP 351295

## MZ PROJECT S.R.L LABORATORIO QUÍMICO

Análisis fisicoquímicos, microbiológicos de suelos, aguas, agregados y otros  
Venta de materiales y reactivos de laboratorio



### 4. Conclusiones

Los resultados de los ensayos realizados al agregado fino y grueso cumplen con los parámetros óptimos para su uso en mezclas asfálticas de calidad. El índice de durabilidad del agregado fino (48.01%) y del grueso (58.90%) demuestra una excelente resistencia a la degradación por factores climáticos, como la humedad y la cristalización de sales, lo que garantiza una larga vida útil del pavimento. Estos valores se encuentran dentro de los rangos aceptables para proyectos viales con exigencias técnicas estándar, asegurando un desempeño duradero bajo condiciones de tráfico moderado.

Adicionalmente, los bajos porcentajes de sales solubles (0.22% en fino y 0.29% en grueso) confirman la estabilidad química de los agregados, eliminando riesgos de hinchamiento o deterioro prematuro. La angularidad del agregado fino (44.90%) también resulta adecuada, favoreciendo la trabazón mecánica en la mezcla asfáltica y mejorando su resistencia a la deformación. En conjunto, estos resultados indican que los agregados evaluados son idóneos para la fabricación de mezclas asfálticas con óptimas propiedades mecánicas y durabilidad, cumpliendo con los requisitos técnicos establecidos para proyectos de pavimentación.

### 5. Cálculos

#### Agregado Fino

#### ENSAYO DE SALES SOLUBLES

NORMA MTC 219

Datos del Ensayo	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso inicial de recipiente	153.56	132.87	148.95
Peso inicial de recipiente + muestra	236.54	186.91	205.31
Peso final de recipiente + muestra	153.74	133.01	149.09
Contenido de Sales Solubles	0.18	0.14	0.14
Contenido de agua en muestra	82.8	53.9	56.22
Porcentaje de Sales Solubles	0.22	0.26	0.25

#### Resultados

Promedio de Índice de Durabilidad	0.22%
-----------------------------------	-------



MZ PROJECT S.R.L.  
RUC: 20572430371

Zeudy Juliet Gomez Bejarano  
GERENTE GENERAL



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ  
CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO

Ing. Pbro. Jhonor Velez Oquenaya  
INGENIERO CIVIL  
CIP 351098

## MZ PROJECT S.R.L LABORATORIO QUÍMICO

Analisis fisicoquímicos, microbiológicos de suelos, aguas, agregados y otros  
Venta de materiales y reactivos de laboratorio



### ENSAYO DE INDICE DE DURABILIDAD

NORMA MTC E 214

Datos del Ensayo	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Tamaño Maximo (Pasa Malla N°4)	4.76	4.76	4.76
Inicio de la saturación	02:00	02:40	03:20
Fin de la saturación	02:10	02:50	03:30
Inicio de la decantación	02:11	02:51	03:31
Fin de la decantación	02:31	03:11	03:51
Altura maxima del material	6.01	6.02	6.04
Altura maxima de la arena	2.9	2.8	2.9
Indice de Durabilidad	48.01	48.2	47.8

#### Resultados

Promedio de Indice de Durabilidad	48.01%
-----------------------------------	--------

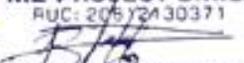
### ENSAYO DE ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO

MTC E 222

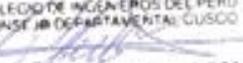
Datos del Ensayo	Muestra 01
Peso del Agregado Fino	528.63
Peso del Cilindro	218
Peso de la Muestra	311.98
Volumen del Cilindro	215.24
Gravedad Especifica de A.F.	2.631

#### Resultados

Vacios No Compactados	44.90%
-----------------------	--------

 **MZ PROJECT S.R.L.**  
RUC: 20572430371  
  
Zeudy Juliet Gomez Bejarano  
GERENTE GENERAL



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO  
  
Ing. Phd. Jhony Velez Oquenaya  
INGENIERO CIVIL  
CIP 351095

# MZ PROJECT S.R.L LABORATORIO QUÍMICO

Análisis fisicoquímicos, microbiológicos de suelos, aguas, agregados y otros  
Venta de materiales y reactivos de laboratorio



## Agregado Grueso

### ENSAYO DE SALES SOLUBLES

NORMA MTC 219

Datos del Ensayo	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso inicial de recipiente	124.55	127.84	126.87
Peso inicial de recipiente + muestra	183.45	185.68	184.72
Peso final de recipiente + muestra	124.72	127.99	127.03
Contenido de Sales Solubles	0.17	0.15	0.16
Contenido de agua en muestra	58.73	57.69	57.69
Porcentaje de Sales Solubles	0.29	0.26	0.28

#### Resultados

Promedio de Índice de Durabilidad	0.29%
-----------------------------------	-------

### ENSAYO DE INDICE DE DURABILIDAD

NORMA MTC E 214

Datos del Ensayo	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Tamaño Maximo (Pasa Malla N°4)	4.76	4.76	4.76
Inicio de la saturación	09:50	10:30	11:10
Fin de la saturación	10:00	10:40	11:20
Inicio de la decantación	10:01	10:41	11:21
Fin de la decantación	10:21	11:01	11:41
Altura maxima del material	5.48	5.4	5.45
Altura maxima de la arena	3.0	3.2	3.1
Índice de Durabilidad	58.9	59.4	59.4

#### Resultados

Promedio de Índice de Durabilidad	58.90%
-----------------------------------	--------



MZ PROJECT S.R.L.  
RUC: 20572430371

Zeudy Juliet Gomez Bejarano  
GERENTE GENERAL



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ  
CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO

Ing. Phd. Junior Velez Quenaya  
INGENIERO CIVIL  
CIP 351098

**6. Panel Fotográfico**



## ANEXO NN

Certificado de uso de laboratorio de mecánica de suelos y materiales de la escuela profesional de Ingeniería Civil



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Av. de la cultura Nro. 733 – Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**CERTIFICADO DE USO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES PARA TESIS DE INVESTIGACIÓN**

EL QUE SUSCRIBE JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

HACE CONSTAR:

Que los tesisistas; conducentes a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil; Bach. JHULIANA CALVO GUARDAPUCLLA y Bach. SAULO TRACY ROJAS PAUCAR, hizo uso del laboratorio para ejecución de la tesis de investigación: “EFECTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO -2024”

Los ensayos que realizaron son los siguientes:

Nro	ENSAYO	NORMA	CANT.
01	Análisis Granulométrico del agregado fino, grueso y global.	NTP 400.012	05
02	Determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por Abrasión e Impacto en la Máquina de Los Angeles.	NTP 400.019	02
03	Peso específico y absorción del agregado grueso.	NTP 400.021	01
04	Peso específico y absorción del agregado fino.	NTP 400.022	01
05	Método de ensayo estándar para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso.	ASTM D 5821 MTC E 210	01
06	Método de determinación de los porcentajes de partículas chatas y alargadas en el agregado grueso.	MTC E 223	01
07	Revestimiento y procedimientos para determinar la retención de una película bituminosa en una superficie de agregado en presencia de agua.	MTC E 517	02
08	Método de ensayo para determinar la resistencia de los agregados a la desintegración por medio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.	MTC E 209	02
09	Ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino.	NTP 339.146	01
10	Determinar la cantidad de material potencialmente dañino (incluyendo arcilla y material orgánico) presente en la fracción fina de un agregado mediante la determinación del Valor de Azul de Metileno.	AASHTO TP 57	01
11	Determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de agregados.	NTP 339.129	02
12	Método para determinar la penetración de los materiales bituminosos sólidos.	MTC E 304	02
13	Determinación de la resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall.	MTC E 504	150

Se le expide la presente constancia a solicitud escrita por los interesados; con fines académicos para la tesis de investigación.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
Facultad de Ingeniería Civil  
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

*Ing. Luz Marlene Nieto Palomares*  
Jefe de Laboratorio



Cusco, 15 de abril del 2025

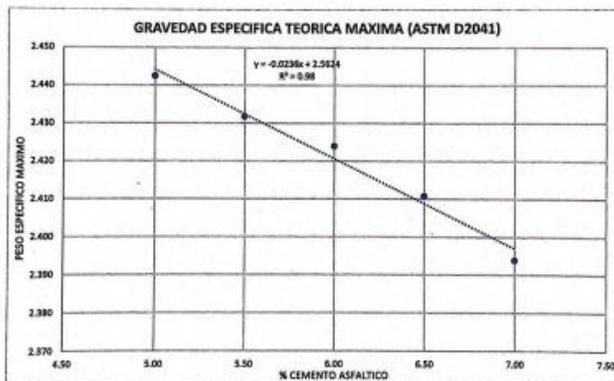
ANEXO OO

Ensayos de Rice-Densidad Máxima-Mezcla asfáltica en Caliente

	<b>GEOASFALT E.I.R.L.</b> INGENIERÍA TECNOLOGÍA & CONSTRUCCIÓN	Código	MA - 97
	<b>DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE</b> METODO DE LLINOS - MARSHALL	Versión	01
		Fecha	29-02-2025
		Página	1 de 1
TESIS SOLICITANTE : Efecto de las mezclas asfálticas tibias en el comportamiento mecánico del pavimento flexible, Cusco - 2024 : Juliana Celso Guadalupe : Saulo Tracy Rojas Paucar	UBICACIÓN DE PROYECTO : Cusco - Cusco	REALIZADO POR : Y.A.A REVISADO POR : M.B.E. FECHA DE ENSAYO : 20/02/2025	

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)  
 Identificación : DMA - PEN 120/150  
 Descripción : Diseño ASTM D 3515 (Asfalto convencional)

INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)					
MUESTRA N°	01	02	03	04	05
1.- PESO DEL FRASCO	1500.0	1500.0	1500.0	1500.0	1500.0
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO	7749.0	7749.0	7749.0	7749.0	7749.0
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	7295.1	7253.8	7253.2	7290.7	7248.8
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	8480.0	8458.0	8455.0	8462.0	8449.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1293.0	1294.2	1291.8	1291.3	1292.2
6.- AGUA DESPLAZADA (2)-(3)	492.9	496.2	495.8	498.3	502.2
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5)/(6)	2.62	2.62	2.624	2.611	2.594
CONTENIDO % C.A.	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00



Observaciones : Las muestras fueron proporcionada por el solicitante.

GEOASFALT E.I.R.L.	
JEFE LEM Nombre y firma:  GEOASFALT E.I.R.L. RUC: 20608672030 M. A. Azaña	ESPECIALISTA EN PAVIMENTOS Nombre y firma:  Ing. Elard Mendoza Bejar ESP. EN SUELOS Y PAVIMENTOS CIP: 143368

**ANEXO PP**

**Ensayos de Rice-Densidad Máxima-Mezcla asfáltica en Modificada**

	<b>GEOASFALT E.I.R.L.</b> INGENIERÍA TECNOLOGÍA & CONSTRUCCIÓN	Código	SA - 01	
	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO DE EL JOUR - MARSHALL		Versión	01
			Fecha	21-03-2025
			Página	1 de 1
TESIS SOLICITANTE : Efecto de las mezclas asfálticas híbridas en el comportamiento mecánico del pavimento flexible, Cusco - 2024 : Juliana Castro Guardapúa : Saulo Tracy Rojas Paucar	UBICACIÓN DE PROYECTO : Cusco - Cusco	REALIZADO POR : Y.A.A. REVISADO POR : M.B.E. FECHA DE ENSAYO : 21/03/2025		

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC) con POLIMERO SBS  
 Identificación : BETUTEC 05  
 Descripción : Diseño ASTM D 3515 (Asfalto Modificado con Polímero SBS)

INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)					
MUESTRA N°	01	02	03	04	05
1.- PESO DEL FRASCO	1500.0	1500.0	1500.0	1500.0	1500.0
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO	7749.0	7749.0	7749.0	7749.0	7749.0
3.- DIFERENCIA DEL PESO ( 04 ) - ( 05 )	7260.5	7257.2	7255.0	7251.7	7249.2
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	8450.8	8452.8	8457.8	8458.8	8453.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1199.8	1290.8	1282.8	1264.3	1283.8
6.- AGUA DESPLAZADA ( 2 ) - ( 3 )	498.5	491.8	494.0	497.3	499.8
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA ( 5 ) / ( 6 )	2.455	2.442	2.433	2.422	2.409
CONTENIDO % C.A.	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00



Observaciones : Las muestras fueron proporcionada por el solicitante.

GEOASFALT E.I.R.L.	
JEFE LEM Nombre y firma:  <b>Ing. Yimer O. Asara Apaza</b> JEFE DE LABORATORIO	ESPECIALISTA EN PAVIMENTOS Nombre y firma:  <b>Ing. Eladio Mendoza Bejar</b> ESP. EN PAVIMENTOS Y CIP. 143365

**ANEXO QQ**

Certificados de calibración de Equipos usados

Equipo de Prensa de Marshall-Asfalto



**METROLAB Y CALIDAD S.A.C.**  
Laboratorio de Metrología - Servicio con Tecnología y Calidad

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Nº 959 - LF -2025**

Laboratorio de Fuerza

Página 1 de 2

**Expediente** : 057-MYC-2025  
**Solicitante** : MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DEL CUSCO  
**Dirección** : PLAZA CUSIPATA (REGOCIJO) S/N CUSCO  
**Instrumento de Medicion** : Maquinas para Ensayos Uniaxiales Estaticos  
 Maquinas de Ensayos de Tension/Compresion

La incertidumbre reportada en el presente informe es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ .

**Equipo Calibrado** : PRENSA MARSHALL - ASFALTO  
**Marca** : HUMBOLDT  
**Modelo** : H - 13398 - 2F  
**Número de Serie** : 2982  
**Rango de medición** : 10 a 100  
**Identificación** : NO INDICA  
**Procedencia** : USA

La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95%.

**Indicador de Lectura** : DIAL ANALOGO  
**Marca** : HUMBOLDT  
**Modelo** : H - 4460 / EDF2200IC  
**Numero de Serie** : 111971376  
**Identificación** : NO INDICA  
**Alcance de Indicación** : 0 lbs a 10,000 lbs ( 0 kg a 4,536 kg)  
**Procedencia** : USA  
**Resolución** : 0.0001"

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales y/o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

**Trasductor de Fuerza** : ANILLO DE CARGA  
**Alcance de Indicación** : 10,000 lbs (4,536 kg)  
**Marca** : HUMBOLDT  
**Modelo** : H-4454.100  
**Número de Serie** : 2982

Los resultados son validos en el periodo de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración.

**Lugar de calibración** : Laboratorio Planta de Asfalto - Oropesa - Cusco

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio emisor.

**Fecha de Calibración** : 2025-02-05

La periodicidad de la calibración depende del uso mantenimiento y conservación del instrumento de medición.

**Fecha de Emisión**

**Jefe de Laboratorio de Metrologia**

**Sello**

2025-02-06

**METROLAB Y CALIDAD S.A.C.**

*Miguel Angel Ruiz Sulca*  
JEFE LABORATORIO





# METROLAB Y CALIDAD S.A.C.

Laboratorio de Metrología - Servicio con Tecnología y Calidad

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Nº 959 - LF -2025

Laboratorio de Fuerza

Página 2 de 2

### Método de Calibración

La calibración se realizó por comparación directa utilizando como referencia la Norma Tec. ASTM E74-13a ASTM C39 y de acuerdo con el cliente se procedió a aplicar los valores de carga indicados en el cuadro.

### Trazabilidad

Trazabilidad	Patron Utilizado	Certificado de Calibración
Patrones de referencia Ilac-MRA - UKAS Calibration	Celda de Carga - Impact Test Equipment 2000 Kn	Expediente INF-LE 018-24 PUCP
Patrones de referencia del SNM - INACAL	Celda de Carga - NING BOARD ELECTRIC CO 50KN	METROIL - INACAL CF-0914-2023 EXP. 1A17482
Patrones de referencia del SNM - INACAL	Termohigrómetro patrón de resolución 0,1 °C / 1 %HR	METROIL - INACAL - 1AT-2530-2024 Expediente N° 1A24229

### Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura °C	18.9 °C	19.7 °C
Humedad Relativa HR	43.2 % HR	44.8 % HR

### Resultados de medición

% LECTURA DEL DIAL DEL	LECTURA DE LA MÁQUINA (F)	Lectura de Carga del Patrón			Promedio kgf	Cálculo de errores		Incertidumbre U(%)
		Primera kgf	Segunda kgf	Tercera kgf		Exactitud q(%)	Repetibilidad b(%)	
10	100	428.3	428.5	427.0	427.9	-0.8	0.4	0.5
20	200	872.4	885.9	871.1	876.5	-0.8	1.7	1.1
30	300	1302.3	1294.7	1295.4	1297.5	-0.8	0.6	0.5
40	400	1734.5	1726.3	1778.8	1746.5	-0.8	3.0	1.9
50	500	2031.8	2147.1	2135.4	2104.8	-0.8	5.5	3.5
60	600	2548.1	2604.9	2617.3	2590.1	-0.8	2.7	1.7
70	700	3075.0	3163.2	3156.5	3131.5	-0.8	2.8	1.8
80	800	3469.6	3464.1	3466.4	3466.7	-0.8	0.2	0.3
90	900	3873.4	3869.8	3855.5	3866.3	-0.8	0.5	0.4
100	1000	4286.2	4275.2	4249.9	4270.4	-0.8	0.9	0.6
Lectura máquina en cero		0	0	0	----	0	0	Error máx. de cero(0)=0,00

### Evaluación de los resultados

De los resultados obtenidos durante la calibración se ha obtenido la siguiente ecuación cuadrática:

$$Y = A \cdot X^2 + B \cdot X + C$$

Donde:

Y = Indicación del Equipo en kgf.

X = Lectura directa del equipo / valores del dial

Los coeficientes obtenidos son:

$$A = -0.0002$$

$$B = 4.51220$$

$$C = -30.6340$$

### Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.
- La incertidumbre de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de medición por
- el factor de cobertura k=2 para una distribución normal de aproximadamente 95%.



Termómetro de 5 Pulgadas



# CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

SERVICIOS DE CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE  
EQUIPOS DE LABORATORIO



## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LT-1693-2025

Página 1 de 2

Solicitante : ROJAS PAUCAR SAULO TRACY

Dirección : CUSCO

Instrumento de Medición : TERMÓMETRO DIGITAL

Marca : MULTI TERMOMETER

Fabricante : AMARELL

Modelo : E905000

Serie : 217

Procedencia : ALEMANIA

Alcance máximo : -50°C a 200°  
(-58°F a 392°F)

División Mínima : 0.1° C

Tipo de Indicación : Digital

Lugar de Calibración : Laboratorio de temperatura – PYS EQUIPOS.

Fecha de Calibración : 2025-01-28

Fecha de emisión : 2025-01-28

Método de calibración empleado

Tomando como referencia el procedimiento de INDECOPI/SNM PC-017 "procedimiento para calibración de termómetros digitales" 1era edición, noviembre 2007

### Observaciones

Se colocó una etiqueta con la indicación "CALIBRADO" El resultado de cada una de las mediciones en el presente documento es un promedio de tres valores de un mismo punto.

Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refiere exclusivamente al instrumento calibrado, no debe usarse como certificado de conformidad de producto. PYS EQUIPOS EIRL, no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento. El usuario es el responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes. le presente documento carece de valor sin firmas y sellos.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LT-1693-2025





Página 2 de 2

**TRAZABILIDAD**

Los resultados de la calibración realizada son trazables a la Unidad de Medida de Patrones Nacionales de Temperatura del Servicio Nacional de Metrología SNM-INDECOPI en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP)

**PATRONES DE REFERENCIA**

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
Patrones de Referencia de DSI PERU AUTOMATION E.I.R.L.	Termómetro de Indicación Digital	T-0018-2024

**CONDICIONES AMBIENTALES**

Temperatura °C	Inicial	Final
		24.2°C
Humedad Relativa%	71%	70%

**RESULTADOS DE MEDICIÓN**

Puntos de calibración (°C)	Promedio (°C)	Error (°C)
10.00	10.07	0.17
30.00	29.63	0.25
40.00	40.70	0.27

Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado.

PYS EQUIPOS E.I.R.L. No se hace responsable por los perjuicios de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.

**Observaciones:**

Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de "CALIBRADO".

*E.P.P.*  
 Revisado por:  
 Eler Pozo S.  
 Dpto. de Metrología

*Ramirez J.*  
 Calibrado por:  
 Julio Coronado R.  
 Dpto. de Metrología



## ANEXO RR

Cartas de viscosidad de asfaltos utilizados

Carta de viscosidad de cemento Asfaltico PEN 120/150



UNIDAD LABORATORIO - GERENCIA OPERACIONES CONCHÁN

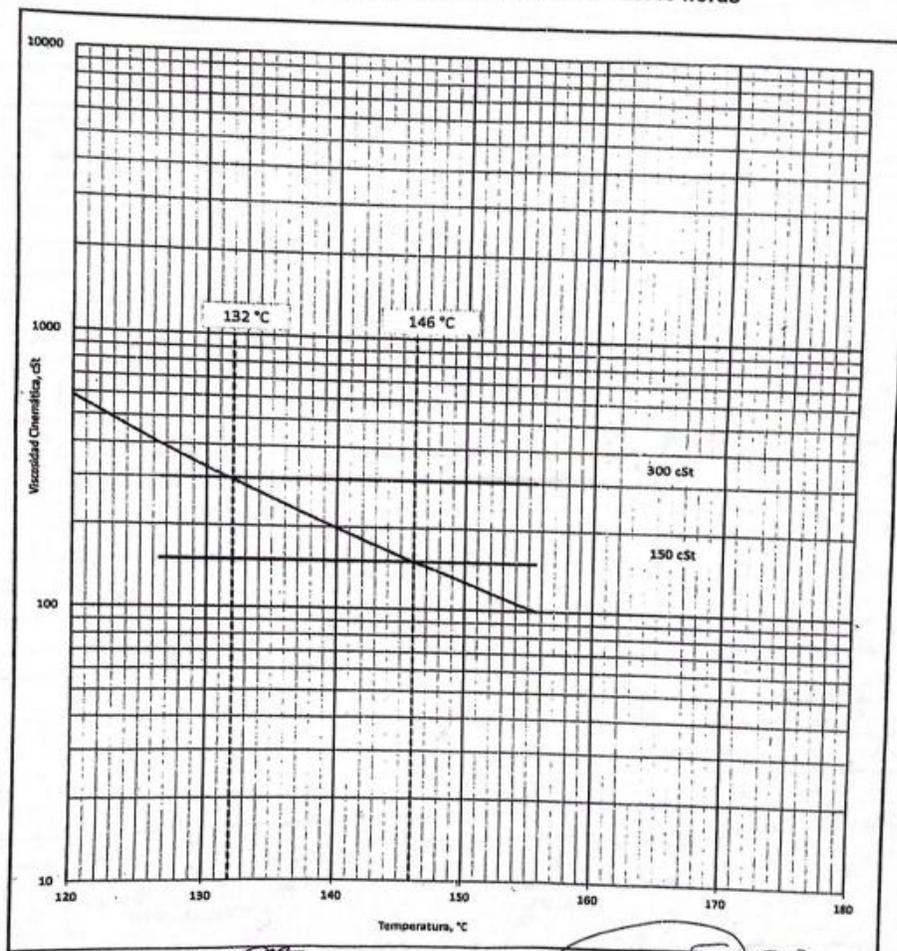
INFORME DE ENSAYO		N° GOCN-LAB-2325-2024		
FECHA DE RECEPCIÓN: 02/12/2024	HORA DE RECEPCIÓN: 06:45 h	FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME: 02/12/2024		
PRODUCTO: ASFALTO SÓLIDO 120/150 PEN	TANQUE DE MUESTREO (c): 22	BUQUE TANQUE: ---		
PROCEDENCIA: JEFATURA OPERACIONES	VOLUMEN: ---	DESTINO DEL PRODUCTO: PLANTA CONCHÁN		
ENSAYO	MÉTODOS ASTM (b) / OTROS	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES (a)	
			MÍNIMO	MÁXIMO
PENETRACIÓN:				
a 25°C. 100 gr. 5 seg. 1/10 mm	D5/D5M-20	150	120	150
VOLATILIDAD:				
Gravedad API a 60°F. °API	D70/D70M-21	7.8	Reportar	
Gravedad Especifica a 60/60°F	D70/D70M-21	1.015	Reportar	
Punto de Inflamación, Cleveland vaso abierto, °C	D92-18	273	218	
DUCTILIDAD:				
a 25°C. 5 cm/min. cm	D113/D113M-17(2023)e1	>150	100	
SOLUBILIDAD:				
Solubilidad en Tricloroetileno, %masa	D2042-22	99.7	99	
SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA:				
Prueba de Calentamiento sobre película fina, 3.2 mm, 163°C, 5 hora:	D1754/D1754M-20			
- Pérdida por calentamiento, %masa		1.10	1.3	
- Penetración Retenida, % del Original	D5/D5M-20	45	42+	
- Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	D113/D113M-17(2023)e1	100	100	
Índice de Penetración		-0.1	-1.0 + 1.0	
FLUIDEZ:				
- Viscosidad Cinemática a 100°C, cSt	D2170/D2170M-24	2,337	Reportar	
- Viscosidad Cinemática a 135°C, cSt	D2170/D2170M-24	252.0	140	
Punto de Ablandamiento, °C	D36/D36M-14(2020)	43	38	
OBSERVACIONES :				
- La temperatura óptima de mezcla para este producto se encuentra entre 132 y 146°C - Se adjunta Carta de Viscosidad - Temperatura 1 - Los resultados corresponden sólo a la muestra analizada 2 - La muestra no sido proporcionada por el cliente 3 - (R) En concordancia con la Norma Técnica Peruana NTP 321.051 y con los estándares ASTM D946 y AASHTO M20 4 - (S) American Society for Testing and Materials 5 - (C) Información proporcionado por el cliente				
CÓDIGO DE MUESTRA: 21558				
ORIGINAL COPIA 1	CLIENTE ARCHIVO GENERAL DE INFORME DE ENSAYOS	ELABORADO POR:  CINTHIA YANTÁS ALCANTARA FICHA: 59171	APROBADO POR:  FRANKYN BERMEJÓS CHOQUE FICHA: 59137	
FIRMA		FIRMA		

GOCN-LAB-PO-0157-03, Rev. 7

FIN DEL INFORME

Página 1/2

Carta Viscosidad - Temperatura ASTM D 341  
 Rango de Temperatura Óptima de Mezcla  
 TQ. 22 - C.A. 120/150 PEN. - 02/12/2024 - 06:45 horas



*[Signature]*  
 CINTHIA YANTAS ALCANTARA  
 FICHA: 59171

*[Signature]*  
 FRANKYN BERMEJOS CHOQUE  
 FICHA: 59137

## Carta de viscosidad de cemento asfáltico modificado con polímero SBS



## TDM ASFALTOS

**BETUTEC IB PG 64 -28**  
**INFORME DE ENSAYOS N° 001-2025 BETUTEC IB PG 64 -28**

 GUIA TDM ASFALTOS : T001-0003366  
 CUENTE: GRUPO COLQUE E I R L

 TANQUE: 8 CINTILLO DE SEGURIDAD N°: 20558  
 LOTE DE PRODUCCIÓN: MOD2501002 20559  
 CANTIDAD: 15150 KILOS 20560  
 FECHA DE PRODUCCIÓN: 3/01/2025

ENSAYOS	MÉTODO ASTM	UNIDADES	ESPECIFICACIONES		RESULTADO
			MÍNIMO	MÁXIMO	
PENETRACIÓN 5 s, 25°C	D-5	dmm	75	100	77
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60°C	D-2171	Po	2500	--	71358
VISCOSIDAD CINEMATICA 135°C	D-2170	cSt	--	3000	952.5
PUNTO DE INFLAMACIÓN	D-92	°C	232	--	288
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO	D-2042	%	99	--	99.90
VISCOSIDAD BROOKFIELD 135 °C, 20 rpm	D-4402	cP	--	--	902.5
VISCOSIDAD BROOKFIELD 145 °C, 20 rpm	D-4402	cP	--	--	562.5
VISCOSIDAD BROOKFIELD 175 °C, 20 rpm	D-4402	cP	--	--	172.0
RECUPERACION ELASTICA LINEAL Método A, 10 cm, 25°C	D-6084	%	60	--	83
RECUPERACION ELASTICA LINEAL Método A, 10 cm, 5°C	D-6084	%	--	--	55
PUNTO DE ABLANDAMIENTO	D-36	°C	50	--	56
ESTABILIDAD A ALMACENAMIENTO 163 °C, 48 horas	D-7173				
SEPARACION, DIFERENCIA EN PUNTO DE ABLANDAMIENTO	D-36	°C	--	2.2	1.8
RESIDUO DESPUÉS DE PELÍCULA FINA ROTATORIA	D-2872				
RECUPERACION ELASTICA LINEAL Método A, 10 cm, 25°C	D-6084	%	60	--	79
PENETRACIÓN 4°C, 200 g, 60 s	D-5	dmm	15	--	30
SEPARACION, DIFERENCIA EN PUNTO DE ABLANDAMIENTO	D-36	°C	--	10	3.2

**GRADO DE PERFORMANCE**  
**SEGÚN ASTM D-6373 TABLA I**
**PG 64 -28**

 OBSERVACIONES:
 

1. El producto cumple especificaciones de calidad
2. Los resultados solo corresponden a la muestra analizada.
3. No presenta espuma a 163 °C
4. Se adjunta Hoja de Seguridad del Producto y Hoja Resumen Art. 54 D.S. N°021-2008-MTC

CÓDIGO DE CONTRAMUESTRA: 1

 Original Cliente  
 Cargo Laboratorio

Fecha de Emisión : Lima, 03 de Enero del 2025

TDM ASFALTOS SAC

 Guillermo Vera Bonzano  
 Coordinador de Laboratorio

La información contenida en este documento se basa en ensayos adecuados, seguros y correctos. Las recomendaciones, rendimientos y sugerencias no constituyen garantías ya que, al estar fuera de nuestro alcance controlar las condiciones de aplicación, no nos responsabilizamos por daños, perjuicios o pérdidas ocasionadas por el uso inadecuado de los productos.

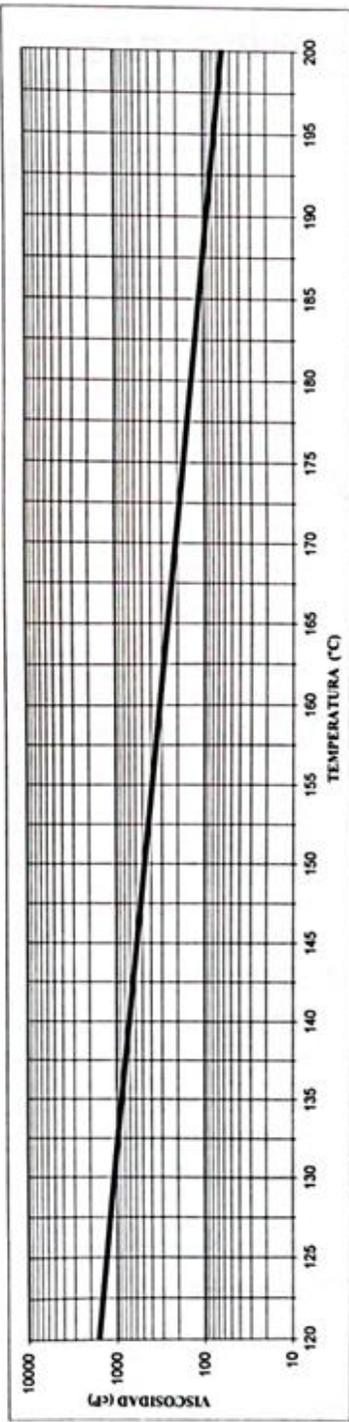
TDM ASFALTOS se reserva el derecho de efectuar cambios con el objeto de adaptar este producto a las más modernas tecnologías.

Mz. A Lote 12 Zona Industrial Las Praderas de Lurín - Lurín. Teléfono (511) 6169311


 Mza. A Lote 12 Zona Industrial Las Praderas de Lurín - Lurín  
 Teléfono (511) 6169311

**GRÁFICO DE TEMPERATURAS DE MEZCLA Y COMPACTACIÓN**

PRODUCTO: BETUTEC IB PG 64 -2B INFORME DE ENSAYO N° 1      FECHA: 3/01/2025



**RANGO DE TEMPERATURA DE MEZCLA**

154.2	A	161.2
144.3	A	154.2

**RANGO DE TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN DE MEZCLA**

RANGO DE TEMPERATURA DEL LIGANTE ASFÁLTICO EN LA MEZCLA CON VISCOSIDADES ENTRE 300 A 400 cP  
 RANGO DE TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN DE LA MEZCLA CON VISCOSIDADES ENTRE 400 A 600 cP

Original Cliente  
 Cargo Laboratorio

	<b>HOJA DE SEGURIDAD</b> <b>ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO</b>	HS-AMP
		Revisión: 16/05/2023
		Versión: 03

- 1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA EMPRESA**  
 Asfalto Modificado con Polímero - SERIE BETUTEC  
 Para aplicaciones específicas ver la Ficha Técnica del producto.  
**Identificación de la empresa**  
 TDM ASFALTOS S.A.C.  
 Mz. A Lote 12 Zona Industrial Las Praderas de Lurín - Lurín  
 Teléfono: 616-9300
- 2. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES**  
**Composición química**  
 Cemento asfáltico  
 Polímero elastómero  
 Aditivos  
**Componentes peligrosos**  
 Ningún componente está presente con una concentración suficiente como para requerir su clasificación como elemento peligroso para la salud.
- 3. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS**  
**Físicoquímicos**  
 Se almacena y maneja por encima de los 100°C, por lo que el contacto con agua puede producir una expansión violenta, peligro de salpicaduras y desbordamiento por ebullición.  
 Aunque no están clasificados como inflamables, los asfaltos son materiales hidrocarbonados y pueden arder.  
**Toxicológicos (síntomas)**  
**Inhalación**  
 Cuando son calentados, los asfaltos producen humos. Aunque no se piensa que éstos produzcan daño significativo para la salud, la prudencia aconseja que se debe minimizar la exposición, observando buenas prácticas de trabajo y asegurando buena ventilación en las áreas de trabajo. El sulfuro de hidrógeno puede acumularse en el espacio de cabeza de los tanques de almacenamiento y potencialmente alcanzar concentraciones peligrosas.  
**Ingestión**  
 No es probable.  
**Contacto piel/ojos**  
 El asfalto se maneja a alta temperatura lo que puede causar quemaduras. Los asfaltos no están clasificados como peligrosos según los criterios de la CE, pero contienen concentraciones muy bajas de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PCA's). En los asfaltos sin diluir, estos PCA's, no se consideran biodisponibles. Sin embargo, si estos asfaltos se mezclan con diluyentes se cree que estos materiales pueden llegar a ser biodisponibles si el producto tiene baja viscosidad a temperatura ambiente. A pesar de la presencia conocida de PCA's no existe evidencia de que la exposición a asfaltos sin diluir o a sus humos sea nociva.

Página 1 de 7

	<b>HOJA DE SEGURIDAD</b> <b>ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO</b>	HS-AMP
		Revisión: 16/05/2023
		Versión: 03

- 4. PRIMEROS AUXILIOS**  
**Inhalación**  
 Si la inhalación de nieblas, humos o vapores causa irritación de nariz o garganta o tos, conducir a la persona afectada al aire libre. Si los síntomas persisten buscar atención médica. Las personas afectadas por la exposición de sulfuro de hidrógeno deben ser inmediatamente trasladadas al aire libre y se debe obtener atención médica sin dilación. Las personas inconscientes se deben colocar en posición de recuperación. Controlar la respiración y el pulso, y si la respiración se debilita o se considera inadecuada, debe utilizarse respiración asistida, preferentemente por el método del boca a boca. Si es necesario administrar masaje cardíaco externo. Obtener atención médica en forma inmediata.  
**Ingestión**  
 No es probable.  
**Piel**  
 Sumergir la zona de la piel con quemaduras al agua mínima 10 minutos. No intentar eliminar el asfalto de la piel pues con el tiempo se desprenderá con la costra cuando la quemadura cicatrice. Todas las quemaduras deben recibir atención médica. El tratamiento debe ser generalmente sintomático y dirigido a mitigar cualquier efecto. Si por cualquier razón el asfalto se debe eliminar, puede usarse parafina medicinal líquida generalmente calentada.  
**Ojos**  
**Producto en frío**  
 Lavar los ojos con abundante agua, asegurándose que los párpados se mantengan abiertos. Buscar atención médica si aparece o persiste el dolor o enrojecimiento.  
**Producto en caliente**  
 Lavar con abundante agua durante al menos 5 minutos para disipar el calor. En el caso de que quede algo del producto, intentar eliminarlo por irrigación solo por continua irrigación con agua. Obtener atención médica en forma inmediata.  
**Medidas generales**  
 No quitar el asfalto adherido firmemente a la piel. Avisar al servicio médico.
- 5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIO**  
**Medidas de extinción**  
 Espumas, polvo químico seco, dióxido de carbono, gas inerte, arena y agua pulverizada.  
**Contraintoxicaciones**  
 No usar nunca chorros de agua directamente.

Página 2 de 7

	<b>HOJA DE SEGURIDAD</b> <b>ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO</b>	HS-AMP
		Revisión: 16/05/2023
		Versión: 03

- Productos de combustión**  
 El asfalto ardiendo da lugar a una compleja mezcla de gases y partículas en suspensión incluyendo CO<sub>2</sub>, CO, óxidos de azufre y otros gases peligrosos.
- 6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL**  
**Precauciones para el medioambiente**  
 Prevenir los vertidos al alcantarillado.  
**Precauciones personales**  
 En espacios cerrados no permitir que el agua u otro líquido entre en contacto con el asfalto en caliente. El asfalto en caliente debe manejarse de tal forma que no exista riesgo de quemaduras.  
**Descontaminación y limpieza**  
**Derrames pequeños**  
 Dejar enfriar y solidificar. Trasladar mecánicamente hacia los contenedores para su eliminación o recuperación de acuerdo con las regulaciones locales.  
**Derrames grandes**  
 Evitar la dispersión mediante fosos o barreras de arena, tierra u otro material. A continuación, tratar de igual modo que los derrames pequeños.  
**Protección personal (cuando el asfalto está en caliente)**  
 Debe incluir útiles con terminaciones en forma de brazos para evitar salpicaduras en el cuerpo, protectores de cara y ojos, guantes y botas resistentes al calor.
- 7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO**  
**Manipulación**  
**Precauciones generales**  
 La temperatura máxima segura de manipulación debe estar 30°C por debajo de la temperatura de inflamación. Evitar el sobrecalentamiento para minimizar la producción de humos, protegerse manos y brazos. Usar botas altas. Cuando se manipula asfalto en caliente es recomendable llevar protegidos cara y ojos.  
**Condiciones especiales**  
 El asfalto se manipula en forma líquida, lo cual implica elevadas temperaturas (> 100°C). Evitar el contacto (quemaduras en la piel) y la inhalación de humos (emisión del tracto respiratorio). Utilizar mangueras limpias, secas y resistentes al calor. No usar vapor para vaciar las tuberías y mangueras. No utilizar disolventes para las obstrucciones de las tuberías.  
**Almacenamiento**  
**Temperatura y productos de descomposición**  
 Cuando se calienta excesivamente emite humos irritantes. Máxima temperatura segura de almacenamiento al menos de 30°C por debajo de la temperatura de inflamación.

	<b>HOJA DE SEGURIDAD</b> <b>ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO</b>	HS-AMP
		Revisión: 16/05/2023
		Versión: 03

- Reacciones peligrosas**  
 Puede arder rápidamente cuando se mezcla con nafta u otros disolventes volátiles. Pueden formarse depósitos carbonos sobre las paredes y techos de los tanques de almacenamiento, los cuales son proinflamables y auto-inflamables. El sulfuro de hidrógeno puede acumularse en los tanques a altas temperaturas cuando el tiempo de almacenamiento es largo.  
**Condiciones de almacenamiento**  
 Prevenir la entrada de agua. Ventilación adecuada. Los asfaltos deben ser manejados a la menor temperatura posible, teniendo en cuenta su uso eficiente. Cuando se está bombeando asfalto desde un tanque de almacenamiento se debe evitar el riesgo de fuego o explosión por la presencia de bubos calientes.  
**Materiales incompatibles**  
 Los asfaltos en caliente no se deben echar a un tanque o depósito húmedo, ya que el vapor de agua puede provocar erupciones violentas cuando el asfalto es calentado. Evitar contacto directo con el agua.
- 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL**  
 - Protección respiratoria: no es necesaria cuando existen condiciones de ventilación adecuadas. Si se realiza alguna actividad donde exista la exposición a altas concentraciones de vapores del producto en el aire, se requiere de un equipo de respiración autocontenido.  
 - Ojos: Gafas de seguridad contra salpicaduras químicas.  
 - Piel: Guantes de nitrilo, nitrilo o PVC, zapatos de seguridad, protectores faciales y ropa completa de protección.
- 9. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS**  
 Punto de Inflamación : > 235°C  
 Solubilidad en agua : Insoluble  
 Densidad : 1.02 gr/cm<sup>3</sup>
- 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD**  
**Estabilidad**  
 Estable a temperatura ambiente  
**Condiciones a evitar**  
 El calentamiento excesivo por encima de la temperatura máxima recomendada de la manipulación y almacenamiento puede causar craqueo y formación de vapores inflamables.  
**Incompatibilidades**  
 Impedir que el producto fundido entre en contacto con agua u otro líquido. Se debe evitar la contaminación de aceite y asfalto de los aislamientos térmicos y el revestimiento se debe reemplazar donde sea necesario por un tipo de aislamiento no absorbente.

	<b>HOJA DE SEGURIDAD</b> <b>ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO</b>	MS-ASP
		Revisión: 14/03/2013
		Versión: 03

El calentamiento da lugar a la autoinflamación de las superficies de materiales fibrosos o porosos impregnados con asfalto o con condensados de los humos bituminosos, lo que puede ocurrir a temperaturas inferiores a los 100°C. Evitar el contacto con los oxidantes fuertes.

**Condiciones médicas agravadas por la exposición**  
 Problemas dermatológicos.

#### 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Al momento de elaborar la hoja de seguridad no se dispone de información suficiente para hacer una evaluación satisfactoria sobre este apartado.

#### 12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

##### Forma y potencial contaminante

##### Persistencia y biodegradabilidad

No da lugar a fracciones solubles en agua. El producto derramado en el agua puede hundirse causando un daño mecánico a la flora y fauna que están en contacto. Los componentes del asfalto no se biodegradan significativamente en el medio ambiente. En condiciones normales el producto permanece en el lugar.

##### Movilidad/bioacumulación

De acuerdo con sus propiedades físicas el asfalto no es móvil y permanece en la superficie del suelo o se asienta en la superficie de los sedimentos acuáticos al ser insoluble. La bioacumulación es improbable debido a su baja solubilidad.

##### Efecto sobre el medio ambiente/ecotoxicidad

El producto no es tóxico para el medioambiente. No es peligroso para las plantas y ambientes acuáticos.

#### 13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

##### Residuos:

**Eliminación:** Los materiales contaminados serán depositados en rellenos de seguridad u otros sistemas debidamente aprobados por la Autoridad de Salud de nivel nacional. Se debe remitir a un gestor autorizado.

**Manipulación:** Los materiales contaminados por el producto presentan los mismos riesgos y necesitan las mismas precauciones que el producto y deben considerarse como residuo peligroso. No desplazar nunca el producto a drenaje o alcantarillado.

**Disposiciones:** Los establecimientos y empresas que se dediquen a la recuperación, eliminación, recogida o transporte de residuos deberán cumplir la Ley 27314, ley general de residuos sólidos, su reglamento D.S. N° 057-2004-PCM, las normas sectoriales y locales específicas u otras disposiciones vigentes referidos a la gestión de residuos.

Página 5 de 7

	<b>HOJA DE SEGURIDAD</b> <b>ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO</b>	MS-ASP
		Revisión: 14/03/2013
		Versión: 03

#### 14. CONSIDERACIONES RELATIVAS AL TRANSPORTE

El producto es transportado a granel en camiones tanque, que poseen sistemas de calentamiento para mantener el producto en estado líquido; el personal que realiza el traslado del producto debe estar previamente capacitado para acciones de emergencia durante el trayecto. Si el producto está envasado en cilindros y es transportado a temperatura ambiente no presenta riesgos de peligrosidad. El transporte se realiza de acuerdo a las normas de seguridad vigentes.

#### 15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Código Naciones Unidas: UN 1999

Señalización pictórica, NTP 399.0152001



Rombo de Seguridad - NFPA 704



- Salud : 0  
 - Inflamabilidad : 1  
 - Reactividad : 0

#### 16. OTRAS INFORMACIONES

##### Normativa:

- Reglamento de Seguridad para el Transporte de Hidrocarburos, aprobado por D.S. N°026-94-EM y modificaciones.
- Reglamento de Seguridad para las Actividades de Hidrocarburos, aprobado por D.S. N°043-2007-EM y modificaciones.
- Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos, aprobado por D.S. N°052-1993-EM y modificaciones.
- Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos, aprobado por D.S. N°039-2014-EM y modificaciones.
- Reglamentos para la Comercialización de Combustibles Líquidos y Otros Productos Derivados de los Hidrocarburos, aprobados por

Página 6 de 7

	<b>HOJA DE SEGURIDAD</b> <b>ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO</b>	MS-ASP
		Revisión: 14/03/2013
		Versión: 03

Decretos Supremos N°030-1998-EM y N°045-2001-EM y modificaciones.

Emergencias a nivel nacional: 116

Las precauciones sobre Salud y Seguridad, así como los consejos sobre Medioambiente contenidos en esta Hoja de Datos pueden no ser aplicables para todas las situaciones individuales. La obtención del usuario evaluar y utilizar este producto con seguridad y cumpliendo todas las leyes y reglamentaciones aplicables. Ninguna declaración contenida en esta Hoja de Datos puede ser tomada como un permiso, recomendación o autorización de TDM ASFALTOS S.A.C. no será responsable de ningún evento o lesión resultado del uso anormal de este material, de ningún fallo derivado de las recomendaciones o de ningún peligro inherente a la naturaleza del material.

**ANEXO SS**

Fotos de ensayos realizados en laboratorio de Agregado-Bitumen.

**ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS**

MTC E 204 REF. NTP 400.012 -- ASTM D 3515



Fotografia 01: Cuarteo del agregado



Fotografia 02: Granulometria de AG



Fotografia 03: Granulometria ASTM D 3515-AG



Fotografia 04: Granulometria ASTM D 3515-AG



Fotografia 05: Presentacion de agregados AG--AF



Fotografia 06: Granulometria de cal hidratada

28 ene 2025 12:10:56 p. m.  
191 179538-8503410  
Avenida Universitaria  
Mariscal Gamarra  
Cusco  
Cuzco

### ABRASIÓN LOS ÁNGELES

MTC E 207 REF.

NTP 400.019



Fotografía 07: Ensayo de Abrasion de Ángeles



Fotografía 08: Se agrega los agregados



Fotografía 09: Se pone las esferas según la granulometria



Fotografía 10: Se saca los agregados de la maquina de los Angeles

### GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGREGADOS FINOS

MTC E 205 REF.

NTP 400.022



Fotografía 11: Ensayo de GE de agregado AG



Fotografía 12: Se agrega agua al matraz para AF



28 oct. 2024 12:26:09 p. m.



4 nov 2024 9:53:53 a. m.

Fotografía 13: Se observa el ensayo de Absorción      Fotografía 14: Se saca la Cantidad de vacíos  
**PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS GRUESOS**

MTC E 206

REF.

NTP 400.021



4 nov 2024 10:00:24 a. m.

Fotografía 15: Se hace un pesado Inicial



4 nov 2024 10:26:36 a. m.

Fotografía 16: Se hace el secado de la superficie



4 nov 2024 10:48:04 a. m.

Fotografía 17: Se hace la selección del Agregado



4 nov 2024 10:26:44 a. m.

Fotografía 18: Se hace un pesado final

**EQUIVALENTE DE ARENA**

MTC E 114 REF.

NTP 339.146



Fotografía 19: Presentación de materiales



Fotografía 20: Se observa el asentamiento las partículas pesadas



Fotografía 21: Se observa la irrigación  
**CARAS FRACTURADAS**

MTC E 210 REF.



Fotografía 22: Se espera un periodo para esperar el asentamiento



Fotografía 23: Se observa la clasificación de las caras



Fotografía 24: Se observa la 1 cara, 2 caras, No presenta

ASTM D 5821

**PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS**

MTC E 223

REF.

ASTM D 4791



11 nov 2024 9:16:46 a. m.



11 nov 2024 9:17:29 a. m.

Fotografía 25: Se observa la clasificacion de las caras

Fotografía 26: Se observa la clasificacion de las caras



11 nov 2024 9:20:44 a. m.



11 nov 2024 9:22:59 a. m.

Fotografía 27: Clasificacion de los agregados según sus características  
**AZUL DE METILENO**

Fotografía 28: La clasificacion se da en las instalaciones del laboratorio de la universidad ANDINA DEL CUSCO

AASTHO TP 57



Fotografía 29: Se observa todos los materiales para el azul metileno



Fotografía 30: Se observa el pesado del material



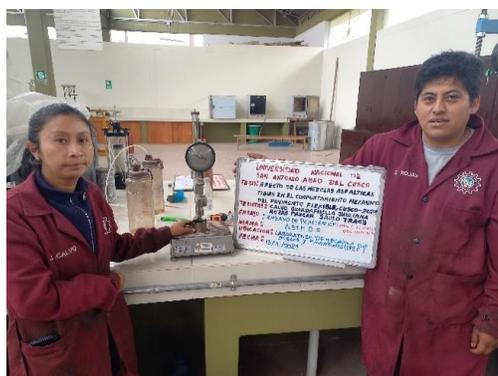
Fotografia 31: Aseguramiento de la varilla de vidrio



Fotografia 32: Se muestra la formación del alo turquesa en el parametro 5

**PENETRACION DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS**

MTC E 304 REF. ASTM D 5



Fotografia 33: Se vee la maquina de penetración



Fotografia 34: Se observa el especimen de bitumen

**DURABILIDAD (AL SULFATO DE MAGNESIO) A.G - A.F**

MTC E 209 REF. NTP 400.016



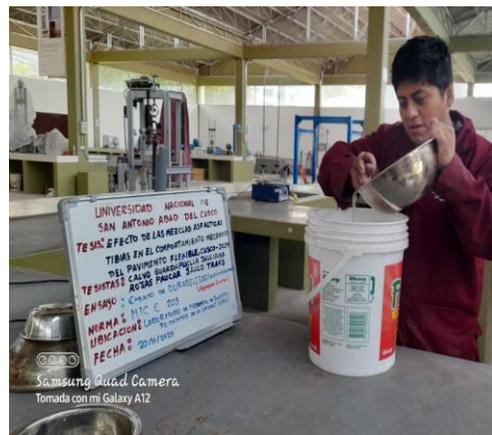
Fotografia 35: Clasificación de agregados para el ensayo



Fotografia 36: Preparación del sulfato de magnesio



Fotografía 37: Poner el agregado en el horno



Fotografía 38: Hacer una decantación después de 24 hrs con el sulfato de



Fotografía 39: Se ve la clasificación de los agregados



Fotografía 40: Se observa la decantación



Fotografía 41: Se debe hacer eso por un espacio de



Fotografía 42: Se debe hacer eso por un espacio de 5 cicl

## ÍNDICE DE PLASTICIDAD (MALLA N.º 40) y (MALLA N.º 200)

MTC E 111 REF. NTP 339.129



Fotografía 43: Materiales del Índice de plasticidad



Fotografía 44: Cuchara de casagrande, tamices, capsulas

## REVESTIMIENTO Y DESPRENDIMIENTO DE MEZCLAS AGREGADO - BITUMEN

MTC E 517 REF. AASHTO T-182



Fotografía 45: Se observa el revestimiento de agregado. Fotografía 46: Cuanta afinidad tienen los dos organos

## RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

MTC E 504    REF.    ASTM-D6926    --    ATM D 6927



Fotografía 47: Calentamiento de agregados



Fotografía 48: Se hace el mezclado de agregados con bitumen



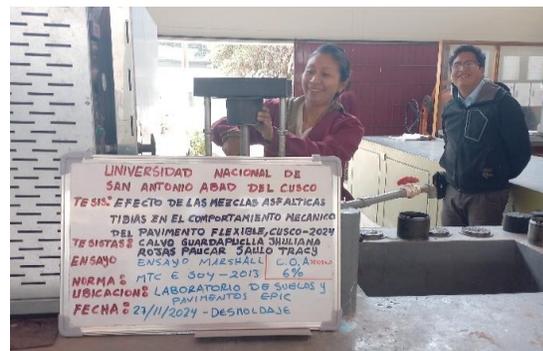
Fotografía 49: Calentamiento de agregados



Fotografía 50: Presentación de 5 especimene



Fotografía 51: Presentación de 5 especimene



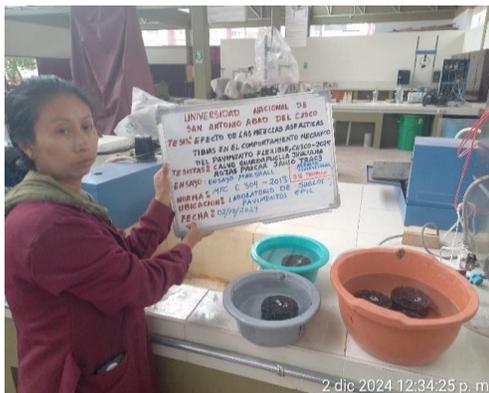
Fotografía 52: Desoldaje de los especimenes



Fotografia 53: Presentacion de 5 especimene



Fotografia 54: Se hace medicion de sus dimensiones de los especimenes



Fotografia 55: Peso saturado



Fotografia 56: Peso sumergido



Fotografia 57: Baño Maria de los especimenes por 30 min a T=60 C°



Fotografia 58: Rotura de Especimenes



Fotografia 59: Rotura de Especimenes



Fotografia 60: Rotura de Especimenes



Fotografia 61: Mezclado del amterial



Fotografia 62: Compactado de los especimenes



Fotografía 63: Baño María de los especímenes por 30 min a T=60 °C



Fotografía 64: Presentación de 5 especímenes con el aditivo surfactante



Fotografía 65: Las temperaturas de los agregados debe ser adecuada



Fotografía 66: Las temperaturas de compactación de 90 °C



Fotografía 67: Presentación de especímenes con aditivo surfactante



Fotografía 68: Las temperaturas de compactación de 135 °C

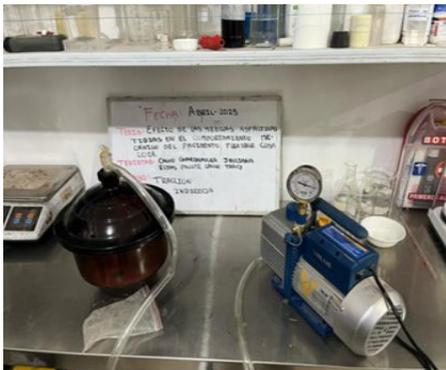


Fotografía 69: Rotura de especímenes



Fotografía 70: Observa la rotura de los 5 especímenes

### ENSAYO DE DAÑOS POR HUMEDAD TSR-AASTHO T 283



Fotografía 71: Bomba de vacíos para los especímenes



Fotografía 72: Rotura de especímenes con el cabezal de TSR



Fotografía 73: Rotura de especímenes con el cabezal de TSR



Fotografía 74: Equipo de Marshall

