

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO  
SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN  
PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024**

**PRESENTADO POR:**

Br. JEAN JARET ZUÑIGA

ORCCOHUARANCCA

Br. EDUT RODRIGUEZ SURI

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

**ASESOR:**

Dr. Ing. ADAN WILBERT SOLORZANO

MONTESINOS

**CUSCO - PERÚ**

**2025**



# Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

## INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** Dr. Ing. ADAN Wilbert Solorzano Montesinos.....  
..... quien aplica el software de detección de similitud al  
trabajo de investigación/tesis titulada: EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL...  
DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS...  
CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024.....

Presentado por: Jean Javet Zuñiga Orcobuvaranca..... DNI N° 73147490.....;

presentado por: Eduf Rodriguez Suri..... DNI N°: 72811937.....

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 de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**  
**Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 2 %.

### 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 sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	<input checked="" type="checkbox"/>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	<input type="checkbox"/>
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación 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 de Detección de Similitud.

Cusco, 24 de Diciembre..... de 2025.....

  
.....  
Firma

Post firma ADAN WILBERT SOLORZANO MONTESINOS.....

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

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

### Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:542773664.....

# EDUT Y JEAN RODRIGUEZ Y ZUNIGA

## “EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODI...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:542773664

Fecha de entrega

22 dic 2025, 4:24 p.m. GMT-6

Fecha de descarga

22 dic 2025, 4:32 p.m. GMT-6

Nombre del archivo

“EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS A....pdf

Tamaño del archivo

13.5 MB

398 páginas

111.260 palabras

465.930 caracteres




## 2% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe



- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 20 palabras)

### Fuentes principales

- 1%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 1%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

#### N.º de alertas de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**  
84 caracteres sospechosos en N.º de páginas  
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.
-  **Texto oculto**  
253 caracteres sospechosos en N.º de páginas  
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



## **Dedicatoria**

A mi madre, Matilde Suri, por su entrega, sacrificio, dedicación y apoyo incondicional que hizo posible que lograra esta meta.

A mi padre, Cirilo Rodriguez, por ser mi fuente de inspiración, por su confianza, paciencia, sus consejos y la dedicación que me enseñó a poder seguir y cumplir mis metas y sueños.

**Edut Rodriguez Suri**

Dedico esta tesis con todo mi corazón a mi familia, compañeros y amigos pues sin ellos no lo habría logrado.

A mis padres Wilbert Zuñiga Escobedo y Celia Orccohuarancca Ttito, quienes fueron mi inspiración y mayor motivo, por su entrega, sacrificio y apoyo brindado en la realización de la tesis; por creer en mí, por sus consejos, amor y paciencia, por ser un ejemplo para mí.

A mis hermanos Patrick Zuñiga Orccohuarancca y Brandon Zuñiga Orccohuarancca por darme la oportunidad de ser un ejemplo para ellos y mostrarles que los sueños se cumplen, por su apoyo en todo momento.

A una persona muy especial para mí, Sadith, quien me apoyo antes, durante y después de la tesis, brindándome fuerza, dedicación y paciencia en busca de este primer sueño, gracias por el apoyo incondicional.

**Jean Jaret Zuñiga Orccohuarancca**

## **Agradecimientos**

En primer lugar, a Dios, por darnos la dicha y oportunidad de poder cumplir una de las metas más importantes en nuestras vidas.

De manera especial al nuestro Asesor Dr. Ing. Adán Wilbert Solorzano, quien apostó por nosotros desde el primer momento, ayudándonos con su experiencia y conocimiento.

Al Ing. Mario David Mayta Puma, por su tiempo y apoyo que nos brindó durante la investigación mostrando siempre su gran experiencia y conocimiento.

A mis compañeros de facultad que me ayudaron en la realización de la tesis, Abel Arévalo F., Abel Huancahuire S. y Geraldine L Huánuco L.

A nuestra querida facultad, docentes y compañeros por estar presentes durante nuestra formación académica.

**Edut Rodriguez Suri**

**Jean Jaret Zuñiga Orccohuarancca**

## Resumen

La presente investigación evalúa la influencia del polímero SBS en el módulo dinámico del diseño volumétrico Superpave de mezclas asfálticas modificadas para pavimentos flexibles en el distrito de San Sebastián, Cusco, 2024. En el país, los métodos tradicionales como Marshall y Hveem siguen empleándose, pese a no considerar adecuadamente variables críticas como el clima, el incremento del tráfico pesado y las propiedades reológicas del ligante asfáltico. Frente a ello, el método Superpave se presenta como una alternativa moderna que permite una mejor caracterización de los materiales, utilizando el módulo dinámico como indicador del desempeño mecánico.

El estudio comprendió la caracterización granulométrica de agregados de tres canteras locales, la selección del cemento asfáltico óptimo según el grado de desempeño PG 64-16 y el diseño de mezclas asfálticas convencional y modificada con polímero estireno-butadieno-estireno (SBS) al 4%. Las muestras fueron elaboradas con compactador giratorio y evaluadas mediante ensayos de daño inducido por humedad y módulo dinámico, a frecuencias de 0.1 Hz, 1 Hz y 10 Hz, y temperaturas de 5 °C, 20 °C y 40 °C.

Los resultados muestran que la mezcla modificada con SBS presenta mayores valores de módulo dinámico y menor susceptibilidad a la deformación permanente. Las curvas maestras y gráficos reológicos confirman una mayor rigidez y mejor capacidad de disipación energética. Se concluye que la incorporación de polímeros en el diseño Superpave mejora el desempeño estructural y la durabilidad del pavimento flexible.

**Palabras clave:** Superpave, Módulo, Polímero, Lottman.

### **Abstract**

This research evaluates the influence of SBS polymer on the dynamic modulus within the Superpave volumetric design of modified asphalt mixtures for flexible pavements in the district of San Sebastián, Cusco, 2024. In the country, traditional methods such as Marshall and Hveem are still applied, despite their limitations in adequately considering critical variables such as climate conditions, increasing heavy traffic, and the rheological properties of the asphalt binder. In this context, the Superpave method is presented as a modern alternative that allows improved material characterization, using the dynamic modulus as an indicator of mechanical performance.

The study included the gradation characterization of aggregates from three local quarries, the selection of the optimal asphalt binder according to the performance grade PG 64-16, and the design of conventional and asphalt mixtures modified with 4% styrene-butadiene-styrene (SBS) polymer. The specimens were prepared using a gyratory compactor and evaluated through moisture-induced damage and dynamic modulus tests at frequencies of 0.1 Hz, 1 Hz, and 10 Hz, and temperatures of 5 °C, 20 °C, and 40 °C.

The results show that the SBS-modified mixture exhibits higher dynamic modulus values and lower susceptibility to permanent deformation. The master curves and rheological plots confirm greater stiffness and improved energy dissipation capacity. It is concluded that the incorporation of polymers in the Superpave design significantly enhances the structural performance and durability of flexible pavements.

**Keywords:** Superpave, Modulus, Polymer, Lottman.

## ÍNDICE

<b>Resumen.....</b>	<b>3</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>4</b>
<b>Lista de Figuras.....</b>	<b>9</b>
<b>Lista de Tablas .....</b>	<b>13</b>
<b>Lista de Anexos .....</b>	<b>20</b>
<b>Tabla de Abreviaturas.....</b>	<b>21</b>
<b>Capítulo I: Introducción .....</b>	<b>23</b>
<b>1.1 Planteamiento del Problema .....</b>	<b>23</b>
<b>1.2 Formulación del Problema.....</b>	<b>25</b>
<i>1.2.1 Problema General:.....</i>	<i>25</i>
<i>1.2.2 Problemas Específicos:.....</i>	<i>25</i>
<b>1.3 Justificación de la Investigación .....</b>	<b>26</b>
<b>1.4 Objetivos de la Investigación .....</b>	<b>27</b>
<i>1.4.1 Objetivo General .....</i>	<i>27</i>
<i>1.4.2 Objetivos Específicos.....</i>	<i>27</i>
<b>1.5 Hipótesis.....</b>	<b>27</b>
<i>1.5.1 Hipótesis General.....</i>	<i>27</i>
<i>1.5.2 Hipótesis Específicas.....</i>	<i>28</i>
<b>Capítulo II: Marco Teórico.....</b>	<b>29</b>
<b>2.1 Antecedentes de la Investigación .....</b>	<b>29</b>
<i>2.1.1 Antecedentes Internacionales.....</i>	<i>29</i>
<i>2.1.2 Antecedentes Nacionales .....</i>	<i>31</i>
<b>2.2 Marco Teórico - Conceptual .....</b>	<b>33</b>
<i>2.2.1 Pavimento .....</i>	<i>33</i>
<i>2.2.2 Agregados .....</i>	<i>35</i>
<i>2.2.3 Estudio de Tráfico.....</i>	<i>42</i>
<i>2.2.4 Ligante asfáltico .....</i>	<i>45</i>
<i>2.2.5 Polímeros.....</i>	<i>53</i>
<i>2.2.6 Mezcla Asfáltica .....</i>	<i>55</i>



2.2.7	<i>Superpave</i> .....	61
2.2.8	<i>Módulo Dinámico</i> .....	69
<b>Capítulo III: Marco Metodológico</b> .....		<b>74</b>
3.1	<b>Metodología de Investigación</b> .....	<b>74</b>
3.2	<b>Tipo de Investigación</b> .....	<b>74</b>
3.2.1	<i>Cuantitativo</i> .....	74
3.3	<b>Nivel de Investigación: Correlacional</b> .....	<b>75</b>
3.4	<b>Diseño de la Investigación:</b> .....	<b>75</b>
3.5	<b>Población y Muestra</b> .....	<b>76</b>
3.5.1	<i>Población</i> .....	76
3.5.2	<i>Muestra</i> .....	76
3.6	<b>Alcance de la Investigación</b> .....	<b>78</b>
<b>Capítulo IV: Ensayos y Recolección de Datos</b> .....		<b>79</b>
4.1	<b>Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos</b> .....	<b>79</b>
4.1.1	<i>Instrumentos de Recolección de Datos</i> .....	79
4.1.2	<i>Instrumentos y Equipos de Ingeniería.</i> .....	86
4.1.3	<i>Laboratorios para Utilizar.</i> .....	86
4.1.4	<i>Normas.</i> .....	87
4.2	<b>Procedimiento para la Recolección de Datos</b> .....	<b>87</b>
4.2.1	<i>Estudio y Control de Agregado</i> .....	87
4.2.2	<i>Selección de Ligante.</i> .....	108
4.2.3	<i>Estudio y Control de Mezcla</i> .....	114
<b>Capítulo V: Resultados Obtenidos</b> .....		<b>125</b>
5.1	<b>Resultados de Ensayos para Agregados</b> .....	<b>125</b>
5.1.1	<i>Ensayo de Análisis Granulométrico por Tamizado</i> .....	125
5.1.2	<i>Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio</i> .....	127
5.1.3	<i>Ensayo de Gravedad Especifica y Porcentaje de Absorción en Agregado Fino</i> .....	128
5.1.4	<i>Ensayo de Gravedad Especifica y Porcentaje de Absorción en Agregado Grueso</i> .....	129
5.1.5	<i>Ensayo de Abrasión de Los Ángeles</i> .....	131

5.1.6	<i>Ensayo de Arcilla en Terrones y Partículas Desmenuzables</i> .....	132
5.1.7	<i>Ensayo de Partículas Fracturadas en el Agregado Grueso</i> .....	134
5.1.8	<i>Ensayo de Equivalente de Arena</i> .....	136
5.1.9	<i>Ensayo de Angularidad en el Agregado Fino</i> .....	137
5.2	<b>Resultados de Selección de Ligante</b> .....	138
5.2.1	<i>Parámetros de Tráfico</i> .....	138
5.2.2	<i>Parámetros de Temperatura</i> .....	145
5.3	<b>Resultados del Control de Mezcla Asfáltica</b> .....	148
5.3.1	<i>Diseño de Mezcla Asfáltica</i> .....	148
5.3.2	<i>Daño Inducido por Humedad o Lottman Modificado</i> .....	166
5.3.3	<i>Modulo Dinámico</i> .....	166
5.4	<b>Resultados del Análisis Estadístico</b> .....	205
5.4.1	<i>Estadística Descriptiva</i> .....	206
5.4.2	<i>Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk</i> .....	207
5.4.3	<i>Prueba de ANOVA de Welch</i> .....	209
5.4.4	<i>Prueba de Post Hoc de Games-Howell</i> .....	212
5.4.5	<i>Prueba de Kruskal-Wallis</i> .....	213
5.4.6	<i>Prueba de UNIANOVA</i> .....	215
5.4.7	<i>Prueba de Correlación entre Frecuencia, Temperatura y Log(E)</i> .....	219
5.5	<b>Resultados de Análisis de Presión por Tipo de Neumático</b> .....	222
5.5.1	<i>Cálculo de Presión por Tipo de Neumático</i> .....	222
5.5.2	<i>Interpretación de Resultados</i> .....	223
<b>Capítulo VI: Análisis y Discusión de Resultados</b> .....		224
6.1	<b>Análisis de Agregados</b> .....	224
6.2	<b>Análisis de Selección del Ligante</b> .....	227
6.2.1	<i>Parámetro de Tráfico</i> .....	227
6.2.2	<i>Parámetro de Temperatura</i> .....	227
6.3	<b>Análisis del Diseño Volumétrico Superpave</b> .....	228
6.4	<b>Análisis del Ensayo de Lottman Modificado</b> .....	229
6.5	<b>Análisis del Ensayo del Módulo Dinámico</b> .....	230
6.6	<b>Discusión de Resultados.</b> .....	242

<b>Capítulo VII: Conclusiones.....</b>	<b>245</b>
<b>7.1    Generales .....</b>	<b>245</b>
<b>7.2    Específicas.....</b>	<b>245</b>
<b>Capítulo VIII: Recomendaciones .....</b>	<b>247</b>
<b>8.1    Generales .....</b>	<b>247</b>
<b>8.2    Específicas.....</b>	<b>247</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>249</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>251</b>

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Corte transversal de la estructura de un pavimento flexible</i> .....	34
<b>Figura 2</b> <i>Corte transversal de la estructura de un pavimento rígido</i> .....	34
<b>Figura 3</b> <i>Requerimiento de propiedades de consenso</i> .....	36
<b>Figura 4</b> <i>Requerimiento de propiedades de origen</i> .....	37
<b>Figura 5</b> <i>Límites de gradación Superpave TMN de 19 mm</i> .....	39
<b>Figura 6</b> <i>Especificaciones de agregados Superpave</i> .....	40
<b>Figura 7</b> <i>Tolerancia del pesaje dinámico en vehículos llenos</i> .....	42
<b>Figura 8</b> <i>Factores estimados de distribución para carril</i> .....	43
<b>Figura 9</b> <i>Factor de ajuste estimado para presión de neumáticos</i> .....	44
<b>Figura 10</b> <i>Cargas por eje para pavimentos flexibles</i> .....	45
<b>Figura 11</b> <i>Grado de performance PG</i> .....	46
<b>Figura 12</b> <i>Equipos de ensayo Superpave para el ligante asfáltico</i> .....	53
<b>Figura 13</b> <i>Tipos de mezclas asfálticas en caliente metodología Superpave</i> .....	56
<b>Figura 14</b> <i>Curvas de gradación según tamaño máximo nominal Superpave</i> .....	56
<b>Figura 15</b> <i>Gradación de mezclas finas y gruesas en mezclas densas Superpave</i> .....	57
<b>Figura 16</b> <i>Recomendación de materiales a emplear en mezclas densas Superpave</i> .....	57
<b>Figura 17</b> <i>Tipo de mezclas para la carpeta asfáltica según nivel de tráfico Superpave</i> .....	58
<b>Figura 18</b> <i>Recomendación del espesor mínimo según tamaño máximo nominal Superpave</i> .....	59
<b>Figura 19</b> <i>Deformación permanente en pavimento flexible</i> .....	59
<b>Figura 20</b> <i>Grado de severidad de agrietamiento por fatiga</i> .....	60
<b>Figura 21</b> <i>Grado de severidad de agrietamiento por temperatura</i> .....	60
<b>Figura 22</b> <i>Esquema de una muestra HMA compactada Superpave</i> .....	64
<b>Figura 23</b> <i>Elección de la granulometría correcta según la metodología Superpave</i> .....	65
<b>Figura 24</b> <i>Requisitos de compactación en el compactador giratorio</i> .....	66
<b>Figura 25</b> <i>Resultado del compactador para contenido óptimo de asfalto</i> .....	68
<b>Figura 26</b> <i>Control de especímenes para ensayo de sensibilidad al humedecimiento</i> .....	69
<b>Figura 27</b> <i>Curva maestra de módulo dinámico</i> .....	70
<b>Figura 28</b> <i>Gráfico de esfuerzo vs. deformación durante el ensayo de <math>E^*</math></i> .....	71
<b>Figura 29</b> <i>Curvas isométricas a (módulo dinámico) y b (ángulo de fase)</i> .....	72
<b>Figura 30</b> <i>Gráfico de Cole – Cole de material reológico</i> .....	73

<b>Figura 31</b> <i>Gráfico Black Space de material reológico</i> .....	73
<b>Figura 32</b> <i>Formato de recolección de datos para aforo vehicular</i> .....	79
<b>Figura 33</b> <i>Formato de recolección de datos de temperatura</i> .....	79
<b>Figura 34</b> <i>Formato de ensayo de equivalente de arena</i> .....	80
<b>Figura 35</b> <i>Formato de ensayo de granulometría por tamizado</i> .....	80
<b>Figura 36</b> <i>Formato de ensayo de gravedad específica y absorción en finos</i> .....	81
<b>Figura 37</b> <i>Formato de ensayo de peso específico y absorción en gruesos</i> .....	81
<b>Figura 38</b> <i>Formato de ensayo de abrasión de los Ángeles</i> .....	81
<b>Figura 39</b> <i>Formato de ensayo de partículas fracturadas en agregado grueso</i> .....	82
<b>Figura 40</b> <i>Formato de ensayo de angularidad del agregado fino</i> .....	82
<b>Figura 41</b> <i>Formato de ensayo en terrones y partículas desmenuzables</i> .....	82
<b>Figura 42</b> <i>Formato de ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio</i> .....	83
<b>Figura 43</b> <i>Formato de ensayo de módulo dinámico</i> .....	83
<b>Figura 44</b> <i>Formato de ensayo de Lottman modificado</i> .....	84
<b>Figura 45</b> <i>Formato de ensayo de diseño Superpave</i> .....	85
<b>Figura 46</b> <i>Cantidad mínima de muestreo</i> .....	88
<b>Figura 47</b> <i>Ubicación cantera Carmen Bonita Cay Cay</i> .....	89
<b>Figura 48</b> <i>Ubicación cantera Vicho San Salvador</i> .....	90
<b>Figura 49</b> <i>Ubicación cantera Amaru San Salvador</i> .....	91
<b>Figura 50</b> <i>Huso granulométrico de Superpave para agregado</i> .....	92
<b>Figura 51</b> <i>Número de esferas según tipo de gradación</i> .....	99
<b>Figura 52</b> <i>Pesos retenidos según tamiz agregado fino</i> .....	101
<b>Figura 53</b> <i>Pesos retenidos según tamiz agregado grueso</i> .....	101
<b>Figura 54</b> <i>Peso mínimo de muestra de arcilla y partículas desmenuzables</i> .....	103
<b>Figura 55</b> <i>Valores de angularidad en función del nivel de tráfico</i> .....	107
<b>Figura 56</b> <i>Modelos matemáticos para construcción de curvas maestras</i> .....	118
<b>Figura 57</b> <i>Gráfico de Fuller – Superpave</i> .....	126
<b>Figura 58</b> <i>Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG</i> .....	147
<b>Figura 59</b> <i>Curvas mínimas y continuas de densificación SGC - mezcla convencional</i> .....	151
<b>Figura 60</b> <i>Relación de porcentajes (vacío – asfalto) en mezclas convencionales</i> .....	154
<b>Figura 61</b> <i>Relación (vacíos de agregado mineral – asfalto) en mezclas convencionales</i> .....	154



<b>Figura 62</b> <i>Relación (vacíos llenos de C.A. – asfalto) en mezclas convencionales</i> .....	155
<b>Figura 63</b> <i>Relación (polvo asfalto – asfalto) en mezclas convencionales</i> .....	155
<b>Figura 64</b> <i>Relación de porcentajes (compactación N inicial – asfalto) en mezclas convencionales</i> .....	156
<b>Figura 65</b> <i>Relación de porcentajes (compactación N diseño – asfalto) en mezclas convencionales</i> .....	156
<b>Figura 66</b> <i>Curvas mínimas y continuas de densificación SGC - mezcla modificada</i> .....	159
<b>Figura 67</b> <i>Relación de porcentajes (vacío – asfalto) en mezclas modificadas</i> .....	162
<b>Figura 68</b> <i>Relación (vacíos de agregado mineral – asfalto) en mezclas modificadas</i> .....	163
<b>Figura 69</b> <i>Relación (vacíos llenos de C.A. – asfalto) en mezclas modificadas</i> .....	163
<b>Figura 70</b> <i>Relación (polvo asfalto – asfalto) en mezclas modificadas</i> .....	164
<b>Figura 71</b> <i>Relación de porcentajes (compactación N inicial – asfalto) en mezclas modificadas</i> .....	164
<b>Figura 72</b> <i>Relación de porcentajes (compactación N diseño – asfalto) en mezclas modificadas</i> .....	165
<b>Figura 73</b> <i>Comportamiento gráfico ensayo muestra 01 (10 Hz - 5°C) - mezcla convencional</i> .....	167
<b>Figura 74</b> <i>Comportamiento gráfico ensayo muestra 02 (1 Hz - 5°C) - mezcla convencional</i> .....	168
<b>Figura 75</b> <i>Comportamiento gráfico ensayo muestra 03 (0.1 Hz - 5°C) - mezcla convencional</i> .....	169
<b>Figura 76</b> <i>Comportamiento gráfico ensayo muestra 04 (10 Hz - 20°C) - mezcla convencional</i> .....	170
<b>Figura 77</b> <i>Comportamiento gráfico ensayo muestra 05 (1 Hz - 20°C) - mezcla convencional</i> .....	171
<b>Figura 78</b> <i>Comportamiento gráfico ensayo muestra 06 (0.1 Hz - 20°C) - mezcla convencional</i> .....	172
<b>Figura 79</b> <i>Comportamiento gráfico ensayo muestra 07 (10 Hz - 40°C) - mezcla convencional</i> .....	173
<b>Figura 80</b> <i>Comportamiento gráfico ensayo muestra 08 (1 Hz - 40°C) - mezcla convencional</i> .....	174
<b>Figura 81</b> <i>Comportamiento gráfico ensayo muestra 09 (0.1 Hz - 40°C) - mezcla convencional</i> .....	175
<b>Figura 82</b> <i>Curva isotérmica módulo (Mpa) vs. frecuencia (Hz) mezcla convencional</i> .....	177
<b>Figura 83</b> <i>Curva Black Space módulo (Mpa) vs. ángulo de fase (°) mezcla convencional</i> .....	179
<b>Figura 84</b> <i>Curva Cole-Cole <math>E^*</math>(elástica) vs. <math>E^{**}</math> (viscosa) mezcla convencional</i> .....	181

<b>Figura 85</b> <i>Calibración y ajuste de Cole-Cole de mezcla asfáltica convencional</i> .....	182
<b>Figura 86</b> <i>Curva maestra de mezcla asfáltica convencional – F. sigmoidal Pitra ImoDin</i> .....	185
<b>Figura 87</b> <i>Comportamiento gráfico ensayo muestra 01 (10 Hz - 5°C) - mezcla modificada</i> ....	186
<b>Figura 88</b> <i>Comportamiento gráfico ensayo muestra 02 (1 Hz - 5°C) - mezcla modificada</i> .....	187
<b>Figura 89</b> <i>Comportamiento gráfico ensayo muestra 03 (0.1 Hz - 5°C) - mezcla modificada</i> ...	188
<b>Figura 90</b> <i>Comportamiento gráfico ensayo muestra 04 (10 Hz - 20°C) - mezcla modificada</i> ..	189
<b>Figura 91</b> <i>Comportamiento gráfico ensayo muestra 05 (1 Hz - 20°C) - mezcla modificada</i> ....	190
<b>Figura 92</b> <i>Comportamiento gráfico ensayo muestra 06 (0.1 Hz - 20°C) - mezcla modificada</i> .	191
<b>Figura 93</b> <i>Comportamiento gráfico ensayo muestra 07 (10 Hz - 40°C) - mezcla modificada</i> ..	192
<b>Figura 94</b> <i>Comportamiento gráfico ensayo muestra 08 (1 Hz - 40°C) - mezcla modificada</i> ....	193
<b>Figura 95</b> <i>Comportamiento gráfico ensayo muestra 09 (0.1 Hz - 40°C) - mezcla modificada</i> .	194
<b>Figura 96</b> <i>Curva isotérmica módulo (Mpa) vs. frecuencia (Hz) mezcla modificada</i> .....	196
<b>Figura 97</b> <i>Curva Black Space módulo (Mpa) vs. ángulo de fase (°) mezcla modificada</i> .....	198
<b>Figura 98</b> <i>Curva Cole-Cole <math>E^*</math> (elástica) vs. <math>E^{**}</math> (viscosa) mezcla modificada</i> .....	201
<b>Figura 99</b> <i>Calibración y ajuste de Cole-Cole de mezcla asfáltica modificada</i> .....	202
<b>Figura 100</b> <i>Curva maestra de mezcla asfáltica modificada – F. sigmoidal Pitra ImoDin</i> .....	204
<b>Figura 101</b> <i>Gráficas de normalidad mezcla convencional</i> .....	208
<b>Figura 102</b> <i>Gráficas de normalidad mezcla modificada</i> .....	208
<b>Figura 103</b> <i>Gráficas de boxplot mezcla convencional y modificada</i> .....	209
<b>Figura 104</b> <i>Gráficas de dispersión Log (E) vs. temperatura (C°)</i> .....	221
<b>Figura 105</b> <i>Gráficas de dispersión Log (E) vs. frecuencia (C°)</i> .....	221
<b>Figura 106</b> <i>Requerimiento de propiedades de consenso Superpave</i> .....	224
<b>Figura 107</b> <i>Requerimiento de propiedades de origen Superpave</i> .....	224
<b>Figura 108</b> <i>Parámetros volumétricos para un diseño de mezcla</i> .....	228
<b>Figura 109</b> <i>Requerimientos para prueba de tracción indirecta para Superpave</i> .....	229
<b>Figura 110</b> <i>Comparación de curvas isométricas convencional vs. modificado</i> .....	230
<b>Figura 111</b> <i>Comparación de curvas Black Space convencional vs. modificado</i> .....	233
<b>Figura 112</b> <i>Comparación de curvas Cole-Cole convencional vs. modificado</i> .....	236
<b>Figura 113</b> <i>Análisis comparativo de curvas Cole-Cole convencional vs. modificada</i> .....	239

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Requerimientos para los agregados gruesos MTC</i> .....	38
<b>Tabla 2</b> <i>Requerimientos para los agregados finos MTC</i> .....	38
<b>Tabla 3</b> <i>Requerimiento de graduación Superpave TMN de 19 mm MTC</i> .....	41
<b>Tabla 4</b> <i>Clasificación Superpave para ligante asfálticos</i> .....	47
<b>Tabla 5</b> <i>Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG parte 1</i> .....	47
<b>Tabla 6</b> <i>Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG parte 2</i> .....	48
<b>Tabla 7</b> <i>Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG parte 3</i> .....	48
<b>Tabla 8</b> <i>Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG parte 4</i> .....	49
<b>Tabla 9</b> <i>Ligante asfáltico en función del nivel de tráfico y temperatura</i> .....	52
<b>Tabla 10</b> <i>Especificaciones de vacíos mínimos en el agregado mineral Superpave</i> .....	67
<b>Tabla 11</b> <i>Especificaciones generales para MAC tipo Superpave</i> .....	67
<b>Tabla 12</b> <i>Especificaciones de vacíos llenos con asfalto Superpave</i> .....	67
<b>Tabla 13</b> <i>Especificaciones de vacíos llenos con asfalto Superpave</i> .....	68
<b>Tabla 14</b> <i>Tamaño de la muestra</i> .....	77
<b>Tabla 15</b> <i>Normativas de los ensayos para agregados, ligante y mezcla asfáltica</i> .....	87
<b>Tabla 16</b> <i>Datos cantera de Carmen Bonita Cay Cay</i> .....	89
<b>Tabla 17</b> <i>Datos cantera de Vicho San Salvador</i> .....	90
<b>Tabla 18</b> <i>Datos cantera Amaru San Salvador</i> .....	91
<b>Tabla 19</b> <i>Pesos del análisis granulométrico de agregado fino – cantera Amaru</i> .....	93
<b>Tabla 20</b> <i>Pesos del análisis granulométrico de agregado grueso – cantera Amaru</i> .....	93
<b>Tabla 21</b> <i>Pesos del análisis granulométrico de agregado fino – cantera Carmen Bonita</i> .....	94
<b>Tabla 22</b> <i>Pesos del análisis granulométrico de agregado grueso – cantera Carmen Bonita</i> .....	94
<b>Tabla 23</b> <i>Pesos del análisis granulométrico de agregado fino – cantera Vicho</i> .....	95
<b>Tabla 24</b> <i>Pesos del análisis granulométrico de agregado grueso – cantera Vicho</i> .....	95
<b>Tabla 25</b> <i>Gravedad específica de agregado fino cantera Carmen Bonita – arena triturada</i> .....	96
<b>Tabla 26</b> <i>Gravedad específica de agregado fino cantera Vicho – arena triturada</i> .....	96
<b>Tabla 27</b> <i>Gravedad específica de agregado fino cantera Amaru - arena</i> .....	97
<b>Tabla 28</b> <i>Gravedad específica de agregado grueso cantera Amaru – piedra chancada</i> .....	97
<b>Tabla 29</b> <i>Gravedad de específica de agregado grueso cantera Vicho – piedra chancada</i> .....	98
<b>Tabla 30</b> <i>Gravedad de específica de agregado grueso Carmen Bonita – piedra</i> .....	98

<b>Tabla 31</b> <i>Gradación para muestra de agregado.....</i>	99
<b>Tabla 32</b> <i>Abrasión de Los Ángeles cantera Carmen Bonita – piedra .....</i>	100
<b>Tabla 33</b> <i>Abrasión de Los Ángeles cantera Amaru – piedra chancada.....</i>	100
<b>Tabla 34</b> <i>Abrasión de Los Ángeles cantera Vicho – piedra chancada .....</i>	100
<b>Tabla 35</b> <i>Durabilidad al sulfato de magnesio cantera Amaru – arena .....</i>	102
<b>Tabla 36</b> <i>Durabilidad al sulfato de magnesio cantera Amaru – piedra chancada.....</i>	102
<b>Tabla 37</b> <i>Arcilla en terrones cantera Amaru – arena .....</i>	103
<b>Tabla 38</b> <i>Arcilla en terrones cantera Carmen Bonita – arena .....</i>	103
<b>Tabla 39</b> <i>Partículas desmenuzables cantera Amaru – piedra chancada.....</i>	104
<b>Tabla 40</b> <i>Partículas desmenuzables cantera Carmen Bonita – piedra.....</i>	104
<b>Tabla 41</b> <i>Caras fracturadas cantera Amaru – piedra chancada .....</i>	105
<b>Tabla 42</b> <i>Caras fracturadas cantera Carmen Bonita - piedra.....</i>	105
<b>Tabla 43</b> <i>Caras fracturadas cantera Vicho – piedra chancada.....</i>	105
<b>Tabla 44</b> <i>Equivalente de arena cantera Amaru – arena triturada .....</i>	106
<b>Tabla 45</b> <i>Equivalente de arena cantera Amaru – arena lavada .....</i>	106
<b>Tabla 46</b> <i>Equivalente de arena cantera Carmen Bonita – arena fina .....</i>	107
<b>Tabla 47</b> <i>Equivalente de arena cantera Vicho – arena fina .....</i>	107
<b>Tabla 48</b> <i>Angularidad del agregado fino cantera Amaru – arena .....</i>	108
<b>Tabla 49</b> <i>Angularidad del agregado fino cantera Carmen Bonita – arena.....</i>	108
<b>Tabla 50</b> <i>Aforo vehicular (vehículos ligeros y buses) y cálculo de TPDS.....</i>	109
<b>Tabla 51</b> <i>Aforo vehicular (vehículos ligeros y camiones) y cálculo de TPDS.....</i>	110
<b>Tabla 52</b> <i>Cálculo de pesos corregidos para buses (vehículos llenos) .....</i>	110
<b>Tabla 53</b> <i>Cálculo de pesos corregidos para camiones (vehículos llenos).....</i>	111
<b>Tabla 54</b> <i>Temperaturas de los 7 días consecutivos más calientes y promedio por año .....</i>	112
<b>Tabla 55</b> <i>Temperatura mínima para cada año de estudio .....</i>	113
<b>Tabla 56</b> <i>Combinación granulométrica para el diseño de mezcla .....</i>	114
<b>Tabla 57</b> <i>Requisitos de la mezcla asfáltica Superpave .....</i>	115
<b>Tabla 58</b> <i>Datos de entrada del compactador giratorio Superpave .....</i>	115
<b>Tabla 59</b> <i>Porciones de la MAC para el ensayo de TSR .....</i>	116
<b>Tabla 60</b> <i>Datos de ensayo muestra 01 (10 Hz - 5°C) - mezcla convencional.....</i>	119
<b>Tabla 61</b> <i>Datos de ensayo muestra 02 (1 Hz - 5°C) - mezcla convencional.....</i>	119

<b>Tabla 62</b> Datos de ensayo muestra 03 (0.1 Hz - 5°C) - mezcla convencional.....	119
<b>Tabla 63</b> Datos de ensayo muestra 04 (10 Hz - 20°C) - mezcla convencional.....	120
<b>Tabla 64</b> Datos de ensayo muestra 05 (1 Hz - 20°C) - mezcla convencional.....	120
<b>Tabla 65</b> Datos de ensayo muestra 06 (0.1 Hz - 20°C) - mezcla convencional.....	120
<b>Tabla 66</b> Datos de ensayo muestra 07 (10 Hz - 40°C) - mezcla convencional.....	121
<b>Tabla 67</b> Datos de ensayo muestra 08 (1 Hz - 40°C) - mezcla convencional.....	121
<b>Tabla 68</b> Datos de ensayo muestra 09 (0.1 Hz - 40°C) - mezcla convencional.....	121
<b>Tabla 69</b> Datos de ensayo muestra 01 (10 Hz - 5°C) - mezcla modificada .....	122
<b>Tabla 70</b> Datos de ensayo muestra 02 (1 Hz - 5°C) - mezcla modificada .....	122
<b>Tabla 71</b> Datos de ensayo muestra 03 (0.1 Hz - 5°C) - mezcla modificada .....	122
<b>Tabla 72</b> Datos de ensayo muestra 04 (10 Hz - 20°C) - mezcla modificada .....	123
<b>Tabla 73</b> Datos de ensayo muestra 05 (1 Hz - 20°C) - mezcla modificada .....	123
<b>Tabla 74</b> Datos de ensayo muestra 06 (0.1 Hz - 20°C) - mezcla modificada .....	123
<b>Tabla 75</b> Datos de ensayo muestra 07 (10 Hz - 40°C) - mezcla modificada .....	124
<b>Tabla 76</b> Datos de ensayo muestra 08 (1 Hz - 40°C) - mezcla modificada .....	124
<b>Tabla 77</b> Datos de ensayo muestra 09 (0.1 Hz - 40°C) - mezcla modificada .....	124
<b>Tabla 78</b> Valores obtenidos de las tres combinaciones para el diseño de mezcla .....	125
<b>Tabla 79</b> Valores obtenidos de la combinación de agregados .....	126
<b>Tabla 80</b> Resistencia del agregado fino al sulfato de magnesio cantera Amaru.....	127
<b>Tabla 81</b> Resistencia del agregado grueso al sulfato de magnesio cantera Amaru .....	127
<b>Tabla 82</b> Valores obtenidos de G.E. y absorción en agregado fino cantera Carmen Bonita....	128
<b>Tabla 83</b> Valores obtenidos de G.E. y absorción en agregado fino cantera Vicho .....	129
<b>Tabla 84</b> Valores obtenidos de G.E. y absorción en agregado fino cantera Amaru .....	129
<b>Tabla 85</b> Valores obtenidos de G.E. y absorción en agregado grueso cantera Amaru.....	130
<b>Tabla 86</b> Valores obtenidos de G.E. y absorción en agregado grueso cantera Vicho .....	130
<b>Tabla 87</b> Valores obtenidos de G.E. y absorción en agregado grueso cantera Carmen Bonita .....	131
<b>Tabla 88</b> Valores obtenidos de abrasión de Los Ángeles cantera Amaru .....	131
<b>Tabla 89</b> Valores obtenidos de abrasión de Los Ángeles cantera Vicho .....	132
<b>Tabla 90</b> Valores obtenidos de abrasión de Los Ángeles cantera Carmen Bonita.....	132
<b>Tabla 91</b> Valores obtenidos de arcilla en terrones cantera Amaru .....	132



<b>Tabla 92</b> <i>Valores obtenidos de arcilla en terrones cantera Carmen Bonita</i> .....	133
<b>Tabla 93</b> <i>Valores obtenidos de partículas desmenuzables cantera Amaru</i> .....	133
<b>Tabla 94</b> <i>Valores obtenidos de partículas desmenuzables cantera Carmen Bonita</i> .....	133
<b>Tabla 95</b> <i>Valores obtenidos de partículas fracturadas cantera Amaru</i> .....	134
<b>Tabla 96</b> <i>Valores obtenidos de partículas fracturadas cantera Vicho</i> .....	135
<b>Tabla 97</b> <i>Valores obtenidos de partículas fracturadas cantera Carmen Bonita</i> .....	135
<b>Tabla 98</b> <i>Valores obtenidos de equivalente de arena lavada cantera Amaru</i> .....	136
<b>Tabla 99</b> <i>Valores obtenidos de equivalente de arena triturada cantera Amaru</i> .....	136
<b>Tabla 100</b> <i>Valores obtenidos de equivalente de arena cantera Vicho</i> .....	136
<b>Tabla 101</b> <i>Valores obtenidos de equivalente de arena cantera Carmen Bonita</i> .....	137
<b>Tabla 102</b> <i>Valores obtenidos de angularidad del agregado fino cantera Amaru</i> .....	137
<b>Tabla 103</b> <i>Valores obtenidos de angularidad del agregado fino cantera Carmen Bonita</i> .....	138
<b>Tabla 104</b> <i>Flujo vehicular por unidades de peaje estación de Sicuyani 1/ según anexo 09 INEI</i> .....	139
<b>Tabla 105</b> <i>Serie histórica de factores de corrección de estacionalidad</i> .....	139
<b>Tabla 106</b> <i>Factor de equivalencia y factor camión para buses vehículo lleno</i> .....	140
<b>Tabla 107</b> <i>Factor de equivalencia y factor camión para buses vehículo vacío</i> .....	141
<b>Tabla 108</b> <i>Factor de equivalencia y factor camión para camiones vehículo lleno</i> .....	141
<b>Tabla 109</b> <i>Factor de equivalencia y factor camión para camiones vehículo vacío</i> .....	142
<b>Tabla 110</b> <i>Cálculo de tráfico para diseño de ejes equivalentes ESALs</i> .....	144
<b>Tabla 111</b> <i>Parámetros de cálculo para temperatura máxima y mínima</i> .....	146
<b>Tabla 112</b> <i>Temperatura máxima y mínima del pavimento según los modelos matemáticos</i> .....	147
<b>Tabla 113</b> <i>Valores para el diseño volumétrico Superpave</i> .....	149
<b>Tabla 114</b> <i>Contenido teórico de asfalto - AASHTO PP 28 para mezclas convencionales</i> .....	149
<b>Tabla 115</b> <i>Gravedad específica bulk de la briqueta para mezclas convencionales</i> .....	149
<b>Tabla 116</b> <i>Gravedad específica máxima – RICE para mezclas convencionales</i> .....	150
<b>Tabla 117</b> <i>Porcentaje de vacíos de cada muestra para mezclas convencionales</i> .....	150
<b>Tabla 118</b> <i>Densificación de la muestra de prueba para mezclas convencionales</i> .....	150
<b>Tabla 119</b> <i>Contenido de asfalto. para alcanzar un 4 % de vacíos para mezclas convencionales</i> .....	151
<b>Tabla 120</b> <i>Valores volumétricos reales mezcla convencional</i> .....	152

<b>Tabla 121</b> <i>Propiedades gravimétricas de mezclas convencionales parte 1</i> .....	152
<b>Tabla 122</b> <i>Propiedades gravimétricas de mezclas convencionales parte 2</i> .....	152
<b>Tabla 123</b> <i>Volumetría de la mezcla asfáltica convencional parte 1</i> .....	153
<b>Tabla 124</b> <i>Volumetría de la mezcla asfáltica convencional parte 2</i> .....	153
<b>Tabla 125</b> <i>Propiedades volumétricas de la MAC convencional</i> .....	153
<b>Tabla 126</b> <i>Parámetros Superpave - contenido óptimo de asfalto en mezclas asfálticas modificadas</i> .....	157
<b>Tabla 127</b> <i>Contenido teórico de asfalto - AASHTO PP 28 para mezclas asfálticas modificadas</i> .....	157
<b>Tabla 128</b> <i>Gravedad específica bulk de la briqueta para MAC modificada</i> .....	157
<b>Tabla 129</b> <i>Gravedad específica máxima – RICE para mezclas asfálticas modificadas</i> .....	158
<b>Tabla 130</b> <i>Porcentaje de vacío de cada muestra asfáltica modificada</i> .....	158
<b>Tabla 131</b> <i>Densificación para la muestra de prueba asfáltica modificada</i> .....	159
<b>Tabla 132</b> <i>Contenido de asfalto para alcanzar un 4 % de vacíos</i> .....	159
<b>Tabla 133</b> <i>Valores volumétricos reales mezcla modificada</i> .....	160
<b>Tabla 134</b> <i>Propiedades gravimétricas de mezcla modificada parte 1</i> .....	160
<b>Tabla 135</b> <i>Propiedades gravimétricas de mezcla modificada parte 2</i> .....	161
<b>Tabla 136</b> <i>Volumetría de la mezcla asfáltica modificada parte 1</i> .....	161
<b>Tabla 137</b> <i>Volumetría de la mezcla asfáltica modificada parte 2</i> .....	161
<b>Tabla 138</b> <i>Propiedades volumétricas de la MAC modificada</i> .....	162
<b>Tabla 139</b> <i>Parámetros medidos ensayo de tracción indirecta Lottman modificado</i> .....	166
<b>Tabla 140</b> <i>Parámetros medidos ensayo muestra 01 (10 Hz - 5°C) - mezcla convencional</i> .....	167
<b>Tabla 141</b> <i>Parámetros medidos ensayo muestra 02 (1 Hz 5°C) - mezcla convencional</i> .....	168
<b>Tabla 142</b> <i>Parámetros medidos ensayo muestra 03 (0.1 Hz 5°C) - mezcla convencional</i> .....	169
<b>Tabla 143</b> <i>Parámetros medidos ensayo muestra 04 (10 Hz 20°C) - mezcla convencional</i> .....	170
<b>Tabla 144</b> <i>Parámetros medidos ensayo muestra 05 (1 Hz 20°C) - mezcla convencional</i> .....	171
<b>Tabla 145</b> <i>Parámetros medidos ensayo muestra 06 (0.1 Hz 20°C) - mezcla convencional</i> .....	172
<b>Tabla 146</b> <i>Parámetros medidos ensayo muestra 07 (10 Hz 40°C) - mezcla convencional</i> .....	173
<b>Tabla 147</b> <i>Parámetros medidos ensayo muestra 08 (1 Hz 40°C) - mezcla convencional</i> .....	174
<b>Tabla 148</b> <i>Parámetros medidos ensayo muestra 09 (0.1 Hz 40°C) - mezcla convencional</i> .....	175
<b>Tabla 149</b> <i>Parámetros medidos ensayo muestra 01 (10 Hz 5°C) - mezcla modificada</i> .....	186

<b>Tabla 150</b>	<i>Parámetros medidos ensayo muestra 02 (1 Hz 5°C) - mezcla modificada</i>	187
<b>Tabla 151</b>	<i>Parámetros medidos ensayo muestra 03 (0.1 Hz 5°C) - mezcla modificada</i>	188
<b>Tabla 152</b>	<i>Parámetros medidos ensayo muestra 04 (10 Hz 20°C) - mezcla modificada</i>	189
<b>Tabla 153</b>	<i>Parámetros medidos ensayo muestra 05 (1 Hz 20°C) - mezcla modificada</i>	190
<b>Tabla 154</b>	<i>Parámetros medidos ensayo muestra 06 (0.1 Hz 20°C) - mezcla modificada</i>	191
<b>Tabla 155</b>	<i>Parámetros medidos ensayo muestra 07 (10 Hz 40°C) - mezcla modificada</i>	192
<b>Tabla 156</b>	<i>Parámetros medidos ensayo muestra 08 (1 Hz 40°C) - mezcla modificada</i>	193
<b>Tabla 157</b>	<i>Parámetros medidos ensayo muestra 09 (0.1 Hz 40°C) - mezcla modificada</i>	194
<b>Tabla 158</b>	<i>Resumen de parámetros obtenidos de mezcla modificada y convencional</i>	205
<b>Tabla 159</b>	<i>Parámetros estadísticos descriptivos para mezcla convencional y modificada</i>	206
<b>Tabla 160</b>	<i>Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk (<math>p &lt; 0.05</math>)</i>	207
<b>Tabla 161</b>	<i>Prueba ANOVA de Welch para temperaturas</i>	209
<b>Tabla 162</b>	<i>Prueba ANOVA de Welch para frecuencias</i>	211
<b>Tabla 163</b>	<i>Prueba Post Hoc para temperaturas (comparación)</i>	212
<b>Tabla 164</b>	<i>Prueba Post Hoc para frecuencias (comparación)</i>	213
<b>Tabla 165</b>	<i>Prueba Kruskal-Wallis para temperaturas (comparación)</i>	213
<b>Tabla 166</b>	<i>Prueba Kruskal-Wallis para frecuencias (comparación)</i>	214
<b>Tabla 167</b>	<i>Prueba UNIANOVA mezcla modificada y convencional</i>	215
<b>Tabla 168</b>	<i>Prueba de la correlación de Pearson global</i>	219
<b>Tabla 169</b>	<i>Prueba de la correlación de Pearson por tipo de mezcla</i>	220
<b>Tabla 170</b>	<i>Cálculo de presión de neumático por tipo de eje</i>	222
<b>Tabla 171</b>	<i>Análisis de parámetros de control de calidad cantera Amaru</i>	225
<b>Tabla 172</b>	<i>Análisis de parámetros de control de calidad cantera Carmen Bonita</i>	225
<b>Tabla 173</b>	<i>Análisis de parámetros de control de calidad cantera Vicho</i>	225
<b>Tabla 174</b>	<i>Análisis de selección de PG (performance grade)</i>	227
<b>Tabla 175</b>	<i>Especificaciones del asfalto para un PG 64-16</i>	228
<b>Tabla 176</b>	<i>Análisis de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica convencional</i>	229
<b>Tabla 177</b>	<i>Análisis de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica modificada</i>	229
<b>Tabla 178</b>	<i>Análisis de parámetros del ensayo de Lottman modificado</i>	230
<b>Tabla 179</b>	<i>Análisis comparativo de temperaturas mezcla convencional vs modificada</i>	231
<b>Tabla 180</b>	<i>Análisis comparativo de factor de disipación convencional vs modificado</i>	235

<b>Tabla 181</b> <i>Análisis de los valores del ajuste sigmoidal</i> .....	241
--	-----

## Lista de Anexos

<b>Anexo A</b> Tabla de matriz de consistencia .....	251
<b>Anexo B</b> Estudio de Tráfico Vehicular para Diseño de Pavimento .....	253
<b>Anexo C</b> Estudio de Temperatura para Diseño de Pavimento .....	271
<b>Anexo D</b> Informe de los ensayos de laboratorio para agregados – UNSAAC .....	298
<b>Anexo E</b> Panel fotográfico de los ensayos para agregados .....	339
<b>Anexo F</b> Certificado de uso de laboratorio expedido por la UNSAAC .....	354
<b>Anexo G</b> Informe de los ensayos para mezcla asfáltica – INGEOCONTROL S.A.C .....	355
<b>Anexo H</b> Certificado de uso de laboratorio expedido por INGEOCONTROL S.A.C .....	388
<b>Anexo I</b> Panel fotográfico para MAC convencional y modificada .....	389
<b>Anexo J</b> Certificado de calibración de equipos expedido por INGEOCONTROL S.A.C .....	394



### Tabla de Abreviaturas

ABREVIATURA	DEFINICIÓN
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ANOVA	Analysis of Variance
ASTM	American Society for Testing and Materials
BBR	Reómetro de Viga Flexión
CM	Curva Maestra
D/P	Relación de Polvo/Asfáltico
DSR	Reómetro de Corte Dinámico
DTT	Ensayo de Tensión Directa
E*	Modulo Dinámico Complejo
EE	Ejes Equivalentes
ESAL	Cargas Equivalentes por Eje Simple
FC	Factor de Corrección de Carril
FCA	Factor de Crecimiento Acumulado
FCE	Factor de Corrección de Estacionalidad Promedio
FHWA	Federal Highway Administration
FP	Factor de Ajuste por Presión de Neumáticos
$G_{mm}$	Gravedad Especifica Teórica Máxima sin Vacíos de Aire
$G_{sb}$	Gravedad Especifica Bulk de la Agregado
$G_{se}$	Gravedad Especifica Efectiva del Agregado
HMA	Hot Mix Asphalt
LTPP	Long Term Pavement Performance
MAC	Mezclas Asfálticas en Caliente
MEPDG	Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide
MSCR	Multi Stress Creep Recovery
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
NCHRP	National Cooperative Highway Research Program
NTP	Norma Técnica Peruana
PAV	Presión de Envejecimiento Vessel
$P_{ba}$	Porcentaje de Absorción de Asfalto
$P_{be}$	Contenido de Asfalto Efectivo de la Mezcla
PG	Grado de Desempeño
RAP	Reclaimed Asphalt Pavement
RTFO	Película Fina en Horno Rotatorio
RV	Viscosímetro Rotacional
SBS	Polímero Estireno-Butadieno-Estireno
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
SGC	Compactador Giratorio Superpave
SHRP	Strategic Highway Research Program
SUPERPAVE	Superior Performing Asphalt Pavements

**Tabla de Abreviaturas (Continuación)**

<b>ABREVIATURA</b>	<b>DEFINICIÓN</b>
TMN	Tamaño Máximo Nominal
TPDI	Volumen de Tráfico Diario
TPDS	Volumen de Tráfico Promedio Semanal
TS	Trafico Semanal
TSR	Tensile Strength Ratio
Va	Vacíos de Aire en la Mezcla Compactada
VFA	Vacíos Llenos con Asfalto
VMA	Vacíos en el Agregado Mineral

## Capítulo I: Introducción

### 1.1 Planteamiento del Problema

Las carreteras pavimentadas con asfalto son una parte fundamental de la intercomunicación, crecimiento, progreso y desarrollo de los pueblos; este tipo de pavimentación cubre vías en gran parte del territorio peruano lo cual posibilita el intercambio de recursos (bienes o servicios) necesarios para cubrir las necesidades de la población oportunamente; de esta manera la población puede encarar la mejora económica logrando de esta manera que esta sea más productiva y competitiva. (Bombilla Quispe & Mayta Puma, 2019)

A lo largo del tiempo, las condiciones climáticas y los nuevos escenarios de tráfico, influyen en el deterioro de la infraestructura vial alterando así la capacidad estructural de la vías; este deterioro genera importantes consecuencias debido a que tornan ineficaces los métodos tradicionales de diseño; por ello, es necesario contar con enfoques sobre nuevas tecnologías de diseño y construcción que nos permitan conservar y alargar el tiempo de vida útil de la infraestructura vial de esta manera minimizar los costos de mantenimiento y construcción. (Estrada Escalante, 2017).

En el territorio nacional, el 83.7% de vías están pavimentadas en un total de 22 623 km intervenidos de la red vial nacional; de este porcentaje se estima que alrededor del 75.5% están con asfalto que representa un total de 17 411 km siendo la red vial nacional con mayor porcentaje de asfaltado en comparación a la red vial departamental y vecinal; esto se encuentra por debajo del promedio regional en comparación con otros países de Latinoamérica que tienen carreteras asfaltadas como Uruguay (99%), Argentina (87%) o Chile (84%); al analizar el costo de mantenimiento por km de cada país antes mencionado se tiene que el Perú está por encima del promedio regional un indicador sobre la mala gestión vial o las deficiencias sobre los métodos usados para la construcción y diseño de pavimentos asfaltados. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2024)

En el ámbito nacional, dentro de la normativa vigente, aún se conservan los métodos “tradicionales” para el diseño de pavimentos asfálticos en caliente, métodos empíricos que no consideran un análisis completo y más específico de los diferentes parámetros como las nuevas condiciones climáticas severas, el incremento del tráfico vehicular y la optimización del uso de

recursos; estas nuevas variables permiten brindar un mejor nivel de transitabilidad y serviciabilidad a la población. (Bombilla Quispe & Mayta Puma, 2019)

La “nueva” metodología de diseño de mezclas es del tipo volumétrico; está determinada por la caracterización de los agregados, el grado de desempeño y los nuevos ensayos para el ligante asfáltico; esta metodología viene usándose desde ya más de 30 años en los Estados Unidos; sin embargo, a nivel nacional no se ha implementado, esta metodología propone nuevos indicadores e implementa la simulación del comportamiento funcional en obra de la mezcla a través de los nuevos ensayos característicos lo cual permite una mejor visión sobre el desempeño de la mezcla en la vida real. (Minaya & Ordoñez, 2003, pág. 147)

La producción y colocación del asfalto por diferentes industrias generan que más de medio millón de trabajadores estén expuestos de gases provenientes del asfalto y provoquen malestares (irritación, quemaduras, dolor de cabeza, etc.) a los trabajadores y/a cualquier ser vivo que se encuentre cerca del proceso, para mitigar estos riesgos a la salud se aplica nuevas técnicas como la incorporación de aditivos al asfalto que disminuyen la temperatura de producción y así poder reducir el impacto negativo al medio ambiente. (Montañez Cusco, 2023, Tecnología del Asfalto)

La importancia de aditivos como los polímeros en las mezclas asfálticas nos otorga una ventaja técnica económica en comparación a las mezclas convencionales, esta tecnología permite cumplir con las nuevas solicitudes de clima y tráfico actuales, ya que mejora las características mecánicas de las mezclas y su uso se traduce en pavimentos más duraderos, resistentes y sostenibles, que se refleja en menores costos de mantenimientos y prolongando la vida útil del pavimento. (Bombilla Quispe & Mayta Puma, 2019)

El módulo dinámico viene a ser utilizado para caracterizar el comportamiento viscoelástico; esta metodología permite obtener mejores resultados en la evaluación de este parámetro ya que nos permite evaluar la rigidez de las mezclas asfálticas y de esta manera predecir el comportamiento de éstas a lo largo de tiempo de la vida útil. (Torres, Hernández, Romero, & Torres, 2016)

Adicionalmente, el diseño según la norma bajo los métodos de Marshall y Haveem de diseño de mezclas asfálticas en caliente; es limitado por que no considera todos los parámetros necesarios y con los ensayos de caracterización que proponen no se puede realizar una buena

estimación del verdadero comportamiento de las mezclas asfálticas en servicio; en base a ello, la nueva metodología incorpora nuevos ensayos y nuevos parámetros de diseño con los cuales la caracterización del comportamiento se asemeja más a la realidad. (Torres, Hernández, Romero, & Torres, 2016)

La zona de evaluación, San Sebastián, es uno de los distritos más representativos de la Provincia del Cusco, ya que su posición estratégica es un paso obligatorio para todo tipo de vehículos (transporte pesado o liviano); además de contar en su red vial urbana con varios ramales que desembocan en vías como la Av. de la Cultura, Vía de Evitamiento, entre otras; también cuenta con vías colectoras y locales. (Bombilla Quispe & Mayta Puma, 2019)

En base a lo expuesto; la innovación en nuevas tecnologías permite mejorar la construcción y el diseño de pavimentos flexibles de vías y ofrece una mejora técnica, económica, ambiental y segura en comparación a lo tradicional, es ahí que la aplicación de mezclas asfálticas modificadas con polímeros diseñadas volumétricamente bajo la metodología Superpave para pavimentos flexibles viene a ser una alternativa de solución para los problemas que han sido mencionados en el distrito de San Sebastián.

## **1.2 Formulación del Problema**

### ***1.2.1 Problema General:***

**PG:** ¿Cuál es la influencia de la adición de polímero en el módulo dinámico de mezclas asfálticas modificadas, diseñadas mediante el método volumétrico Superpave, para vías de pavimento flexible en la ciudad del Cusco, 2024?

### ***1.2.2 Problemas Específicos:***

**PE1:** ¿Cuál de las canteras elegidas presenta la mejor selección granulométrica de agregados para el diseño Superpave de mezclas asfálticas modificadas con polímeros en vías de pavimento flexible en Cusco, 2024?

**PE2:** ¿Qué tipo de cemento asfáltico (PG) resulta óptimo para el diseño volumétrico Superpave de mezclas asfálticas modificadas con polímeros en vías de pavimento flexible en Cusco, 2024?

**PE3:** ¿Cómo varían los parámetros volumétricos de vacíos de aire, vacíos llenos de asfalto, vacíos en el agregado mineral y contenido de asfalto efectivo, entre mezclas

asfálticas convencionales y modificadas con polímero diseñadas mediante el método Superpave para vías de pavimento flexible en Cusco, 2024?

**PE4:** ¿En qué medida el comportamiento del módulo dinámico, representado en la curva maestra, las curvas isométricas y el gráfico Black Space, difiere entre mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímero diseñadas con el método Superpave en vías de pavimento flexible en Cusco, 2024?

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

El objetivo de la investigación busca diseñar de manera óptima, con la metodología Superpave, una mezcla modificada con polímero para que tenga un desempeño aceptable, resistente y de mayor duración para las condiciones climáticas y de tráfico en el Cusco, utilizando como indicador de desempeño el módulo dinámico en comparación con una mezcla en caliente convencional.

La finalidad de diseñar volumétricamente una mezcla modificada con polímero bajo la metodología Superpave, es la implementación de nuevos conceptos y nuevas metodologías para el diseño de asfaltos calientes; entre estos nuevos lineamientos podemos tener nuevos criterios en los agregados, ligante asfáltico y el diseño volumétrico de la mezcla reduciendo el desgaste de la superficie, retardando el deterioro, disminuyendo el ahuellamiento y agrietación de la superficie de rodadura; esto para mejorar el desempeño de la mezcla asfáltica.

La aplicación de este método de diseño se presenta como una solución prometedora ya que su aplicación puede generar beneficios a nivel económico, social y técnico ya sea a corto (rehabilitaciones y mantenimientos) o a largo plazo (diseño de mezclas en proyectos); contribuyendo de esta manera en el avance del conocimiento en nuestra región y a la solución de problemas respecto a los pavimentos flexibles.

Esta investigación aportará sustancialmente al conocimiento de los estudiantes de ingeniería generando nuevas investigaciones dentro del campo de mezclas asfálticas diseñadas bajo la metodología Superpave.

## 1.4 Objetivos de la Investigación

### 1.4.1 *Objetivo General*

**OG:** Evaluar la influencia de la adición de polímero en el módulo dinámico de mezclas asfálticas modificadas, diseñadas mediante el método volumétrico Superpave, para vías de pavimento flexible, Cusco 2024.

### 1.4.2 *Objetivos Específicos*

**OE1:** Identificar, entre las canteras elegidas, la mejor selección granulométrica de agregados para el óptimo diseño Superpave de mezclas asfálticas modificadas con polímeros en vías de pavimento flexible, Cusco 2024.

**OE2:** Precisar el tipo de cemento asfáltico (PG) óptimo para mezclas asfálticas modificadas con polímeros diseñadas mediante el método Superpave en vías de pavimento flexible, Cusco 2024.

**OE3:** Comparar los parámetros volumétricos de vacíos de aire, vacíos llenos de asfalto, vacíos en el agregado mineral y contenido de asfalto efectivo; entre mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímero, diseñadas mediante el método Superpave para vías de pavimento flexible, Cusco 2024.

**OE4:** Analizar el comportamiento del módulo dinámico mediante la curva maestra, las curvas isométricas y el gráfico Black Space, entre mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímero diseñadas con el método Superpave en vías de pavimento flexible, Cusco 2024.

## 1.5 Hipótesis

### 1.5.1 *Hipótesis General*

**HG:** La adición de polímero modifica el módulo dinámico de mezclas asfálticas diseñadas mediante el método Superpave, influyendo en su desempeño en vías de pavimento flexible en Cusco, 2024.

### ***1.5.2 Hipótesis Específicas***

**HE1:** La selección granulométrica de agregados incide en el diseño Superpave de mezclas asfálticas modificadas con polímeros para vías de pavimento flexible en Cusco, 2024.

**HE2:** El grado de desempeño (PG) del cemento asfáltico condiciona el comportamiento de mezclas asfálticas modificadas con polímeros diseñadas con el método Superpave en vías de pavimento flexible en Cusco, 2024.

**HE3:** Los parámetros volumétricos de vacíos de aire, vacíos llenos de asfalto, vacíos en el agregado mineral y contenido de asfalto efectivo, varían entre mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímero diseñadas mediante el método Superpave en Cusco, 2024.

**HE4:** El módulo dinámico, representado en la curva maestra, las curvas isométricas y el gráfico Black Space, presenta diferencias entre mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímero diseñadas con el método Superpave en Cusco, 2024.



## Capítulo II: Marco Teórico

### 2.1 Antecedentes de la Investigación

#### 2.1.1 Antecedentes Internacionales

Los autores Luis Fernando Gutiérrez-Palacios, Jorge de Jesús Jácome-Martínez, Edgar Geovanny Cuellar-López y Andrés Felipe Hernández-Silva de la Universidad Central de Colombia (2021) presentaron la tesis: **"Impacto de la adición de RAP en las propiedades mecánicas y de desempeño de mezclas asfálticas diseñadas con el método Superpave para rehabilitación de pavimentos"** que pretende evaluar y caracterizar el uso del asfalto reciclado como modificador de las propiedades mecánicas diseñadas bajo la metodología Superpave para la rehabilitación de pavimentos. La investigación analizó la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción indirecta, el módulo de rigidez, la susceptibilidad a la deformación permanente, la resistencia al agrietamiento por fatiga y la resistencia al agua, incorporando RAP como aditivo sostenible para mejorar el desempeño y reducir el impacto ambiental. Para ello, se elaboraron briquetas con contenidos de RAP del 10 %, 20 % y 30 %, variando las temperaturas de producción entre 30 °C, 50 °C, 70 °C y 90 °C. Los mejores resultados se obtuvieron con un 23 % de RAP y una temperatura de 70 °C, combinación que mantuvo niveles óptimos de resistencia ante las sollicitaciones. Se concluyó que la adición controlada de RAP incrementa la capacidad mecánica de la mezcla, mejorando su resistencia frente a cargas cíclicas y repetidas, lo que confirma que la modificación del ligante influye en el comportamiento del módulo dinámico.

La autora Dr. Cristina Solarte Vanegas, en cooperación con la Universidad Politécnica de Valencia presento la tesis: **"Efecto en el módulo dinámico de la mezcla asfáltica modificada con añadido de residuos triturados de la industria cerámica (2022)"**; centrada en evaluar la influencia de reemplazar parcialmente los agregados minerales por residuos cerámicos triturados en mezclas asfálticas en caliente (MAC) diseñadas bajo la metodología Superpave. El estudio incorporó porcentajes del 30 % y 35 % de residuos, analizando el módulo dinámico bajo distintas frecuencias (0,1 a 25 Hz) y temperaturas (0 °C a 30 °C), y elaborando curvas maestras para predecir el desempeño frente a condiciones reales de tráfico. Los resultados indicaron que la adición de residuos cerámicos incrementa la rigidez de la mezcla, destacando el 30 % como el contenido óptimo, y que el módulo dinámico disminuye al aumentar la temperatura, comportamiento propio de materiales viscoelásticos. Asimismo, las mezclas modificadas

mostraron mejor resistencia a la deformación permanente en comparación con mezclas convencionales, validándose su buen desempeño mediante herramientas reológicas como los planos Cole-Cole y Black Space. La investigación, además de su aporte técnico, plantea un enfoque ambientalmente sostenible al reutilizar residuos de la industria cerámica en la infraestructura vial, contribuyendo a una gestión responsable de los residuos de construcción y demolición.

Los autores Dr. Thomas Bennert & Dra. Nazhat Aboobaker de la Universidad Estatal Piscataway en cooperación Departamento de Transporte de Nueva Jersey presentaron **“Módulo dinámico de la mezcla asfáltica en caliente: Informe final (Informe FHWA-NJ-2009-011).”**; en el que analizaron la funcionalidad y utilidad del módulo dinámico como parámetro fundamental en el diseño de mezclas asfálticas en caliente (MAC) bajo la metodología Superpave. La investigación empleó ensayos de módulo dinámico aplicando cargas cíclicas que simulan las condiciones reales de temperatura y tráfico, con el objetivo de predecir el desempeño de las mezclas frente a la deformación permanente y la fatiga. Los resultados demostraron que existe una relación directa entre valores elevados de módulo dinámico y una mayor resistencia a la deformación permanente, evidenciando que este parámetro es clave para optimizar el diseño de mezclas expuestas a cargas repetidas y variaciones térmicas, mejorando su durabilidad y funcionalidad. El estudio concluyó que el módulo dinámico es una herramienta precisa para anticipar el comportamiento de las mezclas asfálticas bajo diferentes condiciones, conclusión que guarda relación con la presente investigación, donde la adición del 4 % de polímero SBS busca modificar el módulo dinámico, aumentar la rigidez y mejorar la capacidad estructural de la mezcla para resistir cargas y cambios térmicos, contribuyendo a un mejor desempeño del pavimento.

Los autores María Fernanda Rojas-González, José Luis Pérez-López y Edgar Geovanny Cuellar-López de la Universidad Central de Colombia (2020) presentaron la tesis: **"Evaluación del desempeño de mezclas asfálticas diseñadas con Superpave para rehabilitación de pavimentos flexibles en climas cálidos y húmedos"** cuyo objetivo fue evaluar el comportamiento de mezclas asfálticas diseñadas con el método Superpave para la rehabilitación de pavimentos en zonas de clima cálido y húmedo. La metodología permitió optimizar la selección de materiales considerando las condiciones climáticas específicas, garantizando propiedades mecánicas adecuadas frente a las solicitaciones de tráfico y temperatura, y mejorando el

desempeño en comparación con mezclas asfálticas convencionales. Los resultados evidenciaron que las mezclas diseñadas bajo Superpave presentan un mejor comportamiento mecánico y mayor resistencia en estas condiciones ambientales, siempre que se realice una correcta elección de los materiales y un diseño óptimo de la mezcla. De manera análoga, la presente investigación incorpora un 4 % de polímero SBS con el fin de mejorar el módulo dinámico, aumentando la rigidez y capacidad de la mezcla para resistir cargas y variaciones térmicas, contribuyendo así a un mejor desempeño estructural del pavimento.

### **2.1.2 Antecedentes Nacionales**

La autora Araceli S. Carrasco Rodriguez de la Universidad Andina del Cusco (2022) presentó la tesis: **“Mapa de Grado de Desempeño (PG) de Ligantes Asfálticos según la Metodología Superpave para la región Cusco al 2021”** cuyo objetivo fue implementar la metodología Superpave para elaborar un mapa de zonificación por grado de desempeño en la región Cusco, considerando el factor climático. La investigación inició con la recolección de datos de temperatura proporcionados por el SENAMHI, que posteriormente fueron procesados mediante modelos matemáticos del SHRP para clasificar los ligantes asfálticos de acuerdo con su rendimiento esperado. La creación del mapa se realizó empleando programas de ingeniería como AutoCAD y ArcGIS, integrando la información climática y reflejando las variaciones espaciales dentro del área de estudio. Como resultado, se desarrolló un mapa detallado que identifica las zonas climáticas de Cusco y sus respectivas exigencias para la selección del material, facilitando la elección adecuada de ligantes bajo la metodología Superpave y contribuyendo a optimizar el diseño y desempeño de los pavimentos en la región. El estudio concluye que la combinación de la metodología Superpave con datos climáticos específicos y herramientas de software especializado constituye una estrategia eficaz para generar mapas de zonificación por grado de desempeño, lo que resulta esencial para adaptar los diseños de pavimentos a las condiciones locales y garantizar una mayor durabilidad y eficiencia en las mezclas asfálticas.

El autor Julio César Novillo de la Universidad de Piura (2022) presentó la tesis titulada: **"Innovación en el proceso de diseño de mezclas asfálticas en caliente para la ciudad de Loja, en obras de pavimentación urbana"** cuyo objetivo fue implementar el método Superpave en el diseño de mezclas asfálticas en caliente para la rehabilitación de pavimentos urbanos en Loja. La investigación contempló la selección cuidadosa de materiales y la optimización de la mezcla con

el fin de mejorar propiedades mecánicas como la resistencia a la deformación permanente, el agrietamiento por cambios de temperatura y la fatiga, incrementando así la vida útil del pavimento y reduciendo los costos rutinarios de mantenimiento. Los resultados evidenciaron que el uso de la metodología Superpave permitió obtener mezclas con un mejor desempeño frente a solicitaciones térmicas y mecánicas, lo que se tradujo en una mayor durabilidad y eficiencia del pavimento en zonas urbanas. En conclusión, el estudio resalta que el método Superpave es una herramienta eficaz para el diseño de mezclas asfálticas en pavimentación urbana, aportando beneficios técnicos y económicos que favorecen la calidad y sostenibilidad de las obras viales.

El autor Juan Carlos Laurente Solano de la Universidad Nacional del Centro del Perú presento la tesis: **“Efecto de la variabilidad de la velocidad instantánea en el módulo dinámico y vida útil del pavimento de los dos márgenes de la carretera central tramo Huancayo – Jauja 2022” (2024)**; investigación que aborda el módulo dinámico como parámetro clave en el diseño de pavimentos según la metodología MEPDG. El estudio evaluó cómo las variaciones en la velocidad instantánea influyen en los valores del módulo dinámico y, en consecuencia, en la estimación de la vida útil del pavimento asfáltico. A través de simulaciones y análisis, se determinó que las fluctuaciones de velocidad impactan significativamente el comportamiento estructural del pavimento, afectando su durabilidad. Los resultados evidencian que incorporar esta variable en el diseño permite obtener cálculos más precisos y predicciones más fiables sobre el desempeño de la estructura, favoreciendo un diseño estructural más ajustado y una gestión eficiente del mantenimiento conforme a los lineamientos de la metodología MEPDG.

Los autores Ortiz Medina y Henschell Gabriel de la Universidad Ricardo Palma (2021) presentó la tesis: **"Mezclas Asfálticas Modificadas con polímero Estireno-Butadieno-Estireno para la determinación de las ventajas en los métodos de diseño"**; cuyo objetivo fue comparar las metodologías Marshall y Superpave en el diseño de mezclas asfálticas modificadas con el polímero SBS, con el fin de identificar el método más eficiente. La investigación evaluó parámetros volumétricos como el porcentaje de vacíos del ligante y del agregado mineral, el contenido óptimo de asfalto y los niveles de compactación. Los resultados evidenciaron que la metodología Superpave determina un contenido óptimo de asfalto del 5,5% para mezclas modificadas con SBS, logrando una mejor integración de materiales y una mayor resistencia. Asimismo, se comprobó que Superpave ofrece ventajas notables en la gradación granulométrica

respecto al método Marshall, favoreciendo una distribución más uniforme de agregados y mejor desempeño mecánico. En conclusión, Superpave se posiciona como una metodología avanzada y más eficiente para el diseño de mezclas asfálticas con modificación por SBS, optimizando tanto la durabilidad como la resistencia del pavimento.

## **2.2 Marco Teórico - Conceptual**

### **2.2.1 Pavimento**

El pavimento es una estructura horizontal que está apoyada en toda su superficie; está conformada por una o varias capas superpuestas de diferentes espesores; diseñadas para soportar diferentes solicitaciones de cargas en varias condiciones climáticas, tienen la capacidad de transmitir estas solicitaciones hacia el suelo o terreno de apoyo sin agrietarse o tener una deformación excesiva, todo esto dentro de un periodo de tiempo de serviciabilidad establecido dentro del diseño.

#### **2.2.1.1 Tipos de Pavimento.**

La clasificación de los pavimentos se determina según la forma en que distribuyen las cargas o solicitaciones hacia el terreno de apoyo, se pueden clasificar de la siguiente manera:

##### **– Pavimento Flexible**

Constituidos por una capa asfáltica (capa bituminosa) y agregados dispuestos en capas que transmiten los esfuerzos de la superficie hacia las capas inferiores de material granular. Según la composición de la superficie asfáltica, pueden presentarse como mezclas asfálticas en caliente, mezclas tibias, mezclas en frío, mortero asfáltico, micropavimento, entre otros.

La estructura más común de un pavimento flexible está conformada por: subrasante, subbase, base y capa de rodadura.

Este tipo de pavimento presenta ventajas significativas respecto al uso y colocación siendo de fácil construcción, adaptabilidad al terreno, presenta una variedad de mezclas y una resistencia mejor al agrietamiento por temperaturas bajas.

**Figura 1**

*Corte transversal de la estructura de un pavimento flexible*



*Nota: Imagen tomada Claudio G. & Diego L. (2016)*

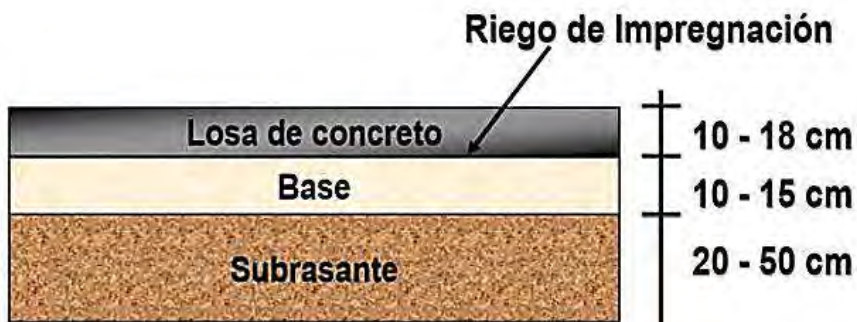
#### **- Pavimento Rígido**

Formados principalmente por concreto a base de cemento y agregados, usualmente dispuestos en losas de concreto simple, concreto compactado con rodillo o suelo-cemento. Su estructura habitual comprende subrasante, subbase y losa de concreto.

Este tipo de pavimento presenta ventajas como mayor durabilidad, una mayor capacidad de soporte de carga, una menor susceptibilidad a las deformaciones.

**Figura 2**

*Corte transversal de la estructura de un pavimento rígido*



*Nota: Imagen tomada Claudio G. & Diego L. (2016)*

#### **- Pavimentos Articulado**

Integrados por piezas prefabricadas de concreto (adoquines) colocadas de manera ordenada sobre una delgada capa de arena, la cual se apoya sobre una base y subbase granular.

Su principal característica es la permeabilidad, que favorece la gestión de aguas pluviales y reduce el riesgo de inundaciones, además de aportar valor estético y adaptabilidad al entorno.

### **2.2.2 Agregados**

El diseño Superpave realiza un análisis más detallado de las propiedades de los agregados, ya que estos representan entre el 90 % y 94 % de las mezclas asfálticas. Por ello, su correcta caracterización es fundamental, pues influye directamente en el comportamiento y la durabilidad del pavimento.

Entre las fallas más comunes en los pavimentos se incluyen el agrietamiento por bajas temperaturas, el agrietamiento por fatiga, la deformación permanente y la susceptibilidad al humedecimiento. Aunque dichas fallas están relacionadas tanto con las propiedades del asfalto como con las de los agregados, las características de estos últimos influyen de manera determinante en problemas como la susceptibilidad a la humedad y la deformación permanente.

Tradicionalmente, la evaluación de los agregados se ha basado en ensayos que determinan su calidad, como pruebas de limpieza, tenacidad, dureza y textura. Sin embargo, estos métodos no evalúan directamente su desempeño. Por esta razón, Superpave establece ensayos específicos, agrupados en propiedades de origen y propiedades de consenso.

Las propiedades de origen incluyen los ensayos de abrasión, durabilidad y contenido de terrones. Las propiedades de consenso comprenden la angularidad del agregado, el porcentaje de partículas chatas y alargadas, y el equivalente de arena.

#### **2.2.2.1 Propiedades Características de los Agregados**

Se tienen los siguientes ensayos de los agregados:

##### **– Forma Textura y Angularidad Del Agregado Fino**

La forma y textura del agregado fino influyen directamente en la estabilidad de las mezclas, incrementando la resistencia a las deformaciones permanentes. Se determinan mediante métodos directos e indirectos, bajo normas como ASTM D3398 y AASHTO T304.

##### **– Partículas Chatas y Alargadas**

Este ensayo evalúa la forma y angularidad del agregado grueso, así como el porcentaje de caras fracturadas. Las partículas chatas y alargadas son poco deseables, ya que tienden a

fracturarse con facilidad. Superpave establece un máximo de 10 % para estas partículas, midiendo su relación largo, ancho y espesor.

#### – Porcentaje de Caras o Partículas Fracturadas

Un mayor porcentaje de caras fracturadas asegura un mejor grado de fricción interna y un mayor rendimiento frente a deformaciones, gracias al incremento del esfuerzo cortante y al mejor entrelazamiento de las partículas.

#### – Equivalente de Arena

El ensayo de equivalente de arena determina la proporción entre la altura de la capa de arena y la altura de la capa de material arcilloso presente en una muestra, expresada como un porcentaje. Este procedimiento permite cuantificar la presencia de finos perjudiciales en el agregado, los cuales pueden afectar la adherencia y la resistencia de las mezclas asfálticas. Un valor adecuado en este ensayo garantiza un mejor desempeño estructural del pavimento, ya que minimiza los riesgos de pérdida de cohesión y fallas prematuras.

### Figura 3

*Requerimiento de propiedades de consenso*

20-Year Design ESALs <sup>a</sup> (in millions)	Coarse Aggregate Angularity (Percent), minimum <sup>c</sup> AASHTO T 335 (CAA)		Uncompacted Void Content of Fine Aggregate Angularity (Percent), minimum AASHTO T 304 (FAA)		Sand Equivalent (Percent), minimum AASHTO T 176 (SE)	Flat and Elongated <sup>c</sup> (Percent), maximum ASTM D4791 (F&E)
	≤ 100 mm <sup>f</sup>	> 100 mm <sup>f</sup>	≤ 100 mm	> 100 mm <sup>f</sup>		
< 0.3	55/-	-/-	- <sup>d</sup>	-	40	-
0.3 to < 3	75/-	50/-	40 <sup>e</sup>	40	40	10
3 to < 10	85/80 <sup>b</sup>	60/-	45	40	45	10
10 to < 30	95/90	80/75	45	40	45	10
≥ 30	100/100	100/100	45	45	50	10

*Nota: Imagen tomada Superpave Asphalt Mixture Design (2002)*

#### – Abrasión de Los Ángeles

Dentro del método Superpave, la resistencia al desgaste de los agregados se evalúa mediante el ensayo de Abrasión de Los Ángeles, que combina los efectos de abrasión, impacto y trituración. Este ensayo es clave para estimar la durabilidad y el comportamiento de los agregados frente a las sollicitaciones del tránsito, así como su capacidad para mantener la estabilidad de la mezcla en el tiempo.



### – Durabilidad al Sulfato de Magnesio

Este ensayo determina la resistencia del agregado a la degradación causada por sales solubles, en particular su susceptibilidad a la expansión y deterioro debido a la cristalización de sulfatos en los poros. La metodología Superpave considera este parámetro fundamental para predecir la vida útil del pavimento en zonas con presencia de sales o condiciones de humedad que favorecen su acción.

### – Limpieza y Materiales Deletéreos

La evaluación de limpieza de los agregados permite determinar la cantidad de material fino que pasa por el tamiz N°200, mientras que la determinación de materiales deletéreos, regulada por normas como la AASHTO T112, identifica partículas friables o terrones de arcilla que puedan comprometer la calidad de la mezcla. La eliminación o reducción de estos materiales es esencial para garantizar una adecuada adherencia entre el asfalto y el agregado, así como para prevenir daños estructurales.

## Figura 4

*Requerimiento de propiedades de origen*

20-Year Design Equivalent Single Axle Loads (ESALs in millions)	Los Angeles Abrasion (Max. %) AASHTO T 96	Sodium or Magnesium Sulfate Soundness (Max. %) AASHTO T 104	Deleterious materials*	
			Clay Lumps/ Friable Particles AASHTO T 112	Lightweight Particles AASHTO T 113
< 0.3	45	25	<5	<5
0.3 to < 3	40	20	<4	<4
3 to < 10	30	15	<3	<3
10 to < 30	30	15	<2	<2
≥ 30	25	<10	<1	<1

*Nota: Imagen tomada Superpave Asphalt Mixture Design (2002)*

En el diseño de mezclas asfálticas es indispensable considerar tanto las normativas internacionales como las nacionales. Si bien la metodología Superpave establece criterios de referencia global, en el Perú el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) regula los parámetros de calidad de los materiales empleados en la infraestructura vial. En las siguientes tablas se presentan los parámetros normativos nacionales establecidos por el MTC para agregados, que complementan los criterios internacionales previamente expuestos.

**Tabla 1***Requerimientos para los agregados gruesos MTC*

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤3.000	>3.000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción *	MTC E 206	1,0% máx.	1,0% máx.

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

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

*Nota: Manual de Carreteras- Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)*

**Tabla 2***Requerimientos para los agregados finos MTC*

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		≤ 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N.º 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N.º 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción* **	MTC E 205	0,5% máx.	0,5% máx.

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

- La adherencia del agregado fino para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla, Subsección 430.02.

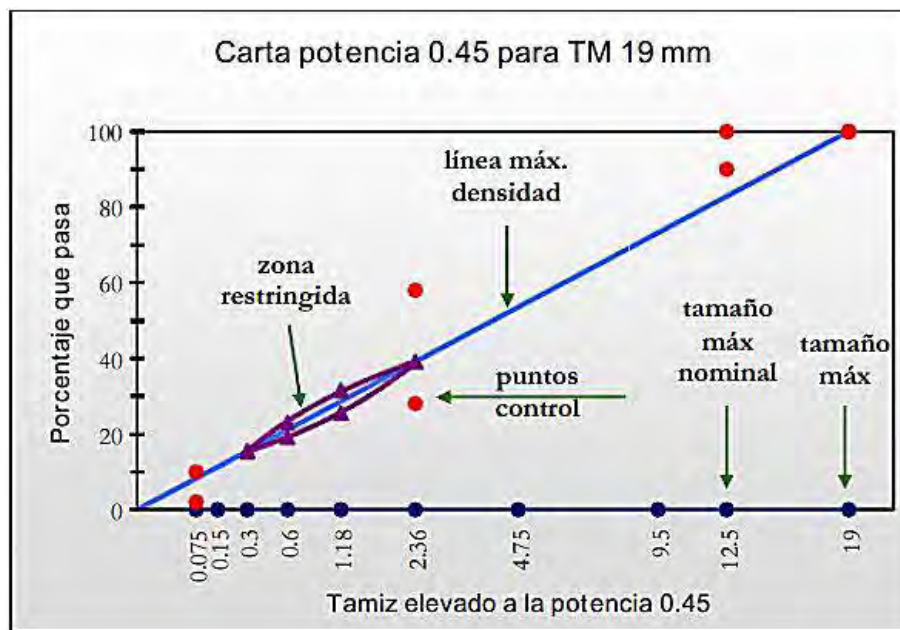
*Nota: Manual de Carreteras- Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)*

### 2.2.2.2 Estructura Granulométrica Superpave.

La granulometría usada en la metodología Superpave se basa en un enfoque grafico que se adapta a la gráfica de Fuller, esta gráfica, se diferencia a la convencional debido a que los valores de las aberturas son elevados a la potencia de 0.45, con la finalidad de obtener una distribución mejor de tamaños acumulados de partículas; tratando de que se ajuste lo máximo posible a la línea de máxima densidad.

**Figura 5**

*Límites de gradación Superpave TMN de 19 mm*



*Nota: Imagen tomada Silene M. & Abel O. (2003)*

Las especificaciones de los agregados de esta granulometría incorporan criterios de control adicionales y zonas de confinamiento, estos parámetros indican puntos en donde están obligados a pasar la curva granulométrica y definen el tamaño máximo nominal utilizado como indicador de granulometría.

- **Tamaño Máximo**

Esta determinado como el tamiz donde pasa el 100% de los agregados.

- **Tamaño Máximo Nominal**

Esta determinado como el primer tamiz mayor que aquel que retuviese más del 10% del material.

### – Carta Potencia elevada a 0.45

Vendría a ser la carta propia que el modelo de Superpave acogió para realizar el gráfico de la granulometría en busca de una configuración más densa; su construcción en el eje Y o las ordenadas y se coloca el porcentaje que pasa mientras que en el eje X o eje de las abscisas se colocan la abertura en micrones de cada malla elevados a la potencia de 0.45.

La línea de máxima densidad se puede graficar en base al tamaño máximo nominal, desde el primer tamiz hasta el tamiz máximo donde el material pasa el 100%.

### – Puntos de Control

Ubicaciones específicas en la curva granulométrica que nos permiten asegurar una buena gradación evitando problemas de segregación; como el tamaño máximo nominal, tamiz intermedio (2.36 mm) y tamiz más pequeño (0.075 mm).

### – Zona Restringida

Considera un intervalo en zonas que aseguran un control de calidad en función de la cantidad de arena natural y un porcentaje mínimo considerable de vacíos; estando comprendida entre los tamices de 4.75 mm o 2.36 mm; teniendo como finalidad evitar problemas de compactación y segregación.

**Figura 6**

*Especificaciones de agregados Superpave*

Tamaño estándar (mm)	<i>Puntos de Control</i>				
	Tamaño máximo Nominal				
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm
50.0					100
37.5				100	90-100
25.0			100	90-100	
19.0		100	90-100		
12.5	100	90-100			
9.50	90-100				
2.36	32-67	28-58	23-49	19-45	15-41
0.075	2.0-10.0	2.0-10.0	2.0-8.0	1.0-7.0	0.0-6.0
Tamiz	<i>Zona Restringida</i>				
4.75				39.5	34.7
2.36	47.2	39.1	34.6	26.8-30.8	23.3-27.3
1.18	31.6-37.6	25.6-31.6	22.3-28.3	18.1-24.1	15.5-21.5
0.60	23.5-27.5	19.1-23.1	16.7-20.7	13.6-17.6	11.7-15.7
0.30	18.7	15.5	13.7	11.4	10.0

*Nota: Imagen tomada Silene M. & Abel O. (2003)*



Si bien en un inicio se consideraba que atravesar la zona restringida disminuía la rigidez de la mezcla y su resistencia al corte, investigaciones más recientes indican que, cumpliendo con las demás exigencias del diseño Superpave, no se generan diferencias significativas en la resistencia a la deformación permanente.

La granulometría permite conocer la distribución de tamaños de los agregados, aspecto clave para la trabajabilidad, compactación y resistencia de la mezcla asfáltica. Si bien normas internacionales como AASHTO y ASTM establecen rangos de control, en el Perú el MTC también define límites granulométricos, los cuales complementan las especificaciones internacionales.

**Tabla 3**

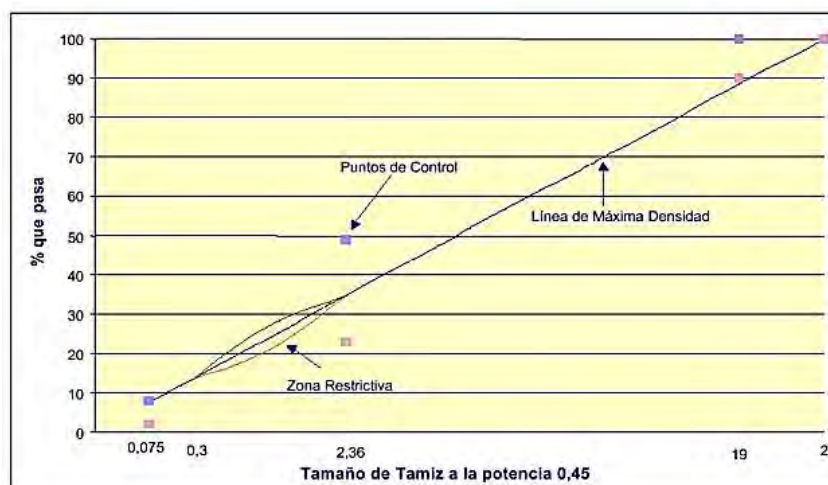
*Requerimiento de graduación Superpave TMN de 19 mm MTC*

**Graduación superpave para agregado de tamaño nominal máximo de 19 mm.**

Tamaño del tamiz mm	Puntos de Control		Línea de Máxima Densidad	Zona de Restricción		Formula de Mezcla	Tolerancia (**)
				Mínimo	Máximo		
25		100,0	100,0				
19,00	100,0	90,0	88,4				
12,50			73,2				
9,50			59,6				
4,75			49,5			*	(6)
2,36	49,0	23,0	34,6	34,6	34,6	*	(6)
1,18			25,3	22,3	28,3		
0,60			18,7	16,7	20,7	*	(4)
0,30			13,7	13,7	13,7	*	(3)
0,15			10,0				
0,075	8,0	2,0	7,3			*	(2)

(\*) El Contratista especificará los valores con aproximación al 0.1%

(\*\*) Desviaciones aceptables ( $\pm$ ) de los valores de la Fórmula



*Nota: Manual de Carreteras- Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)*

### 2.2.3 Estudio de Tráfico

Este estudio constituye una variable fundamental para el análisis y diseño de pavimento; ya que involucra tanto el volumen como las dimensiones de los vehículos y su relación con el diseño geométrico; sin embargo, son la cantidad (volumen) y el tipo de ejes (magnitud de cargas), el número y peso de los ejes, la presión de llantas; otro factor importante es el crecimiento anual del tráfico.

#### 2.2.3.1 Clasificación Vehicular.

Dentro del territorio nacional se tiene una estandarización sobre la clasificación vehicular teniendo en cuenta sus características físicas y capacidad de carga; están descritos en el reglamento nacional aprobado por el D.S. 058-2003-MTC:

- Carros ligeros: Automóvil; Station Wagon; Camioneta (Pick up, Panel, Rural)
- Carros pesados: Ómnibus
- Carros pesados: Camión
- Carros pesados: Remolcador
- Carros pesados: Remolque y Semi-remolque

Dentro de las consideraciones del reglamento nacional se tienen conceptos y aspectos a tomar en cuenta dentro del estudio de tráfico como los tipos de ejes (simple, doble o tándem, triple o trídem) que sirven de soporte para el vehículo y el peso vehicular que viene a ser el peso máximo que soporta cada eje.

#### Figura 7

*Tolerancia del pesaje dinámico en vehículos llenos*

Eje (s)	Neumáticos	Capacidad máxima Permitida en kg.	Tolerancia
Simple	2	7,000	350 kg
Simple	04	11,000	550 kg
Doble	04	12,000	600 kg
Doble	06	16,000	800 kg
Doble	08	18,000	900 kg
Triple	06	16,000	800 kg
Triple	10	23,000	1150 kg
Triple	12	25,000	1250 kg

*Nota: Imagen tomada del Reglamento Nacional de Vehículos*

### 2.2.3.2 Volumen de Tráfico Vehicular.

El volumen de tráfico es la cantidad o número de vehículos que pasan por un determinado carril o calzada en un tiempo determinado; definiéndose matemáticamente como  $Q = N/T$ ; donde N es el número total de vehículos, T es el periodo de tiempo y Q es la cantidad de vehículos en un periodo de tiempo.

#### – Volumen de Tráfico Promedio Diario (TPDI)

Es la cantidad de vehículos en promedio que pasan diario dentro del carril de diseño; el cálculo se realiza durante una semana ininterrumpida para proyectar este valor y de esta manera generalizar el comportamiento del tráfico.

#### – Factor de Corrección Promedio Estacional (FCE)

Este factor nos permite proyectar y corregir los datos obtenidos del TPDI para obtener un comportamiento anual del tráfico; este dato se puede obtener de las estaciones de peaje y se debe tomar la estación de peaje más cercana a la ejecución del estudio de tráfico; existiendo un valor numérico tanto para vehículos livianos y vehículos pesados.

#### – Factor de Corrección de Carril (Fc)

Es el factor que permite la distribución direccional en función del carril de diseño, expresado como el carril que soporta mayor número de EE, este valor está en función de las direcciones de conteo y la cantidad de carriles por calzada de carretera.

**Figura 8**

*Factores estimados de distribución para carril*

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

*Nota: Imagen tomada del Manual de Carreteras Sección: Suelos y Pavimentos*

– **Factor de Ajuste por Presión de Neumáticos (Fp)**

Según la metodología AASHTO se debe de realizar un ajuste por presión de los neumáticos para los pavimentos flexibles.

**Figura 9**

*Factor de ajuste estimado para presión de neumáticos*

Espeso de Capa de Rodadura (mm)	Presión de Contaco del Neumático (PCN) en psc PCN = 0.90x[Presión de inflado del neumático] (pai)						
	80	90	100	110	120	130	140
50	1.00	1.30	1.80	2.13	2.91	3.59	4.37
60	1.00	1.33	1.72	2.18	2.69	3.27	3.92
70	1.00	1.30	1.65	2.05	2.49	2.99	3.53
80	1.00	1.28	1.59	1.94	2.32	2.74	3.20
90	1.00	1.25	1.53	1.84	2.17	2.52	2.91
100	1.00	1.23	1.48	1.75	2.04	2.35	2.68
110	1.00	1.21	1.43	1.66	1.91	2.17	2.44
120	1.00	1.19	1.38	1.59	1.80	2.02	2.25
130	1.00	1.17	1.34	1.52	1.70	1.89	2.09
140	1.00	1.15	1.30	1.46	1.62	1.78	1.94
150	1.00	1.13	1.26	1.39	1.52	1.66	1.79
160	1.00	1.12	1.24	1.36	1.47	1.59	1.71
170	1.00	1.11	1.21	1.31	1.41	1.51	1.61
180	1.00	1.09	1.18	1.27	1.36	1.45	1.53
190	1.00	1.08	1.16	1.24	1.31	1.39	1.46
200	1.00	1.08	1.15	1.22	1.28	1.35	1.41

*Nota: Imagen tomada del Manual de Carreteras Sección: Suelos y Pavimentos*

– **Tráfico Equivalente a Eje de Referencia**

Expresa el daño ocasionado por el paso de un eje sobre el pavimento; transforma las cargas reales a un solo eje tomando un valor estándar (8.15 ton o 18000 lbs); estos son medidos a través de los EJES EQUIVALENTES que son factores que simulan el impacto destructivo generado por las cargas a través de los ejes.



**Figura 10***Cargas por eje para pavimentos flexibles*

Tipo de Eje	Eje Equivalente ( $EE_{8.2 \text{ tn}}$ )
Eje Simple de ruedas simples ( $EE_{S1}$ )	$EE_{S1} = [P / 6.6]^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles ( $EE_{S2}$ )	$EE_{S2} = [P / 8.2]^{4.0}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) ( $EE_{TA1}$ )	$EE_{TA1} = [P / 14.8]^{4.0}$
Eje Tandem ( 2 ejes de ruedas dobles) ( $EE_{TA2}$ )	$EE_{TA2} = [P / 15.1]^{4.0}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) ( $EE_{TR1}$ )	$EE_{TR1} = [P / 20.7]^{3.9}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) ( $EE_{TR2}$ )	$EE_{TR2} = [P / 21.8]^{3.9}$
P = peso real por eje en toneladas	

*Nota: Imagen tomada del Manual de Carreteras Sección: Suelos y Pavimentos.*

#### **2.2.4 Ligante asfáltico**

Las nuevas especificaciones están enfocadas en el comportamiento mecánico viscoelástico del ligante; siendo necesario nuevos ensayos que reemplacen a los empíricos existentes; ensayos como el de reómetro de corte dinámico (reemplaza al de viscosidad), reómetro de viga de flexión (reemplaza al de penetración) y ensayo de tensión directa (reemplaza al de ductilidad); añadiéndose también ensayos de simulación como son los de envejecimiento a corto plazo y envejecimiento a largo plazo.

##### **2.2.4.1 Comportamiento del Asfalto.**

El comportamiento debido a la naturaleza del asfalto (viscoelástico) depende de la temperatura y la carga aplicada; a mayores temperaturas tiene una consistencia más dúctil; sin embargo, a temperaturas más bajas se vuelve más frágil; teniendo un comportamiento influido por la temperatura.

##### **– Comportamiento a Alta Temperatura**

El ligante tiene un comportamiento distintivo en climas cálidos el cual es equivalente a cargas de tráfico lentas donde el ligante se comporta como un líquido viscoso antes cargas cíclicas generando fricción interna entre los agregados y favoreciendo el ahuellamiento.

### – Comportamiento a Baja Temperatura

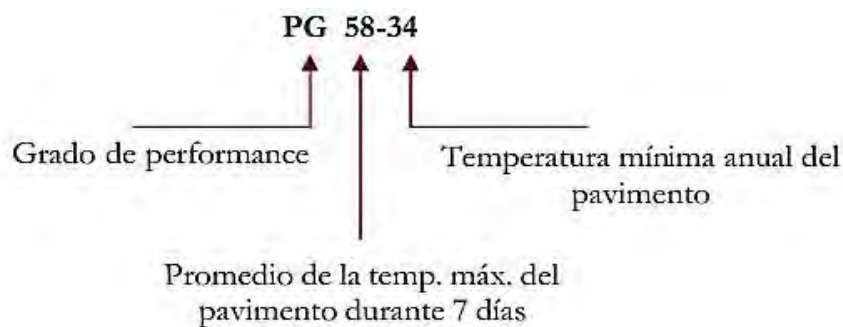
El ligante en bajas temperaturas o cargas de tráfico rápidas se comporta como un sólido elástico antes las cargas cíclicas; provocando agrietamiento por contracción térmica.

#### 2.2.4.2 Grado de Performance.

El ligante Superpave es seleccionado en base a las temperaturas extremas de servicio; estas vendrían a ser la temperatura máxima de servicio (asociada a deformaciones permanentes) y la temperatura mínima de fragilidad (vinculada a agrietamiento por contracción).

**Figura 11**

*Grado de performance PG*



*Nota: Imagen tomada Silene M. & Abel O. (2003)*

### – Clasificación Superpave para Ligantes Asfálticos (AASHTO M320-23)

Las especificaciones que nos brinda Superpave para la elección del ligante asfáltico se obtiene dependiendo del ambiente en donde el proyecto es realizado, estas especificaciones surgen como método de solución para problemas de deterioro como la deformación permanente y agrietamiento.

Para determinar el ligante asfáltico apropiado se debe determinar el performance grade (PG), el cual depende de dos factores importantes que son la temperatura y el nivel de tráfico (ESAL), según AASHTO M320-23 el grado de desempeño varía en niveles de 6 °C para las temperaturas altas y bajas.

Tabla 4

*Clasificación Superpave para ligante asfálticos*

CLASIFICACIÓN A ALTA TEMPERATURA	CLASIFICACION A BAJA TEMPERATURA
PG 46	-34, -40, -46
PG 52	-10, -16, -22, -28, -34, -40, -46
PG 58	-16, -22, -28, -34, -40
PG 64	-10, -16, -22, -28, -34, -40
PG 70	-10, -16, -22, -28, -34, -40
PG 76	-10, -16, -22, -28, -34
PG 82	-10, -16, -22, -28, -34

El ligante asfáltico se clasifica mediante el sistema PG (Performance Grade), basado en el desempeño del material frente a condiciones de temperatura y carga de tránsito. Adopta normas internacionales como la AASHTO M320, asegura que el asfalto mantenga su elasticidad y resistencia a la deformación permanente o fisuración térmica. A nivel nacional, el MTC establece especificaciones para el asfalto PG, adaptadas a las condiciones climáticas y de servicio del país.

Tabla 5

*Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG parte 1*

**Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG según Tabla 1 de AASHTO M320**

	PG 46			PG 52							PG 58					PG 64					
	34	40	46	10	16	22	28	34	40	46	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40
Temperatura de diseño máxima del pavimento promedio de 7 días, °C <sup>a</sup>	<46			<52							<58					<64					
Temperatura de diseño mínima del pavimento, °C <sup>a</sup>	>-34	>-40	>-46	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40
Asfalto original																					
Punto de inflamación, T 48, °C, mínimo	230																				
Viscosidad, T 316: <sup>b</sup> máximo 3 Pa s, temp de prueba, °C	135																				
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: <sup>c</sup> G*/senS, <sup>d</sup> mínimo 1.00 kPa temp de prueba @ 10 rad/s, °C	46			52							58					64					
Película delgada en horno rotativo (T 240)																					
Cambio de masa, <sup>e</sup> máximo, %	1.00																				
Esfuerzo cortante dinámico, T 315: G*/senS, <sup>d</sup> mínimo 2.20 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	46			52							58					64					
Residuo en cámara de presión (R 28)																					
Temperatura de curado PAV, °C <sup>f</sup>	90			90							100					100					
Esfuerzo cortante dinámico G* senS, <sup>d</sup> máximo 5000 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16
Resistencia al deslizamiento, T 313 : <sup>g</sup> S, máximo 300 MPa valor-m, mínimo 0.300 temp de prueba @ 60 s. °C																					
Tensión Directa, T 314: <sup>h</sup> Def unitaria de la falla, mínimo 1,0% temp de prueba @ 1.0 mm/min, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30

*Nota: Manual de Carreteras- Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)*

La **Tabla 5** define los requisitos del cemento asfáltico por grado de desempeño (PG), considerando propiedades como viscosidad, punto de inflamación, módulo dinámico ( $G^*$ ), y el envejecimiento a corto y largo plazo (RTFO y PAV). Estos parámetros permiten garantizar la resistencia del ligante frente a deformaciones, fisuras y envejecimiento.

**Tabla 6**

*Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG parte 2*

Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG Tabla 2 de AASHTO M320																						
	PG 46			PG 52							PG 58					PG 64						
	34	40	46	10	16	22	28	34	40	46	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40	
Temperatura de diseño máxima del pavimento promedio de 7 días, °C <sup>a</sup>	<46			<52							<58					<64						
Temperatura de diseño mínima del pavimento, °C <sup>a</sup>	>-34	>-40	>-46	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	
Asfalto original																						
Punto de inflamación, T 48, °C, mínimo											230											
Viscosidad, T 316, <sup>b</sup> máximo 3 Pa s, temp de prueba, °C											135											
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: <sup>c</sup> G*/senS, <sup>d</sup> mínimo 1.00 kPa temp de prueba @ 10 rad/s, °C	46			52							58					64						
Película delgada en horno rotativo (T 240)																						
Cambio de masa, <sup>e</sup> máximo, %	1.00																					
Esfuerzo cortante dinámico, T 315: G*/senS, <sup>d</sup> mínimo 2.20 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	46			52							58					64						
Residuo en cámara de presión (R 28)																						
Temperatura de curado PAV, °C <sup>f</sup>	90			90							100					100						
Esfuerzo cortante dinámico G* senS, <sup>d</sup> máximo 5000 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16	
Temperatura baja crítica de falla, R 49: temperatura crítica de falla determinada mediante R 49, temperatura de prueba, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30	

*Nota: Manual de Carreteras- Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)*

**Tabla 7**

*Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG parte 3*

Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG Tabla 3 de AASHTO M320																						
	PG 46			PG 52						PG 58					PG 64							
	34	40	46	10	16	22	28	34	40	46	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40	
Temperatura de diseño máxima del pavimento promedio de 7 días, °C <sup>a</sup>	<46			<52						<58					<64							
Temperatura de diseño mínima del pavimento, °C <sup>a</sup>	>-34	>-40	>-46	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	
Asfalto original																						
Punto de inflamación, T 48, °C, mínimo	230																					
Viscosidad, T 316: <sup>b</sup> máximo 3 Pa s, temp de prueba, °C	135																					
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: <sup>c</sup> G*/senS, <sup>d</sup> mínimo 1.00 kPa temp de prueba @ 10 rad/s, °C	46			52						58					64							
Película delgada en horno rotativo (T 240)																						
Cambio de masa, <sup>e</sup> máximo, %	1.00																					
MSCR, TP 70: <sup>f</sup> Tráfico estándar "S" <sup>1</sup> J <sub>vd</sub> , maximum 4.0 J <sub>vd</sub> , maximum 75% Temp de prueba @ 10 rad/sec, °C	46			52						58					64							
MSCR, TP 70: <sup>f</sup> Tráfico pesado "H" <sup>1</sup> J <sub>vd</sub> , maximum 2.0 J <sub>vd</sub> , maximum 75% Temp de prueba @ 10 rad/sec, °C	46			52						58					64							
MSCR, TP 70: <sup>f</sup> Tráfico muy pesado "V" Grade <sup>1</sup> J <sub>vd</sub> , maximum 1.0 J <sub>vd</sub> , maximum 75% Temp de prueba @ 10 rad/sec, °C	46			52						58					64							

*Nota: Manual de Carreteras- Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)*



La **Tabla 6** incorpora criterios adicionales para bajas temperaturas mediante los ensayos BBR y DTT, lo que permite predecir mejor la flexibilidad y resistencia del asfalto en climas fríos, reduciendo el riesgo de fisuración térmica.

La **Tabla 7** añade el ensayo MSCR, que mide la recuperación del ligante ante cargas repetidas. Este requisito resulta clave en proyectos con tránsito pesado, ya que permite evaluar con mayor precisión la resistencia a la formación de roderas.

**Tabla 8**

*Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG parte 4*

**Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG Tabla 3 de AASHTO M320**

	PG 46			PG 52						PG 58				PG 64							
	34	40	46	10	16	22	28	34	40	46	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40
Residuo en cámara de presión (R 28)																					
PAV temperature envejecimiento, °C <sup>1</sup>	90			90						100				100							
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: Grado "S" G* senS, d máximo 5000 kPa Temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: Grados "H & V" G* senS, d maximum 6000 kPa Temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16
Resistencia al deslizamiento, T 313: <sup>2</sup> S, máximo 300 MPa m-value, mínimo 0,300 temperatura de prueba @ 60 s, °C																					
	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30
Tensión directa, T 314: <sup>3</sup> Rotura de falla, minimum 1.0% Temp de prueba @ 1.0 mm/min, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30

*Nota: Manual de Carreteras- Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)*

Esta tabla, es un resumen de los resultados de varios ensayos, presenta los valores numéricos para propiedades clave como el residuo en cámara de presión (R 28), la resistencia al deslizamiento (T 313) y la tensión directa (T 314), lo que permite verificar el cumplimiento de los requisitos para cada grado PG.

### 2.2.4.3 Modelos Matemáticos.

Superpave a través de la investigación del programa Strategic Highway Research Program (SHRP), brinda modelos matemáticos para la determinación de la temperatura máxima de servicio y mínima de fragilidad, en función de datos meteorológicos de los últimos 20 años.

– **Modelo matemático del programa SHRP Y LTTP**

El modelo matemático utiliza la temperatura del pavimento, obtenida del promedio de las temperaturas del aire en función de los datos meteorológicos de los últimos 20 años.

- *Temperatura Máxima*: es el promedio de los 7 días consecutivos observados más calientes de cada año para un periodo de 20 años.
- *Temperatura mínima*: es el promedio de la temperatura mínima de cada año para un periodo de 20 años.

El SOFTWARE utilizado por el programa SHRP calcula las temperaturas especificando que para temperaturas mayores (altas) se originan 20 mm por debajo de la superficie y las menores temperaturas (bajas) se producen en la superficie del pavimento.

– **Modelo Matemático SHRP Original (Mcgennis et al., 1994).**

Según Mcgennis al., 1994, su modelo matemático, la temperatura máxima del pavimento está en función de la temperatura máxima del aire y latitud del lugar del proyecto, este modelo desarrollado por el SHRP utilizo una profundidad de 20 mm para calcular la temperatura máxima del pavimento, en el caso de la temperatura mínima del pavimento, el SHRP considera que sea igual a la temperatura mínima del aire. (Escalante, Fernandez, & Saez, 2011)

Se utiliza la siguiente ecuación para este modelo matemático.

$$T_{MAX\ pav.} = 0.9545 * (T_{MAX\ aire} - 0.00618 * Lat^2 + 0.2289 * Lat + 42.2) - 17.78$$

$$T_{MÍN\ pav.} = T_{MÍN\ aire}$$

Donde:

- *T máx.* = Temperatura máxima del pavimento a una profundidad de 20mm.
- *T máx. aire* = Temperatura máxima del aire (°C)
- *Latitud* = Latitud de la zona de estudio (°)

– **Modelo Matemático C-SHRP (Canadá).**

Este modelo matemático canadiense desarrollado por Motta et al. (1996), se basa en Canadá, donde las temperaturas mínimas son extremas a comparación de Estados Unidos, la temperatura mínima del pavimento aumenta su valor en base a la temperatura mínima del aire.

$$T_{MÍN\ pav.} = 0.859 * T_{MÍN\ aire} + 1.7$$

- *T mín.* = Temperatura máxima del pavimento a una profundidad de 20mm.
- *T mín. aire* = Temperaturs máxima del aire (°C)

– **Modelo LTPP Bind (Mohseni, 1996)**

El estudio de SHRP, realizo otro programa por más de dos años denominado LTPP (Long Term Pavement Performance), este cuestiono los estándares de obtención de temperaturas máximas y mínimas, el estudio se realizó a partir 30 pistas experimentales para determinar la ecuación de la temperatura del pavimento, el modelo depende de las siguientes variables como latitud, temperatura y ahora se toma en cuenta la profundidad (H) de la superficie del pavimento expresado en cm, parámetros que no se tomaban en cuenta en el anterior modelo.

$$T_{MAX\ pav.} = 54.32 + [0.77585 * T_{MAX\ aire}] - (0.00618 * Lat^2)(15.137 * [\log_{10} (H + 25)])$$

$$T_{MIN\ pav.} = -1.56 + [0.71819 * T_{MIN\ aire.}] - (0.003966 * Lat^2) + [6.264 * \log_{10} (H + 25)].$$

- $T_{m\acute{a}x.}$  = Temperatura máxima del pavimento a una profundidad de 20mm.
- $T_{m\acute{a}x.\ aire}$  = Temperatura máxima del aire (°C)
- $Lat.$  = Latitud de la zona de estudio (°)
- $H$  = Profundidad del pavimento (2cm)

– **Modelo LTPP Bind (LTPP-FHWA, 1998 e Bosscher, 2000)**

LTPP-FHWA, 1998 e Bosscher, 2000, usó el programa de monitoreo SMP lanzado por el LTPP, el resultado de este programa concluye en el modelo LTPP Bind, el cual propone la ecuación siguiente:

$$T_{MIN\ pav.} = 1.56 + 0.72 * T_{MIN\ aire} - 0.004 * Lat^2 + 6.26 * \log(h + 25) - z * (4.4 + 0.52 * \sigma^2)^{1/2}$$

- $T_{m\acute{a}x.}$  = Temperatura máxima del pavimento a una profundidad de 20mm.
- $T_{m\acute{a}x.\ aire}$  = Temperatura máxima del aire (°C)
- $Lat.$  = Latitud de la zona de estudio (°)
- $H$  = Profundidad del pavimento (2cm)
- $z$  = Confiabilidad requerida
- $Desv.$  = Desviación estándar

– **Modelo LTPP Bind (Mohseni e Carpenter, 2004) – ICM (Basado en Datos de Aproximadamente 8000 estaciones Meteorológicas)**

El desarrollo de las investigaciones del programa LTPP Bind, ha propuesto un método para el cálculo del grado de performance (PG) para altas temperaturas mediante sofisticados modelos climáticos en 2004, el modelo siguiente se usó más de 8.000 estaciones meteorológicas.

$$T_{MAX\ pav.} = 32.7 + 0.837 * T_{MAX\ aire} - 0.0029 * Lat^2 + z * (\sigma^2 + \delta_{modelo}^2)$$

### – Nivel de Confiabilidad

El método Superpave plantea un modelo el cual tenga un nivel de confiabilidad alto, para lo cual el programa SHRP sostuvo que la elección de la temperatura máxima y mínima promedio del aire deben estar a un nivel de 50% y 98% de confiabilidad.

$$T_{MAX \text{ al } 98\%} = T_{MAX \text{ al } 50\%} + 2 * \sigma_{alta \text{ temperatura}}$$

$$T_{MIN \text{ al } 98\%} = T_{MIN \text{ al } 50\%} - 2 * \sigma_{baja \text{ temperatura}}$$

### – Corrección del grado de desempeño

El grado de desempeño obtenido mediante los modelos matemáticos del programa SHRP, deben corregirse dependiendo de velocidad y temperatura de la zona de estudio, con la finalidad de asegurar un factor de seguridad, debido a que en condiciones extremas se generan grandes deformaciones en la carpeta de rodadura asfáltica.

También la selección del ligante según el programa considera camiones a velocidades altas (90 km/h) simulando el DSR. Para velocidades de diseño menores a 90 km/h es necesario incrementar los niveles de PG; para simular el incremento del tiempo de carga que es equivalente a un incremento de temperatura sobre la carpeta asfáltica.

Existe un método de corrección de PG (performance Grade), aplicando el Bumping Grade o el ensayo de MSCR, mientras que el primero se corrige a través de un ajuste por velocidad y temperatura, el segundo se realiza a través de cargas aplicadas en intervalos de tiempos.

En base a los métodos de corrección se presenta la siguiente tabla donde se relaciona el ESAL de diseño y la velocidad promedio de los vehículos que pasan por el tramo de estudio.

**Tabla 9**

*Ligante asfáltico en función del nivel de tráfico y temperatura*

ESAL de diseño (10 <sup>6</sup> )	Ajuste del grado del ligante PG		
	Velocidad de Tráfico		
	Parado (V<20km/h)	Lento (V=20 a 88 km/h)	Normal (V>88 km/h)
< 0.3	-	-	-
0.3 a < 3	2	1	-
3 a < 10	2	1	-
10 a < 30	2	1	-
≥ 30	2	1	1



#### 2.2.4.4 Ensayos Superpave al Ligante.

Superpave incorpora una nueva forma de caracterizar al ligante asfáltico dejando a través los métodos convencionales que son los ensayos de penetración y viscosidad; este enfoque se basa en ensayos reológicos y simula las tres etapas críticas de la vida del ligante.

La primera etapa simula el transporte, almacenamiento y manipuleo del ligante a través de ensayos de caracterización; la segunda etapa simula la producción y construcción a través de un proceso de envejecimiento a corto plazo; mientras que la última etapa simula el envejecimiento a largo plazo.

**Figura 12**

*Equipos de ensayo Superpave para el ligante asfáltico*

Equipos	Propósito
Película Fina en Horno Rotatorio (RTFO)	Simula el envejecimiento inicial del ligante
Presión de Envejecimiento Vessel (PAV)	Simula el envejecimiento durante la vida de servicio del ligante
Reómetro de Corte Dinámico (DSR)	Mide las propiedades del ligante a temperaturas altas e intermedias
Viscosímetro Rotacional (RV)	Mide las propiedades del ligante a temperaturas altas
Reómetro de Viga de Flexión (BBR)	Mide las propiedades del ligante a temperaturas bajas
Ensayo de Tensión Directa (DTT)	

*Nota: Imagen tomada Silene M. & Abel O. (2003)*

#### 2.2.5 Polímeros

Son macromoléculas formadas por la unión o enlace de monómeros; pueden tener un origen natural o pueden ser sintéticos, estos materiales modifican las propiedades del asfalto variando su composición química.

El polímero SBS (Estireno-Butadieno-Estireno) es denominado como polímero bloque ya que posee extremos de estireno y un centro de butadieno; la parte de estireno le confiere una estructura rígida y resistente mientras que la parte de butadieno le da elasticidad; siendo un polímero completo para la modificación de asfaltos.

Es un polímero del tipo elastómero y termoplástico que modifica propiedades de flexibilidad y elasticidad; proporciona una mayor flexibilidad (soporta mejor las cargas sin

agrietarse), proporciona resistencia al envejecimiento (protege la degradación por agentes externos), proporciona resistencia a la deformación permanente (disminuye la formación de ahuellamiento y similares), mejorar la adherencia hacia los agregados (permite una mezcla más sólida entre el ligante y el agregado), mejora la resistencia a la humedad entre otros; en resumen ofrece una gran cantidad de beneficios los cuales se traducen en un mejoramiento significativo del rendimiento y durabilidad del pavimento flexible.

#### **2.2.5.1 Tipos de Polímero.**

Los polímeros se usan en la modificación de asfaltos y se suelen clasificar entre termoplásticos y termoestables; siendo los termoplásticos aquellos que tienen un comportamiento blando al calentar y un comportamiento rígido al enfriar; este proceso se puede repetir varias veces debido a que el SBS es un polímero termoplástico mientras que los termoestables se endurecen de manera irreversible y no pueden ser rehechos.

- *Elasticidad*: capaz de proporcionar flexibilidad a bajas temperaturas lo cual mejora la resistencia del asfalto al agrietamiento por fatiga.
- *Adhesión*: presenta una buena adherencia al ligante asfáltico que permite una mejor compatibilidad y una mayor duración de la mezcla asfáltica.
- *Resistencia a la deformación*: tiene un comportamiento cíclico a altas y bajas temperaturas, aumenta la resistencia a la deformación permanente producida por cargas repetitivas.
- *Resistencia al envejecimiento*: presenta resistencia al envejecimiento producto de los efectos del clima.

#### **2.2.5.2 Ventajas Técnicas de los Asfaltos Modificados con Polímeros.**

Los asfaltos modificados con polímeros presentan numerosas ventajas respecto a los asfaltos convencionales, ya sea en los métodos de producción o en el desempeño durante el servicio; teniendo algunas ventajas como:

- *Mayor durabilidad*: el polímero incrementa la vida útil del pavimento al mejorar su resistencia antes las fallas comunes como el agrietamiento, la fatiga y la deformación.
- *Mejor comportamiento a bajas temperaturas*: reducen y minimizan las fisuras por la susceptibilidad por bajas temperaturas.

- *Mayor resistencia a altas temperaturas:* incrementan la estabilidad a altas temperaturas y reducen la falla por ahuellamiento.
- *Mayor resistencia al agua:* el polímero disminuye la permeabilidad al agua; reduciendo de esta manera la susceptibilidad al daño por congelamiento o deshielo.

### **2.2.5.3 Metodología de Incorporación y Modificación con Polímero.**

El procedimiento para la adición del polímero SBS es a través de la trituración y combinación con el ligante asfáltico; permitiendo una conexión a nivel químico entre las moléculas del asfalto y las del polímero que debido a su alta compatibilidad resulta en un vínculo con cadenas tridimensionales modificando de esta manera las propiedades reológicas y mecánicas del asfalto.

### **2.2.6 Mezcla Asfáltica**

Bajo la metodología Superpave; una mezcla asfáltica se define como un compuesto (agregados, cemento asfáltico y aditivos) heterogéneo y viscoelástico. El tipo de mezcla asfáltica se diseña según las condiciones de tráfico (ESSAL) y diferentes condiciones ambientales (temperatura), estando conformada principalmente por dos componentes:

#### **– Cemento Asfáltico (Ligante Asfáltico)**

El ligante asfáltico representa uno de los cambios más relevantes dentro de la metodología Superpave; su selección se basa en el grado de desempeño (PG) de acuerdo a las temperaturas extremas (temperatura mínima de fragilidad y temperatura máxima de servicio); dejando atrás la clasificación tradicional por viscosidad y penetración.

#### **– Agregados**

Superpave se enfoca en la evaluación del agregado mediante propiedades que miden el comportamiento mecánico en la estructura del pavimento; se distinguen las propiedades de consenso y propiedades de origen.

### **2.2.6.1 Tipos de Mezcla Asfáltica.**

Bajo el enfoque de la metodología Superpave las MAC se clasifican de acuerdo al nivel de tráfico, condición de los agregados y condiciones ambientales; se distinguen mezclas de gradación densa, porosas y de gradación incompleta, cada una tienen sus propias subdivisiones.

**Figura 13**

*Tipos de mezclas asfálticas en caliente metodología Superpave*

Gradación densa	Open-graded	Gap-graded
Convencional Tamaño máximo nominal usualmente de 12.5 a 19mm (0.5 a 0.75 pulg.)	Porous friction course	Gap-graded convencional
Large-stone Tamaño máximo nominal usualmente de 25 a 37.5mm (1 a 1.5 pulg.)	Base permeable tratada con asfalto	Stone Mastic Asphalt (SMA)
Arena asfalto Tamaño máximo nominal menos que 9.5 mm (0.375pulg.)		

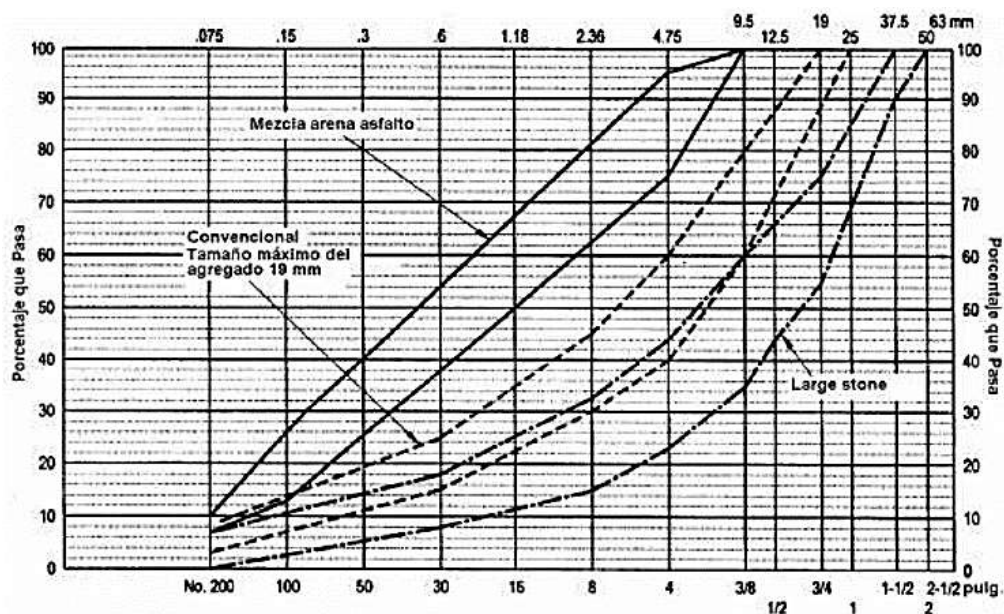
*Nota: Imagen tomada Silene M. & Abel O. (2003)*

#### – Mezcla Asfáltica De Gradación Densa

Son mezclas caracterizadas de tener una gradación continua; pueden ser convencionales, large-stone o arena-asfalto, las cuales se definen a través del tamaño máximo nominal del agregado.

**Figura 14**

*Curvas de gradación según tamaño máximo nominal Superpave*



*Nota: Imagen tomada Silene M. & Abel O. (2003)*

Las mezclas densas pueden presentar gradación fina y una gruesa; diferenciándose en el contenido de arena fina que poseen.

**Figura 15**

*Gradación de mezclas finas y gruesas en mezclas densas Superpave*

Mezcla TMN	Gradación Gruesa	Gradación Fina
37.5 mm (1 1/2")	< 35% pasa el tamiz 4.75	> 35% pasa el tamiz 4.75
25.0 mm (1")	< 40% pasa el tamiz 4.75	> 40% pasa el tamiz 4.75
19.0 mm (3/4")	< 35% pasa el tamiz 2.36	> 35% pasa el tamiz 2.36
12.5 mm (1/2")	< 40% pasa el tamiz 2.36	> 40% pasa el tamiz 2.36
9.5 mm (3/8")	< 45% pasa el tamiz 2.36	> 45% pasa el tamiz 2.36
4.75 mm (No. 4)	Gradación no estandarizada por Superpave	

*Nota: Imagen tomada Silene M. & Abel O. (2003)*

Se tienen recomendaciones para la elección de materiales (agregados), elección del ligante y base en función del nivel del tráfico (alto, medio o bajo); para mezclas densas que son las más completas y utilizables en el diseño Superpave.

**Figura 16**

*Recomendación de materiales a emplear en mezclas densas Superpave*

Capa	Material	Tráfico bajo	Tráfico medio	Tráfico alto
Superficial	Agregado	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grava (limitada)</li> <li>Grava y piedra chancada</li> <li>Arena chancada y natural</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grava y piedra chancada</li> <li>Arena chancada y natural</li> </ul>	
	Ligante asfáltico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Típicamente no modificada</li> <li>Se pueden hacer modificaciones para tráfico pesado, intersecciones para tráfico alto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Típicamente no modificada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Probablemente modificado</li> <li>Asfaltos no modificados basados en experiencias locales</li> </ul>
	Otros	<ul style="list-style-type: none"> <li>RAP (Reclaimed Asphalt Pavement)</li> <li>Antistripping si los ensayos lo indican</li> </ul>		
Intermedia/ligante	Agregado	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grava (limitada)</li> <li>Grava y piedra chancada</li> <li>Arena chancada y natural</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grava y piedra chancada</li> <li>Arena chancada y natural</li> </ul>	
	Ligante asfáltico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Típicamente no modificado</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>No modificados excepto para tráfico pesado o cuando el tráfico circulará sobre las capas por largos periodos</li> </ul>
	Otros	<ul style="list-style-type: none"> <li>RAP (Pavimento de Asfalto Reciclado)</li> <li>Antistripping si los ensayos lo indican</li> </ul>		
Base	Agregado	No estandarizado		
	Ligante asfáltico	No estandarizado	<ul style="list-style-type: none"> <li>Típicamente no modificada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No modificados excepto para tráfico pesado o cuando el tráfico circulará sobre las capas por largos periodos</li> </ul>
	Otros	No estandarizado	<ul style="list-style-type: none"> <li>RAP (Pavimento de Asfalto Reciclado)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Antistripping si los ensayos lo indican</li> </ul>

*Nota: Imagen tomada Silene M. & Abel O. (2003)*

### – Mezcla Asfáltica De Open-Garded

Estas mezclas presentan una gradación relativamente uniforme cuyo principal uso es como capa drenante; dentro de esta categoría la open-graded friction es utilizada como superficie gruesa para proporcionar drenaje rápido que previene los encharcamientos mientras que la segunda es una base permeable que es tratada con asfalto.

### – Mezcla Asfáltica De Gap-Graded

Estas mezclas similares a la de gradación densa, pero con ausencia de tamaños intermedios que proporcionan capas densas impermeables y que se caracterizan por tener una gradación con partículas grandes y finas.

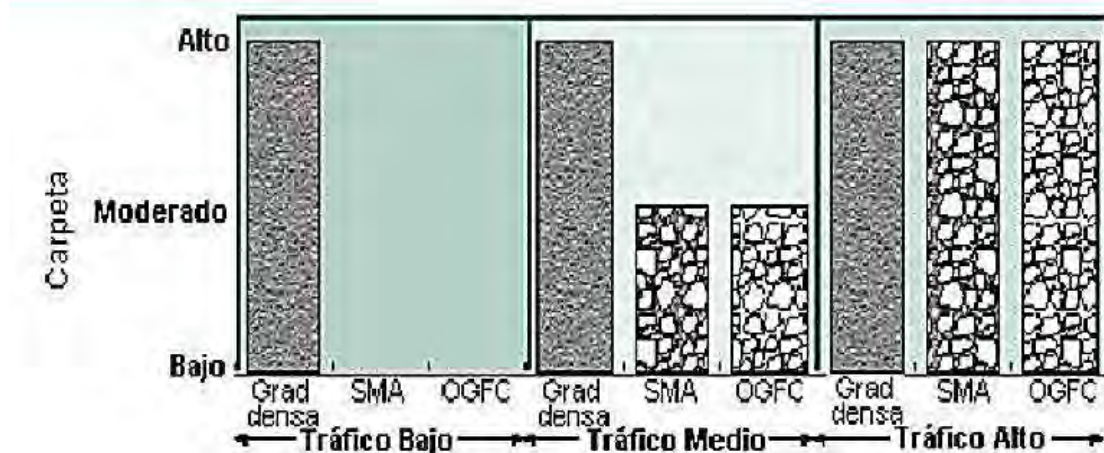
#### 2.2.6.2 Aplicaciones de Mezclas Asfálticas.

La metodología Superpave amplía los horizontes del uso de mezclas asfálticas debido a su capacidad de adaptabilidad a las condiciones de servicio; como las altas velocidades, cargas pesadas, resistencia a la humedad y variaciones bruscas de temperatura.

Las recomendaciones de aplicación se establecen en tres niveles (altamente recomendables, medianamente recomendables y poco recomendables), según el volumen del tráfico (alto, intermedio y bajo). También se considera el espesor mínimo de la carpeta asfáltica, en función del tamaño máximo nominal.

**Figura 17**

*Tipo de mezclas para la carpeta asfáltica según nivel de tráfico Superpave*

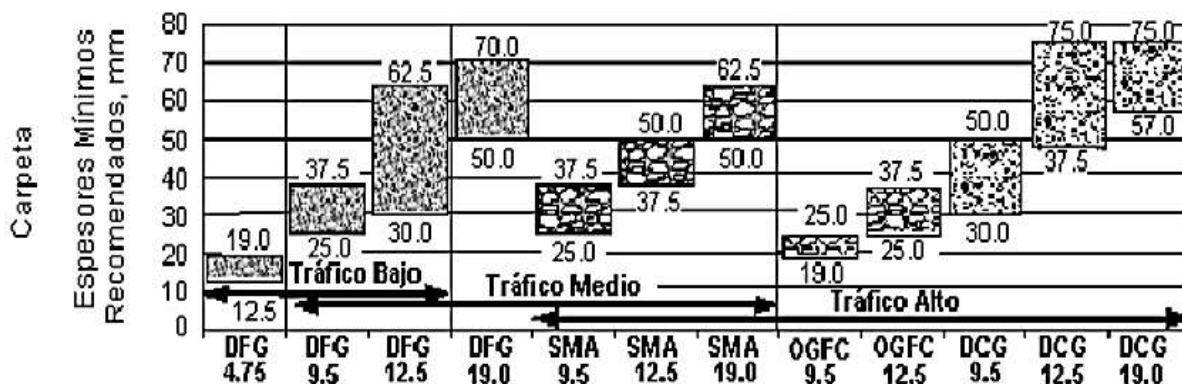


*Nota: Imagen tomada Silene M. & Abel O. (2003)*



**Figura 18**

*Recomendación del espesor mínimo según tamaño máximo nominal Superpave*



*Nota: Imagen tomada Silene M. & Abel O. (2003)*

### 2.2.6.3 Tipos de Daños en Carpetas Asfálticas.

En el diseño Superpave, los daños más comunes son el ahuellamiento y la fisuración; cuyas causas están relacionadas con las propiedades del ligante y de los agregados.

#### - Deformación Permanente

Es una deformación plástica no recuperable por efectos de carga aplicada siendo sus principales causas la consolidación o desplazamiento de la mezcla (disminución de volumen e incremento de densidad), se traduce como una depresión longitudinal en dirección de las llantas con pequeños levantamientos laterales; está directamente relacionado a las características del agregado.

**Figura 19**

*Deformación permanente en pavimento flexible*



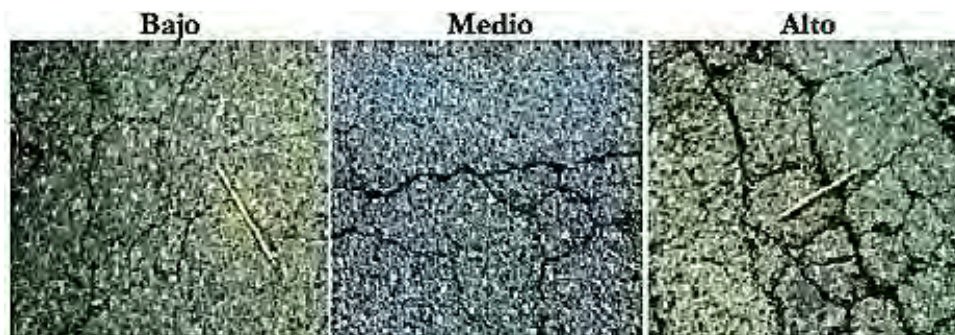
*Nota: Imagen tomada Silene M. & Abel O. (2003)*

### – Agrietamiento Por Fatiga

Es el agrietamiento que sucede cuando el pavimento se encuentra al límite de resistencia debido a las cargas repetitivas, ocasionando que se sature y pierda resistencia teniendo deformaciones elásticas excesivas.

**Figura 20**

*Grado de severidad de agrietamiento por fatiga*



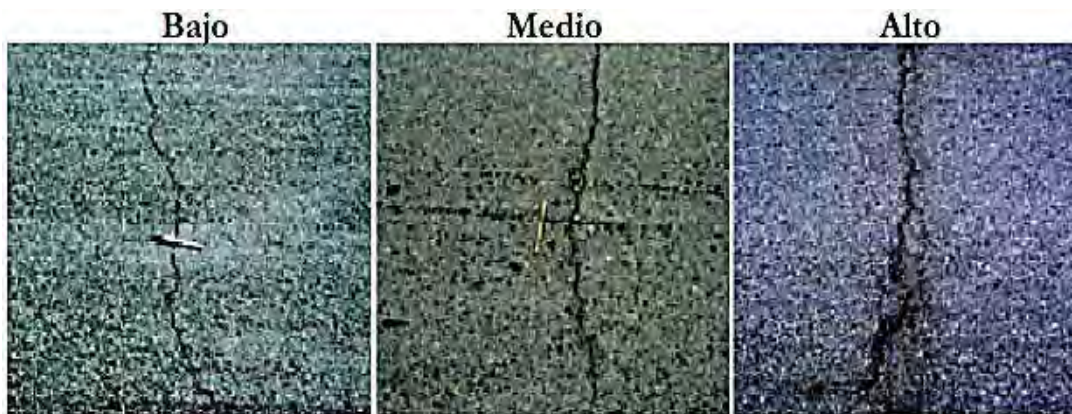
*Nota: Imagen tomada Silene M. & Abel O. (2003)*

### – Agrietamiento Por Baja Temperatura

Es el agrietamiento que ocurre debido a los ciclos de temperaturas extremas; se contrae frente a bajas temperaturas y se expande frente a altas temperaturas, sometiendo al pavimento a ciclos de tensión térmica, este fenómeno está vinculado a las propiedades del ligante asfáltico.

**Figura 21**

*Grado de severidad de agrietamiento por temperatura*



*Nota: Imagen tomada Silene M. & Abel O. (2003)*



### 2.2.7 Superpave

Superpave (Superior Performace Asphalt Pavements) es una metodología nueva en el diseño de mezclas asfálticas que surgió en EE. UU. y reemplazó los métodos tradicionales de diseño; ya que este método se basa en el análisis del desempeño donde se da nuevas especificaciones volumétricas.

#### 2.2.7.1 Propiedades Volumétricas.

La relación volumétrica entre el ligante y el agregado es un factor importante en el diseño de la mezcla compactada ya que influyen en su comportamiento durante su vida útil; siendo necesario conocer las definiciones y procedimientos de evaluación para seleccionar la mezcla más adecuada.

##### - Gravedad Especifica Bulk del Agregado

En función de que el agregado este compuesto por grueso y fino (estos tienen sus propias gravedades específicas) por lo cual la gravedad Bulk es la combinación de estas; calculándose así:

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

Donde:

- $G_{sb}$ : gravedad específica Bulk de la combinación
- $P_1, P_2, P_n$ : porcentaje individual por peso de agregado
- $G_1, G_2, G_n$ : gravedad específica bulk de cada agregado

##### - Gravedad Especifica Efectiva del Agregado

Se calcula en función de la gravedad específica teórica máxima RICE; determinándose así:

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

Donde:

- $G_{se}$ : gravedad específica efectiva del agregado
- $P_{mm}$ : porcentaje en peso del total de la mezcla suelta, 100%
- $P_b$ : porcentaje de asfalto para el peso total de la muestra

- $G_{mm}$ : gravedad específica teórica máxima de la mezcla sin vacíos de aire
- $G_b$ : gravedad específica del asfalto

**- Gravedad Específica Teórica Máxima de Mezclas con Diferentes Contenidos de Asfalto**

Se calcula para determinar el porcentaje de vacíos para cada contenido de asfalto que se tenga:

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

Donde:

- $G_{mm}$ : gravedad específica teórica máxima sin vacíos de aire
- $P_{mm}$ : porcentaje total de la mezcla suelta 100%
- $P_s$ : agregado en porcentaje en peso total de la mezcla
- $P_b$ : asfalto en porcentaje en peso total de la mezcla
- $G_{se}$ : gravedad específica efectiva del agregado
- $G_b$ : gravedad específica del asfalto

**- Absorción del Asfalto**

Se calcula como un porcentaje del peso del agregado calculándose así:

$$P_{ba} = 100 * \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} * G_{sb}} * G_b$$

Donde:

- $P_{ba}$ : cantidad de asfalto absorbido en porcentaje del peso
- $G_{se}$ : gravedad específica efectiva del agregado
- $G_b$ : gravedad específica del asfalto
- $G_{sb}$ : gravedad específica Bulk del agregado

**- Contenido de Asfalto Efectivo de la Mezcla**

Se calcula como el contenido de asfalto total menos la cantidad absorbida por parte de los agregados; siendo la parte del asfalto que cubre el exterior de los agregados y determina el comportamiento de la mezcla asfáltica:

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} * P_s$$

Donde:

- $P_{be}$ : cantidad de asfalto efectivo en porcentaje del peso
- $P_b$ : contenido de asfalto
- $P_{ba}$ : asfalto absorbido
- $P_s$ : contenido de agregado

**– Porcentaje de VMA en Mezcla Compactada**

Es la cantidad de vacíos entre las partículas de agregado compactada; esto incluye los vacíos de aire y también el contenido de asfalto efectivo:

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} * P_s}{G_{sb}}$$

Donde:

- $VMA$ : vacíos en el agregado mineral
- $G_{sb}$ : gravedad específica Bulk del agregado
- $G_{mb}$ : gravedad específica Bulk de la mezcla compactada
- $P_s$ : contenido de agregado

**– Porcentaje de Vacíos de Aire en Mezcla Compactada**

Es la cantidad de espacios de aire entre las partículas que están recubiertas en una mezcla compactada:

$$Va = 100 * \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}}$$

Donde:

- $Va$ : vacíos de aire en la mezcla compactada
- $G_{mm}$ : gravedad específica teórica máxima de la mezcla
- $G_{mb}$ : gravedad específica bulk de la mezcla compactada

**– Porcentaje de VFA en Mezcla Compactada**

Es la cantidad de vacíos de agregado mineral que se llenan de asfalto; no incluye la cantidad de asfalto absorbida:

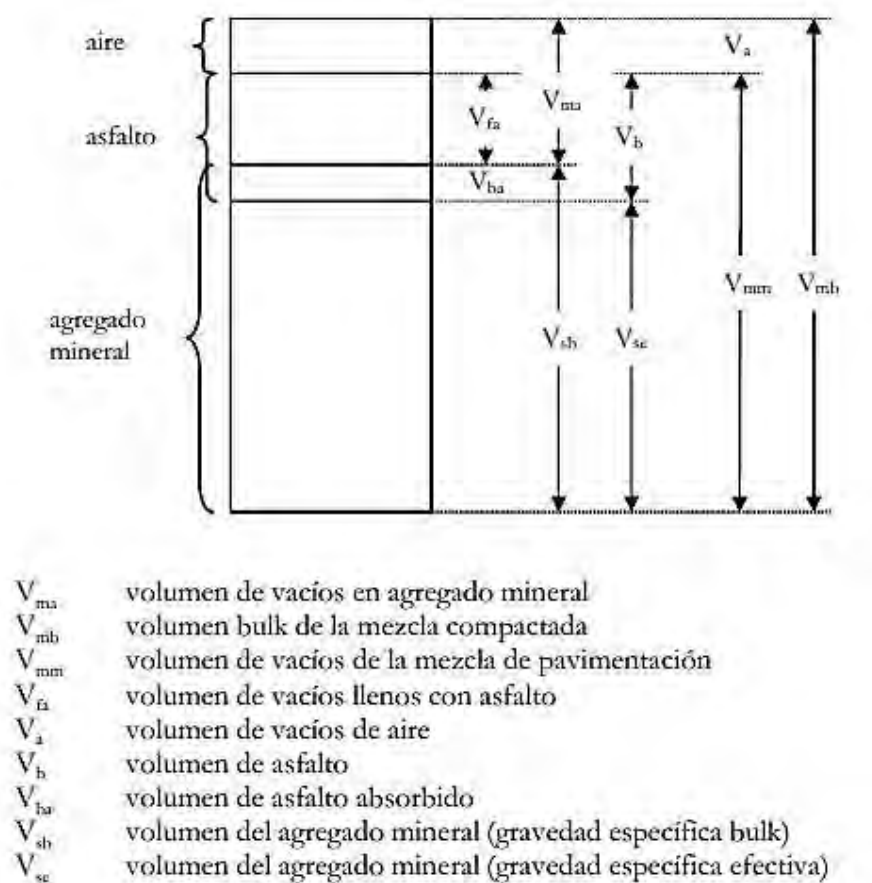
$$VFA = 100 * \frac{VMA - Va}{VMA}$$

Donde:

- *VFA*: vacíos llenados con asfalto
- *VMA*: vacíos en el agregado mineral
- *Va*: vacíos de aire en mezcla compactada

**Figura 22**

*Esquema de una muestra HMA compactada Superpave*



*Nota: Imagen tomada Silene M. & Abel O. (2003)*

### 2.2.7.2 Diseño Volumétrico de la Mezcla

Dentro de la metodología Superpave se consideran cuatro etapas dentro del diseño volumétrico; (1) elección del material pétreo y ligante, (2) diseño de espesor de la carpeta, (3) determinación del % de ligante y (4) ensayos de susceptibilidad al humedecimiento.

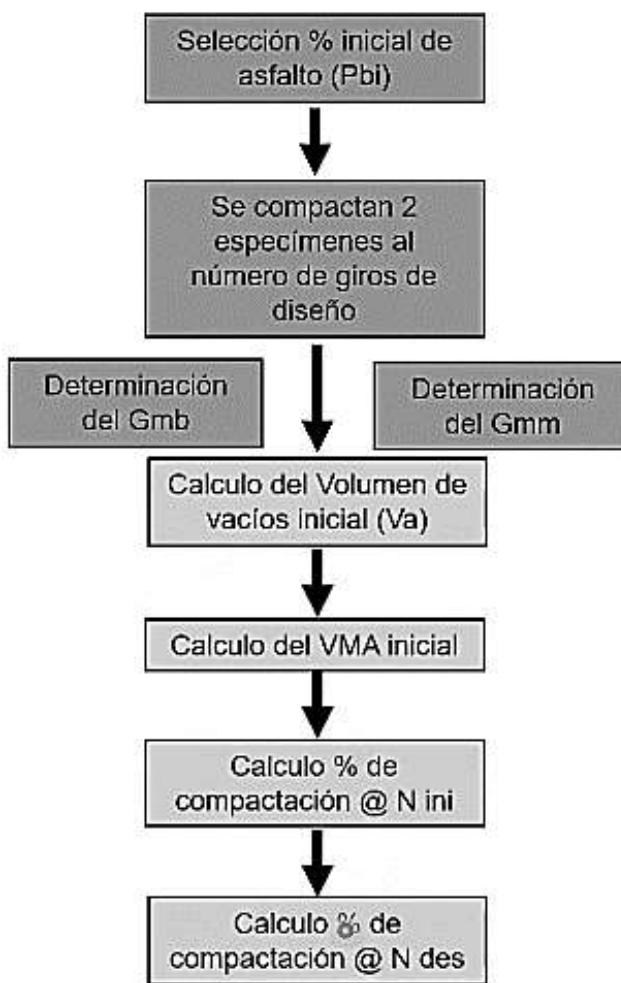
### – Selección de Materiales

El material pétreo debe de ser evaluado y seleccionado mediante los diferentes ensayos establecidos por la metodología Superpave, para determinar sus propiedades mecánicas y características de consenso y de origen, deben de cumplir con lo mínimo requerido para el método Superpave; sin embargo, la granulometría sin ser propiedad vendría a ser la característica más importante para determinar el comportamiento de la mezcla.

El ligante se determina y se clasifica en función de las temperaturas máximas y mínimas considerándose un registro de temperatura de 20 años, y realizándose los ensayos correspondientes para su caracterización.

**Figura 23**

*Elección de la granulometría correcta según la metodología Superpave*



*Nota: Imagen tomada Superpave Asphalt Mixture Design (2002)*

### – Metodología de Diseño de la Estructura de Mezcla

Para realizar a cabo un diseño estructural preciso se utiliza el compactador giratorio Superpave que es la herramienta clave que permite simular la compactación real en campo, este equipo produce especímenes de 150 mm de diámetro a alturas variables; en su uso se aplica una carga de 600kPa, a un ángulo de 1.25° y a 30 giros por minuto.

### – Compactador Giratorio Superpave

El compactador giratorio permite determinar la densidad máxima en base al número de giros; considerándose tres medidas de referencia que son el  $N_{inicial}$  (usado para medir el nivel de compactibilidad),  $N_{diseño}$  (número de giros para obtener un 4% de vacíos) y  $N_{maximo}$  (usado para que no sobrepase la compactación límite del 98%);

**Figura 24**

*Requisitos de compactación en el compactador giratorio*

ESALs (millones)	Densidad requerida (%gravedad especifica teórica máxima)			Vacíos en el agregado mineral (%), mínimo					VFA (%)	Relación polvo- ligante
	N <sub>inicial</sub>	N <sub>diseño</sub>	N <sub>máx</sub>	Tamaño máximo nominal del agregado mm						
				37.5	25.0	19.0	12.5	9.5		
< 0.3	≤ 91.5								70-80	0.6–1.2
0.3 a < 3	≤ 90.5	96.0	≤ 98.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	65-78	
3 a <10	≤ 89									
10 a < 30										
≥ 30										
									65-75	

*Nota: Imagen tomada Silene M. & Abel O. (2003)*

En el diseño de mezclas asfálticas bajo la metodología Superpave, el Manual de Carreteras EG–2013 establece criterios relacionados con el contenido de vacíos en el agregado mineral (VMA), los requerimientos de asfalto según el tipo Superpave y los parámetros vinculados al número de giros de compactación. Estos aspectos son representados en los gráficos correspondientes, los cuales permiten evaluar la estabilidad, durabilidad y resistencia de la mezcla frente a las condiciones de tránsito y clima a las que será expuesta.

**Tabla 10***Especificaciones de vacíos mínimos en el agregado mineral Superpave***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: Manual de Carreteras- Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)***Tabla 11***Especificaciones generales para MAC tipo Superpave*

**Mezcla asfáltica tipo superpave**  
**Requerimientos generales**

Parámetros de Diseño	Requerimientos
Porcentaje de vacíos con aire a los giros de diseño, $N_{dis}$	4,0
Porcentaje de la densidad máxima a los giros iniciales, $N_{ini}$	89% máx.
Porcentaje de la densidad máxima a los giros máximos, $N_{máx}$	98% máx.
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta (AASHTO T 283)	80% mín.

*Nota: Manual de Carreteras- Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)***Tabla 12***Especificaciones de vacíos llenos con asfalto Superpave*

**Mezcla asfáltica tipo superpave**  
**Vacíos llenos con asfalto (VFA)**

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

*Nota: Manual de Carreteras- Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)*

**Tabla 13**

*Especificaciones de vacíos llenos con asfalto Superpave*

**Mezcla asfáltica superpave**  
**Giros de compactación**

Tráfico (millones de ejes equivalentes)	Temperatura promedio alta del aire											
	<39°C			39-40°C			41-42°C			43-44°C		
	N <sub>ini</sub>	N <sub>dis</sub>	N <sub>máx.</sub>	N <sub>ini</sub>	N <sub>dis</sub>	N <sub>máx.</sub>	N <sub>ini</sub>	N <sub>dis</sub>	N <sub>máx.</sub>	N <sub>ini</sub>	N <sub>dis</sub>	N <sub>máx.</sub>
≤0,3	7	68	104	7	74	114	7	78	121	7	82	127
>0,3-1	7	76	117	7	83	129	7	88	138	8	93	146
>1-3	7	86	134	8	95	150	8	100	158	8	105	167
>3-10	8	96	152	8	106	169	8	113	181	9	119	192
>10-30	8	109	174	9	121	195	9	128	208	9	135	220
>30-100	9	126	204	9	139	228	9	146	240	10	153	253
>100	9	142	233	10	158	262	10	165	275	10	172	288

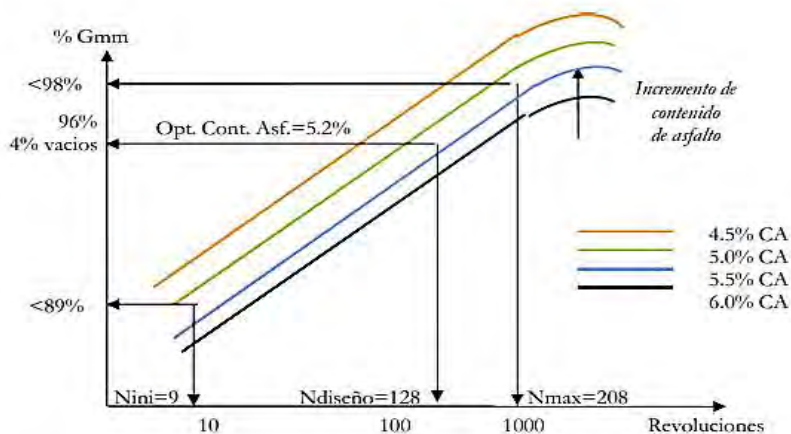
*Nota: Manual de Carreteras- Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)*

– **Contenido Óptimo de Ligante**

Para establecer la cantidad de asfalto adecuada se mide la altura del espécimen y se calcula la gravedad específica Bulk estimada; posteriormente se preparan nuevos cuerpos de prueba que serán ensayados, generándolos las curvas de densificación vs nivel de giro obteniendo el valor óptimo de ligante asfáltico para la mezcla.

**Figura 25**

*Resultado del compactador para contenido óptimo de asfalto*



*Nota: Imagen tomada Silene M. & Abel O. (2003)*



### – Sensibilidad al Humedecimiento

Según el método Superpave es necesario evaluar el daño por humedad inducida, una de las causas principales de deterioro. Esta prueba evalúa la adhesión entre el agregado y el ligante asfáltico usando la normativa AASHTO para su ejecución y control.

**Figura 26**

*Control de especímenes para ensayo de sensibilidad al humedecimiento*



*Nota: Imagen tomada Silene M. & Abel O. (2003)*

### 2.2.8 Módulo Dinámico

Los ensayos de desempeño constituyen una exigencia actual para determinar el comportamiento de la mezcla asfáltica frente a procesos de deterioro o para la comparación de estas. Su objetivo es analizar la respuesta esfuerzo-deformación bajo condiciones que simulan, en un tiempo reducido, el servicio real de la estructura.

Este ensayo permite investigar el comportamiento viscoelástico de la mezcla asfáltica, a través del uso de curvas maestras que relacionan el esfuerzo-deformación en función de varias frecuencias y temperaturas que permiten caracterizar y evaluar la mezcla ante cargas cíclicas bajo una carga sinusoidal. Dado que la mezcla asfáltica tiene una naturaleza viscoelástica debido a que no se comporta ni como un sólido elástico ni como un líquido viscoso.

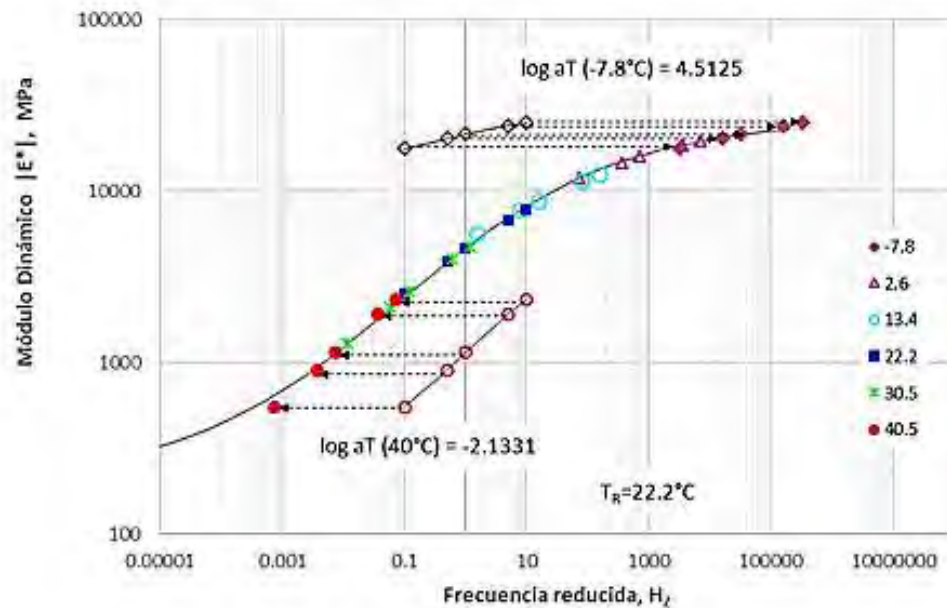
El módulo dinámico es la magnitud del módulo complejo que tiene dos componentes: el módulo de almacenamiento (la parte elástica y relacionada con la energía almacenada) y el módulo de pérdida (la parte viscosa y relacionada con la energía disipada); otra característica es el ángulo de fase (esfuerzo/deformación) variando valores entre  $0^\circ$  (sólido elástico ideal) y  $90^\circ$  (líquido viscoso ideal).

La construcción de curvas maestras permite el análisis del módulo dinámico; estas se basan en el principio de superposición de tiempo-temperatura, que establece que el comportamiento a una cierta temperatura y frecuencia es equivalente a otra temperatura y frecuencia distinta siendo

su finalidad principal extrapolar datos en un rango de temperaturas y frecuencias dadas; esto se realiza a través de la función de desplazamiento de Williams Landel Ferry para calcular factores que permitan superponer datos más amplios e interpolarlos; sin embargo también se puede utilizar modelos matemáticos como el modelo sigmoideal para ajustar los datos experimentales.

**Figura 27**

*Curva maestra de módulo dinámico*



*Nota: Imagen Tomada Instituto Mexicano Del Transporte (2018)*

El orden de las frecuencias ensayadas influye en los valores obtenidos del módulo dinámico ya que está directamente relacionado con la sensibilidad térmica de la MAC. Para la construcción de la curva se realiza el cálculo del factor de desplazamiento el cual es determinado de diferentes maneras usando distintas teorías como la función de Arrhenius; una vez construida la curva maestra esta se puede ajustar a través de la función sigmoideal:

$$\log |E^\circ| = \delta + \frac{\alpha}{1 + e^{\beta + \gamma(\log w_r)}}$$

De donde se tiene que los parámetros de ajuste  $\delta$  y  $\alpha$  están ligados a la gradación del agregado pétreo y a características del ligante como el % de asfalto y de vacíos; mientras que los coeficientes de ajuste  $\beta$  y  $\gamma$  están ligados a las propiedades reológicas del ligante asfáltico.

La respuesta de un material viscoelástico bajo la aplicación de una carga sinusoidal está fuera de fase ya que no están en sintonía, debido a ello existe un ángulo de fase que mide la

variación de aplicación entre el esfuerzo y la deformación resultante. Este tiene un rango de valores de  $0^\circ$  (elástico) hasta  $90^\circ$  (viscoso) siendo sus valores más frecuentes los valores intermedios.

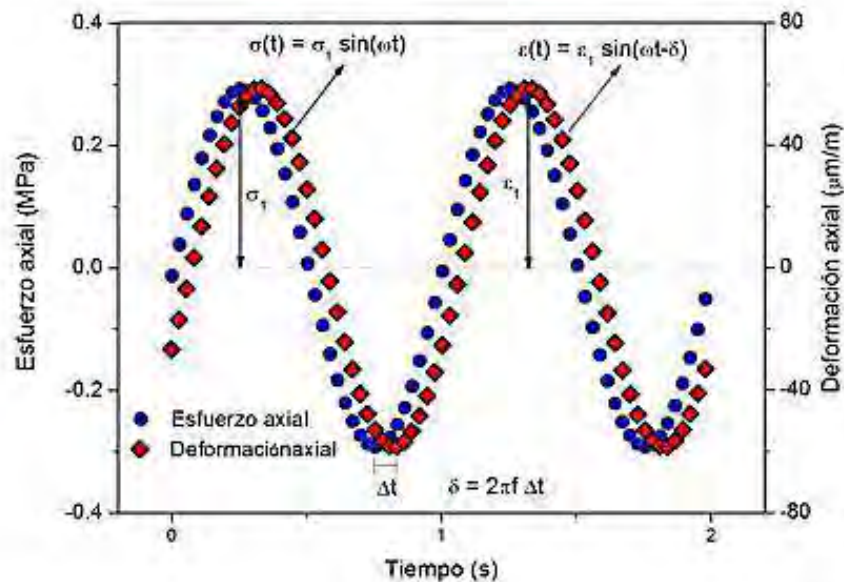
$$|E^o| = E_1 + iE_2$$

$$E_1(\text{modulo de almacenamient}) \text{ parte elastica} = |E^o| * \cos \delta$$

$$E_2(\text{modulo de perdida}) \text{ parte viscosa} = |E^o| * \sin \delta$$

## Figura 28

*Gráfico de esfuerzo vs. deformación durante el ensayo de  $E^*$*



*Nota: Imagen Tomada Delgado Alamilla 2013*

### – Principio de Superposición Tiempo-Temperatura

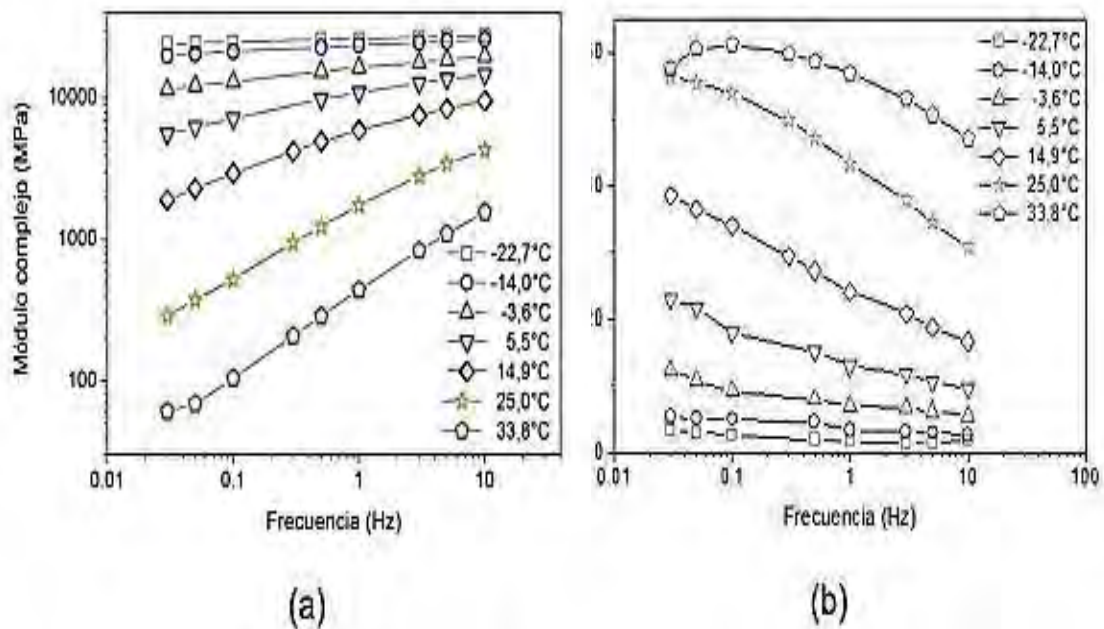
Este principio se utiliza para estimar los valores del módulo dinámico a diferentes temperaturas en función de una sola temperatura de referencia, por lo cual la mezcla es considerada como un material homogéneo (se hipotetiza como medio continuo), termosensible (es sensible a la temperatura), isotrópico (debido a la compactación) y viscoelástico (a altas temperaturas es un fluido viscoso sin capacidad de regreso y a bajas temperaturas es de tipo elástico con capacidad de retorno a su forma inicial).

### – Gráfico de Curvas Isométricas

Este tipo de gráfico representa el módulo dinámico o ángulo de fase vs la frecuencia de carga a la cual fue sometida; el análisis de la pendiente nos permite estimar la susceptibilidad cinética del material viscoelástico.

**Figura 29**

*Curvas isométricas a (módulo dinámico) y b (ángulo de fase)*



*Nota: Imagen Tomada Delgado A. (2017) Modulo Dinámico De Mezclas Asfálticas*

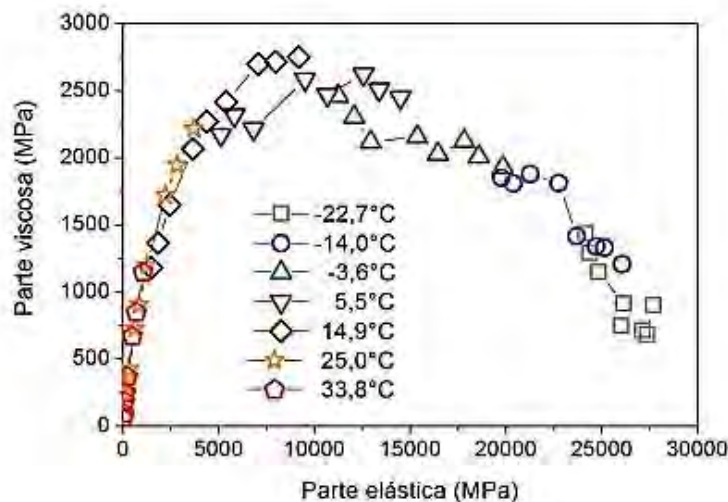
Estas graficas nos indican comportamientos ya conocidos; la primera grafica del módulo dinámico vs frecuencia se observa comportamientos conocidos en cuanto aumenta la frecuencia aumenta también el valor del módulo dinámico y en cuanto aumenta la temperatura disminuye el valor del módulo dinámico; la segunda grafica de ángulo de fase vs frecuencia tiene una relación inversa debido a que si la frecuencia aumenta el ángulo de fase tiende a bajar mientras que si la frecuencia disminuye entonces el ángulo de fase tiende a presentar valores más altos.

#### – Gráfico de Plano Cole - Cole (Plano Complejo)

Este grafico muestra la relación entre el eje de abscisas X que es la parte real elástica y el eje de las ordenadas Y que vendría a ser la parte imaginaria viscosa; esta curva se utiliza para modelar el comportamiento reológico de un material viscoelástico.

**Figura 30**

*Gráfico de Cole – Cole de material reológico*



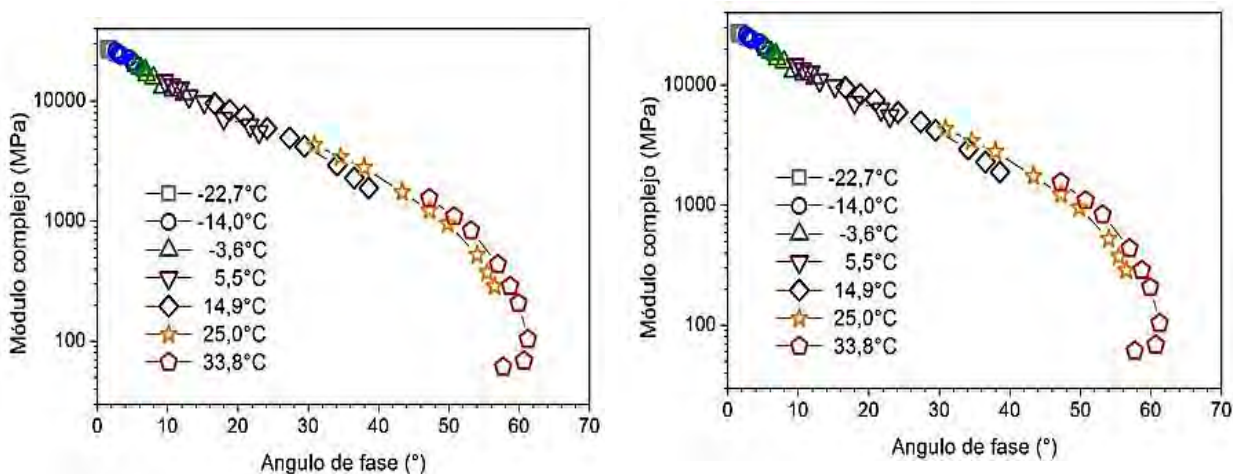
*Nota: Imagen Tomada Delgado A. (2017) Modulo Dinámico De Mezclas Asfálticas*

#### – Gráfico de Black Space

Este grafico se construye colocando en las abscisas X el valor del módulo dinámico y en el eje de las ordenadas Y el valor del ángulo de fase; similar al grafico anterior al cumplir con la equivalencia de temperatura se define una sola curva.

**Figura 31**

*Gráfico Black Space de material reológico*



*Nota: Imagen Tomada Delgado A. (2017) Modulo Dinámico De Mezclas Asfálticas*

## Capítulo III: Marco Metodológico

### 3.1 Metodología de Investigación

El objetivo principal de la investigación es buscar evaluar el módulo dinámico en un diseño Superpave de mezcla asfáltica modificada con polímero; para ello se evaluará un número determinado de canteras con la finalidad de obtener un agregado con una granulometría acorde a los lineamientos de la nueva metodología, se realizará un estudio de tráfico (volumen, cantidad y tipología de carros) con la finalidad de determinar el ESSAL dentro del tramo de estudio y un estudio de temperatura con la finalidad de obtener un PG óptimo; se elaborara la mezcla del agregado y el ligante modificado con polímero; a partir de ello se elaboraran briquetas o probetas que serán sometidas a ensayos determinando así el diseño volumétrico final; posterior a ello se someterán al ensayo de modulo dinámico finalizando con la curva maestra y susceptibilidad al humedecimiento; esta es una investigación experimental finalizando con la obtención de datos del laboratorio, esto no contempla su aplicación en ningún campo o sección de tramo estudiada.

### 3.2 Tipo de Investigación

#### 3.2.1 *Cuantitativo*

La investigación adopta un enfoque de tipo cuantitativo caracterizado por la recolección y el análisis de datos esto con el objetivo de probar hipótesis mediante el uso de técnicas estadísticas, priorizando la objetividad y la precisión de las variables manipulables; teniendo algunas características respecto a la tesis planteada:

- La finalidad de la investigación será describir, explicar, comprobar y predecir el comportamiento del módulo dinámico a partir del desempeño de la mezcla volumétrica modificada con polímero mediante los ensayos y pruebas de laboratorio.
- Se usa la lógica deductiva; ya que a partir de un tema general que viene a ser los Pavimentos Flexibles se pueden deducir o derivar temas específicos, por ejemplo: diseño Superpave. modulo dinámico, sensibilidad al humedecimiento, tratamientos, entre otros.
- Si bien esta metodología no se encuentra estudiada o implementada en nuestra región existen normativas e investigaciones de carácter nacional e internacional siendo así esta investigación una extensión de estas.

- El método de diseño de la investigación es del tipo estructurado (son un conjunto de pasos y secuencias correlativas en base a los ensayos y pruebas de laboratorio) con los cuales se determinarán un óptimo diseño de mezcla volumétrica modificada con polímeros.

### **3.3 Nivel de Investigación: Correlacional**

Se busca establecer la relación entre el diseño de mezcla asfáltica modificada con polímero bajo la metodología Superpave (variable independiente X) y su comportamiento mediante el módulo dinámico (variable dependiente Y).

El enfoque correlacional permite relacionar nuestras variables dependientes e independientes y evaluar el grado de asociación entre estas; permitirá evaluar el añadido del polímero en nuestro ligante y su influencia en el módulo dinámico dentro del diseño Superpave mediante ensayos de laboratorio; además de evaluar la susceptibilidad a la humedad de las briquetas elaboradas.

### **3.4 Diseño de la Investigación:**

#### **– Experimental**

La investigación será del tipo experimental la cual buscará establecer relaciones de tipo efecto causa a partir de controles rigurosos y pruebas bajo condiciones controladas; donde se manipularán variables, se tendrá un control de variables externas y se realizará la recolección de datos para obtener resultados precisos y replicables.

La investigación estará centrada en la experimentación y la manipulación de la variable con la finalidad de evaluar su efecto; para nuestro caso se manipulará las variables relacionadas con el diseño volumétrico Superpave, con la incorporación de polímeros en la mezcla asfáltica y se evaluará su influencia en el módulo dinámico.

#### **– Concluyente**

Esta investigación busca responder las preguntas específicas y partir de ello generar conclusiones válidas; para ello la investigación se basará en la recolección y análisis de datos numéricos mediante la observación y experimentación usados pruebas de laboratorio y monitoreando su comportamiento; así como utilizando técnicas de análisis de datos como el análisis estadístico y el análisis de regresión.

### **3.5 Población y Muestra**

#### **3.5.1 Población**

Estará conformada por la cantidad de briquetas o probetas sometidas a los diferentes ensayos para mezclas modificadas y mezcla no modificada ambas diseñadas bajo la metodología Superpave.

#### **3.5.2 Muestra**

Dentro de la investigación se realizará un muestreo del tipo no probabilístico: un muestreo que será por conveniencia donde a partir de los objetivos y necesidades que se quieren lograr en la investigación se determinaran la selección de muestras.

El objetivo principal es evaluar la influencia del polímero en el módulo dinámico a través de su ensayo característico, consecuentemente los porcentajes volumétricos de contenido de asfalto efectivo, vacíos de aire, de agregado mineral y llenos de asfalto; datos que se consiguen a través del ensayo de compactador giratorio Superpave, para el cual el investigador fija un porcentaje de asfalto óptimo y cantidad de agregado; en base a ello se realizan las variaciones pertinentes sustentados bajo la normativa y fichas técnicas disponibles.

##### **3.5.2.1 Procedimiento de muestreo.**

En el muestreo no probabilístico no se puede determinar con precisión el error estándar ni el nivel de confianza de la estimación por ello se basa en el criterio del investigador ya que no se requiere una población representativa sino una cuidadosa selección con características específicas que permite cuerpo de prueba controlado, estudiado y analizado.

##### **3.5.2.2 Tipo De Muestreo.**

Se utilizó un muestreo del tipo intencional o de juicio basado en la experiencia y conocimiento del investigador el cual seleccionará intencionalmente la población a ensayar.

##### **3.5.2.3 Tamaño De Muestra**

Para el diseño volumétrico Superpave se empleó el compactador giratorio Superpave, siguiendo los lineamientos de AASHTO T 312 y la norma ASTM correspondiente. La cantidad de briquetas para la caracterización volumétrica, sensibilidad a la humedad y demás ensayos se



presenta en la Tabla 14, donde se establecen los recuentos por mezcla convencional y modificada que garantizan la calidad y repetibilidad de las mediciones bajo condiciones controladas.

En el ensayo de módulo dinámico según la AASHTO T 342, se realizó una matriz compacta 3×3 de medición compuesta por tres temperaturas (baja–intermedia–alta) y tres frecuencias (baja–media–alta). Este esquema permite construir la curva maestra a una temperatura de referencia mediante el principio de superposición tiempo–temperatura y el ajuste de un modelo sigmoidal en frecuencia reducida, priorizando la calidad de señal y el trabajo en régimen LVE por encima del número bruto de combinaciones. Las señales en cada condición de temperatura vs. frecuencia se aceptan solo si cumplen los criterios de control de calidad de la norma (errores relativos en esfuerzo y deformación y uniformidad de amplitud y fase entre LVDTs), asegurando datos robustos para el ajuste.

Con este enfoque, para la comparación estadística entre mezclas (convencional vs. modificada) el tamaño muestral se define por el número de probetas por grupo (ver Tabla 14). Las múltiples mediciones a distintas temperaturas y frecuencias dentro de una misma probeta se tratan como medidas repetidas destinadas a estimar la curva maestra (no como réplicas independientes). Esta decisión metodológica está respaldada por la práctica MEPDG/AMPT y por estudios que validan procedimientos abreviados (p. ej., uso de tres temperaturas) sin pérdida apreciable de exactitud cuando se garantiza cobertura efectiva en frecuencia reducida y control de calidad en las mediciones.

**Tabla 14**

*Tamaño de la muestra*

ENSAYOS DE LABORATORIO	Mezcla Convencional	Mezcla Modificada
	N° de Especímenes	N° de Especímenes
Agregados	96	
Diseño Superpave de Mezcla Asfáltica	11	11
Lottman Modificado	6	6
Modulo dinámico 5°C	3	3
Modulo dinámico a 20°C	3	3
Modulo dinámico a 40°C	3	3

### **3.6 Alcance de la Investigación**

- El desarrollo de la investigación se dará en el distrito de San Sebastián, situada en la provincia de Cusco y región de Cusco, en el periodo de tiempo 2024.
- El desarrollo de la investigación estará enfocado en el análisis del módulo dinámico del diseño óptimo volumétrico Superpave de mezclas modificadas con polímero.
- Los agregados a utilizarse en el proceso de diseño volumétrico Superpave serán netamente oriundos de las canteras de la región del Cusco.
- Se realizará pruebas de laboratorio para el control de calidad del ligante elegido para el diseño de MAC.
- El proceso de diseño estará enfocado en evaluar el desempeño bajo el indicador del módulo dinámico de la mezcla asfáltica para pavimentos flexibles con mezclas calientes.
- El diseño volumétrico Superpave se realizará considerando las condiciones climáticas y de tránsito del distrito de San Sebastián, provincia de Cusco.
- Esta investigación no abordará el diseño estructural del pavimento flexible ni el impacto ambiental del uso de estas mezclas modificadas.
- La elaboración del diseño volumétrico Superpave modificada con polímeros se realizará bajo diferentes lineamientos tomando en cuenta los referidos por las siguientes organizaciones: MTC, AASHTO, ASTM, NCHRP y la FHWA.

[illegible]



**Figura 36**

*Formato de ensayo de gravedad específica y absorción en finos*

DESCRIPCION		ENSAYO			PROMEDIO
		1	2	3	
A	PESO DE MATERIAL SAT. SUP. SECA (EN AIRE) (gr)				
B	PESO DE FRASCO + AGUA				
C	PESO DE FRASCO + AGUA + A (gr)				
D	PESO DE MATERIAL + AGUA EN EL FRASCO (gr)				
E	VOL. DE MASA + VOL. DE VACIO = C-D (gr)				
F	PESO DE MATERIAL SECO EN ESTUFA (105°C/gr)				
G	VOL. DE MASA = E - (A-F) (gr)				
	P.E. BULK (BASE SECA) = F/E				
	P.E. BULK (BASE SATURADA) = A/E				
	P.E. APARENTE (BASE SECA) = F/G				
	% DE ABSORCION = ((A-F)/F*100)				
	PESO DE LA MUESTRA SATURADA (gr)				
	PESO DE LA MUESTRA SECA (gr)				
	% HUMEDAD				

**Figura 37**

*Formato de ensayo de peso específico y absorción en gruesos*

DESCRIPCION		ENSAYO			PROMEDIO
		1	2	3	
	PESO DE LA MUESTRA SAT. SUP. SECA				
	PESO DE LA MUESTRA SAT. SUP. SECA SUMERGIDA				
	MASA DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO				
	VOLUMEN DE LA MUESTRA				
	P.E. BULK DE LA MUESTRA				
	P.E. BULK DE LA MUESTRA S.S. SECA				
	P.E. APARENTE				
	% DE ABSORCION				

**Figura 38**

*Formato de ensayo de abrasión de los Ángeles*

MEDIDA DEL TAMIZ		MASA DE ENSAYO - GRADACION TIPO "A"			PROMEDIO
QUE PASA	RETENIDO SOBRE	1	2	3	
37.5 mm (1 1/2")	25 mm (1" )				
25 mm (1")	19 mm (3/4" )				
19 mm (3/4" )	12.5 mm (1/2" )				
12.5 mm (1/2" )	9.5 mm (3/8")				
TOTAL					
ANALISIS DE RESULTADOS					
PESO TOTAL INICIAL					
PESO RETENIDO TAMIZ N°12					
%DESGASTE					

**Figura 39**

*Formato de ensayo de partículas fracturadas en agregado grueso*

ENSAYO NUMERO 01								
ABERTURA MALLA			A	B		C	D	E
PASA (%)	RET. (%)	MUESTRA INICIAL (gr)	GRANULOMETRIA RETENIDO %	MASA MUESTRA (gr)	MASA PARTICULAS SIN FRACTURA (gr)	MASA PARTICULAS FRACTURADAS (gr)	% PARTICULAS FRACTURADAS ((C/B)*100)	% INDIVIDUAL PARTICULAS FRACTURADAS ((A/100)*D)
1 1/2"	1"							
1"	3/4"							
3/4"	1/2"							
1/2"	3/8"							
$\Sigma =$							$\Sigma =$	
% PARTICULAS FRACTURADAS ((E/A)*100) =								

**Figura 40**

*Formato de ensayo de angularidad del agregado fino*

DESCRIPCION	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
MASA DEL CILINDRO SIN CONTENIDO			
MASA DEL CILINDRO COMPLETO CON AGUA			
MASA DEL CILINDRO COMPLETO CON MATERIAL			
MASA DEL MATERIAL			
TEMPERATURA DEL LIQUIDO			
MASA DEL LIQUIDO			
DENSIDAD DEL LIQUIDO			
CAPACIDAD DEL CILINDRO			
DENSIDAD DEL MATERIAL AGREGADO EN BULK			

**Figura 41**

*Formato de ensayo en terrones y partículas desmenuzables*

ARCILLA EN TERRONES - AGREGADO GRUESO							
TIPO DE MUESTRA	PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	GRADACION ORIGINAL	PESO FRACCION	PESO DESPUES DE ENSAYO	PERDIDA TOTAL (%)	PERDIDA CORREGIDA (%)
1	1"	3/4"					
	3/4"	3/8"					
	3/8"	N°04					
VALOR PROMEDIO MUESTRA 1 =							
2	1"	3/4"					
	3/4"	3/8"					
	3/8"	N°04					
VALOR PROMEDIO MUESTRA 2 =							
3	1"	3/4"					
	3/4"	3/8"					
	3/8"	N°04					
VALOR PROMEDIO MUESTRA 3 =							
VALOR PROMEDIO FINAL =							

**Figura 42***Formato de ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio*

DURABILIDAD DEL AGREGADO FINO EN SOLUCION DE MAGNESIO					
TAMIZ QUE PASA	TAMIZ QUE RETIENE	% DEL RETENIDO MUESTRA ORIGINAL	PESO DE LAS FRACCIONES ANTES DEL ENSAYO	% DE PERDIDAS DESPUES DEL ENSAYO	% DE PERDIDAS CORREGIDAS
3/8"	N°04				
N°04	N°08				
N°08	N°16				
N°16	N°30				
N°30	N°50				
N°50	N°100				
N°100	----				
VALOR PROMEDIO =					

DURABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO EN SOLUCION DE MAGNESIO								
TAMIZ QUE PASA	TAMIZ QUE RETIENE	% DEL RETENIDO MUESTRA ORIGINAL	PESO DE LAS FRACCIONES ANTES DEL ENSAYO	PESO DE LAS FRACCIONES DESPUES DEL ENSAYO	PERDIDAS DESPUES DEL ENSAYO	SUMA PARCIALES DE PERDIDAS	% DE PERDIDAS DESPUES DEL ENSAYO	% DE PERDIDAS CORREGIDAS
1"	3/4"							
3/4"	1/2"							
1/2"	3/8"							
3/8"	N°04							
VALOR PROMEDIO =								

**4.1.1.4 Recolección de Datos para Asfalto.****Figura 43***Formato de ensayo de módulo dinámico*

RESUMEN DE RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO DE ENSAYO A 5°C			
	10 Hz	1 Hz	0.1 Hz
MODULO DINAMICO (Mpa)			
ANGULO DE FASE (Grados)			
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)			
PROMEDIO DE PRESION DE CONFINAMIENTO (kPa)			
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN			
CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)			
ERROR ESTANDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)			
PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)			
PROMEDIO ESTANDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)			
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)			
UNIFORMIDAD DE ANGULO DE FASE (Grados)			

**Figura 44***Formato de ensayo de Lottman modificado*

			GRUPO SATURADO/SECO		
N° PROBETAS			1	2	3
% CEMENTO ASFALTICO					
N° GOLPES POR CARA					
A	DIAMETRO	cm			
B	ESPESOR	cm			
C	PESO DE LA PROBETA SATURADA	gr			
D	PESO DE LA PROBETA EN EL AGUA	gr			
F	VOLUMEN DE LA PROBETA	cc			
G	PESO ESPECIFICO BULK DE LA PROBETA	gr/cc			
H	PESO ESPECIFICO MAXIMO	gr/cc			
I	% VACIOS	%			
J	VOLUMEN DE VACIOS	cc			
MUESTRA SATURADA EN VACIO 19 A 28" HG DE 5 A 15 MIN. AGUA DESTILADA 25 °C					
K	PESO DE LA PROBETA SATURADA	gr			
L	PESO DE LA PROBETA EN EL AGUA	gr			
M	VOLUMEN DE LA PROBETA	cc			
N	VOLUMEN DE AGUA DE ABSORCION	cc			
O	SATURACION	%			
P	HINCHAMIENTO	%			
CONDICION DE SATURACION A 24HRS. BAÑO MARIA 60 °C					
Q	ESPESOR	cm			
R	PESO DE LA PROBETA SATURADA	gr			
S	PESO DE LA PROBETA EN EL AGUA	gr			
T	VOLUMEN DE LA PROBETA	cc			
U	VOLUMEN DE AGUA DE ABSORCION	cc			
V	SATURACION	%			
W	HINCHAMIENTO	%			
X	CARGA DE TRACCION INDIRECTA	kg			
Y	RESISTENCIA SECA	kg/cm2			
Z	RESISTENCIA HUMEDAD	kg/cm2			
	% TSR				



**Figura 45***Formato de ensayo de diseño Superpave*

CARACTERISTICAS DEL AGREGADO			
MEZCLA DE AGREGADOS	1	2	3
% ARENA TRITURADA			
%GRAVA TRITURADA			
% FILLER			
GRAV. ESP ARENA TRITURADA			
GRAV. ESP GRAVA TRITURADA 3/4			
GRAV. ESP FILLER			
GRAV. ESP BULK DE LA MEZCLA			
GRAV. ESP APAR. DE LA MEZCLA			

DETERMINACION DEL CONTENIDO TEORICO DE ASFALTO - ASSHTO PP-28							
PRUEBA DE MEZCLA	GRAV. ESP. BULK DEL AGREADO (Gsb)	GRAV. ESP. BULK EFECTIVA (Gse Ini)	GRAV. ESP. APARENTE DEL AGREGADO (Gsa)	VOL. ABOSRVIDO ASF. (Vba)	VOL. ABSORVIDO ASF. EFECTIVO (Vbe)	PESO DE LA MEZCLA (Ws Ini)	% ASFALTO (Pb ini)
1							
2							
3							

DETERMINACION DE LA DENSIFICACION PARA LA MEZCLA DE LA PRUEBA								
DIAMETRO DE MOLDE =		% COMPACTACION CON EL % TEORICO DE ASFALTO						
PRUEBA DE MEZCLA	ALTURA NINI	GRAV. ESP. BULK DE LA BRIQUETA (Gmb Nini)	ALTURA Ndes	GRAV. ESP. BULK DE LA BRIQUETA (Gmb)	% COMPACTACION Nini	% COMPACTACION Ndls	% DE VACIOS	VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL (VMA)
1								
2								
3								

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE ASFALTO PARA ALCANZAR UN 4% DE VACIOS (96% DE COMPACTACION)						
PRUEBA DE MEZCLA	% ASFALTO PB Estm	VACIOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA Estm)	VACIOS LLENOS DE ASFALTO (VFA Estm)	% COMPACTACION Nini Pb Estm	% ASFALTO EFECTIVO Pbe Estm	RELACION POLVO ASFALTO DP
1						
2						
3						

#### ***4.1.2 Instrumentos y Equipos de Ingeniería.***

##### **4.1.2.1 Instrumentos y Equipos para Agregados.**

- Equipo para la evaluación de arena equivalente
- Máquina para el ensayo de abrasión de Los Ángeles
- Equipo para medir el porcentaje de partículas rotas en agregado grueso
- Instrumento para evaluar la angularidad de los finos
- Equipo para el análisis de arcilla en terrones y partículas sueltas
- Instrumento para la prueba de resistencia al sulfato de magnesio
- Equipos para medir la gravedad específica y la absorción de agregados finos
- Equipo para determinar el peso específico y la absorción de agregados gruesos
- Equipo para el análisis granulométrico mediante tamizado

##### **4.1.2.2 Instrumentos y Equipos para Mezcla Asfáltica.**

- Ensayo de punto de inflamación
- Ensayo de viscosidad Brookfield
- Ensayos de envejecimiento RTOFT y PAV
- Ensayo de corte dinámico
- Ensayo de durabilidad en tricloroetileno
- Ensayo de punto de ablandamiento
- Ensayo de Compactador giratorio Superpave
- Ensayo de Lottman modificado

##### **4.1.2.3 Instrumentos y Equipos para el Desempeño de la Mezcla Asfáltica.**

- Ensayo de Modulo dinámico

#### ***4.1.3 Laboratorios para Utilizar.***

##### **4.1.3.1 Laboratorio de la Universidad.**

- Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco

##### **4.1.3.2 Laboratorios Privados.**

- Laboratorio de Geotecnia y Control de Calidad INGEOCONTROL.

#### 4.1.4 Normas.

**Tabla 15**

*Normativas de los ensayos para agregados, ligante y mezcla asfáltica*

ENSAYOS	NORMAS
<b>ENSAYOS PARA LOS AGREGADOS</b>	
Ensayo para el valor de Equivalente de Arena de Agregado Fino	NTP 339.146:2000 y MTC E 114
Análisis Granulométrico de Agregados Gruesos y Finos.	NTP 400.012 Y MTC E 204
Gravedad Específica y Absorción de Agregados Finos	NTP 400.022 y MTC E 205
Gravedad Específica y Absorción en Agregados Gruesos	NTP 400.021 y MTC E 206
Abrasión de los Ángeles (L.A.)	NTP 400.019 y MTC E 207
Durabilidad Al Sulfato De Magnesio	NTP 400.016 y MTC E 209
Ensayo Estándar Para la Determinación del Porcentaje de Partículas Fracturadas	ASTM D 5821-13 y MTC E 210
Arcilla en Terrones y Partículas Desmenuzables en Agregados	NTP 400.015 y MTC E 212
Angularidad de agregado Fino	MTC E 222
<b>ENSAYOS PARA EL LIGANTE</b>	
Ensayo de Punto de Inflamación	ASTM D-92
Ensayo de Viscosidad Brookfield	ASTM D-4402
Ensayo de Envejecimiento RTFOT	ASTM D-2872
Ensayo de Envejecimiento PAV	ASTM D-6521
Ensayo de Solubilidad al Tricloroetileno	ASTM D-2042
<b>ENSAYOS PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA</b>	
Ensayo de Compactador Giratorio	AASHTO PP28
Ensayo de Resistencia a la Humedad Inducida o Lottman	AASHTO T 283
Ensayo de Modulo Dinámico	AASHTO TP 49 y AASHTO T 342

## 4.2 Procedimiento para la Recolección de Datos

### 4.2.1 Estudio y Control de Agregado.

#### 4.2.1.1 Muestreo para Materiales de Construcción MTC E 201.

Para el muestreo se realizaron visitas a las canteras elegidas como fuentes potenciales de agregado grueso y fino; se eligieron canteras en base a revisión bibliográfica y en la experiencia del investigador.

Se extrajeron muestras representativas de cintas transportadoras y cúmulos de agregados; en una cantidad que supera lo mínimo establecido en la normativa peruana; posteriormente se mezclaron alrededor de 3 muestras y de esta manera se obtuvo una muestra representativa.

Para el transporte del material se utilizó baldes herméticos con la finalidad de evitar pérdidas o contaminación del material extraído.

**Figura 46**

*Cantidad mínima de muestreo*

<b>Tamaño máximo nominal del agregado <sup>A</sup></b>	<b>Masa mínima aproximada para la muestra de campo Kg <sup>B</sup></b>
<b>Agregado fino</b>	
2,36 mm	10
4,76 mm	10
<b>Agregado Grueso</b>	
9,5 mm	10
12,5 mm	15
19,0 mm	25
25,0 mm	50
37,5 mm	75
50,00 mm	100
63,00 mm	125
75,00 mm	150
90,00 mm	175

*Nota: Imagen tomada del Manual de Ensayos (2016)*

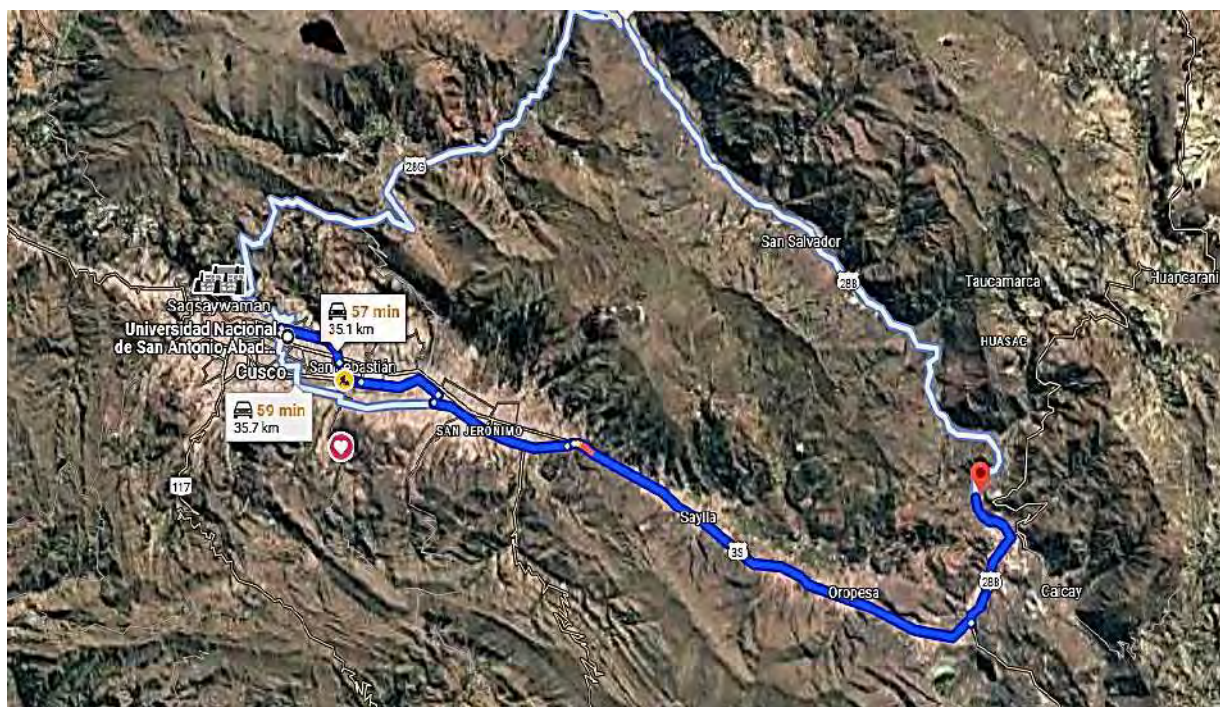
### **Muestreo de Canteras**

#### **– Cantera: Carmen Bonita – Cay Cay**

La cantera está ubicada dentro de la región del Cusco, está a 35.1 km de la ciudad del Cusco; teniendo como trayecto una parte de asfaltado y una parte de carretera (trocha); esta se sitúa al costado del río, el material es extraído por cintas transportadoras, excavadoras y camiones transportadores; tiene una capacidad de explotación alrededor de 4000m<sup>3</sup> de piedra gruesa de ½”, ¾” y 1”; alrededor de 1000m<sup>3</sup> de arena lavada; tiene un origen de depósito del tipo aluvial por la cercanía al río.

**Figura 47**

*Ubicación cantera Carmen Bonita Cay Cay*

**Tabla 16**

*Datos cantera de Carmen Bonita Cay Cay*

INFORMACIÓN DE LA CANTERA	
LOCALIZACIÓN	A 35.1 km
TIPO DE MATERIAL	Deposito Aluvial
PRODUCCIÓN DE MATERIAL	De 140 a 150 m <sup>3</sup> /día
ÁREA	140 000 m <sup>2</sup>
VOLUMEN DE PRODUCCIÓN	De 4000 a 5000 m <sup>3</sup>
USOS	Concreto, Pavimentos
EQUIPOS DE EXPLOTACIÓN	Excavadoras, cintas y camiones transportadores

**– Cantera: Vicho**

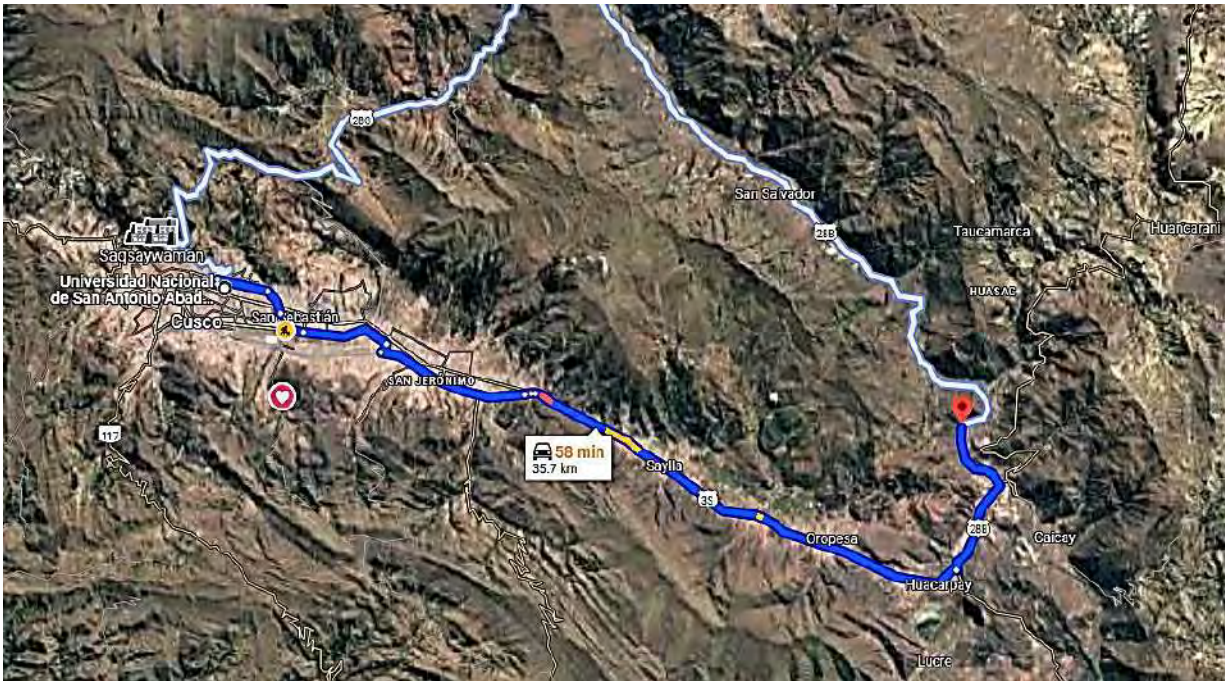
La cantera está ubicada dentro de la región del Cusco, está a 35.7 km de la ciudad del Cusco; teniendo un trayecto completamente asfaltado de dos carriles; esta se ubica al costado de



la carretera San Salvador – Pisaq; predomina la extracción de arena triturada y de piedra chancada de 1”;1/2” y ¾”; el método de extracción es a través de cintas transportadoras y camiones; tiene una capacidad de explotación de alrededor de 5000 m3 entre piedra y agregado.

**Figura 48**

*Ubicación cantera Vicho San Salvador*



**Tabla 17**

*Datos cantera de Vicho San Salvador*

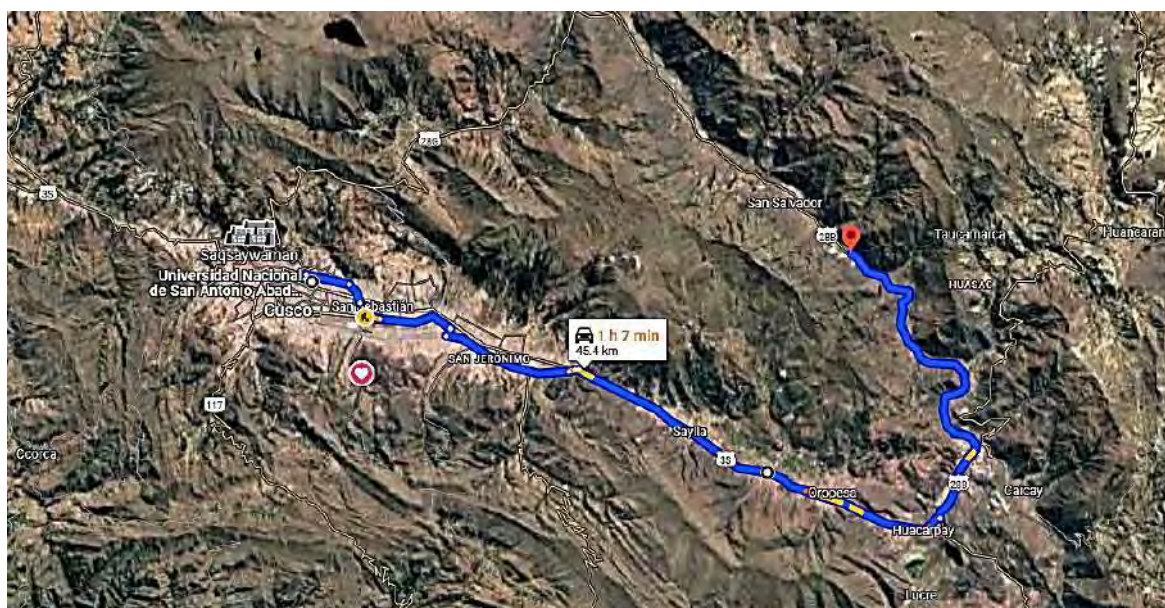
INFORMACIÓN DE LA CANTERA	
LOCALIZACIÓN	A 35.7 km
TIPO DE MATERIAL	Rocoso
PRODUCCIÓN DE MATERIAL	De 100 a 120 m3/día
AREA	9 000 m2
VOLUMEN DE PRODUCCIÓN	De 3000 a 4000 m3
USOS	Concreto, Pavimentos
EQUIPOS DE EXPLOTACIÓN	Excavadoras, cintas y camiones transportadores

– **Cantera: Amaru**

La cantera está ubicada dentro de la región del Cusco, está a 45.4 km de la ciudad del Cusco, teniendo un trayecto completamente asfaltado de dos carriles; está situada al costado de la carretera San Salvador – Písaq; produce arena triturada, arena limpia, piedra chancada de  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ "; 1"; la explotación de la cantera es a través de cintas transportadoras y camiones; tiene una capacidad de explotación de alrededor de 1 000 m<sup>3</sup> en total.

**Figura 49**

*Ubicación cantera Amaru San Salvador*



**Tabla 18**

*Datos cantera Amaru San Salvador*

INFORMACIÓN DE LA CANTERA	
LOCALIZACIÓN	A 45.4 km
TIPO DE MATERIAL	Rocoso
PRODUCCION DE MATERIAL	De 300 a 350 m <sup>3</sup> /día
AREA	70 000 m <sup>2</sup>
VOLUMEN DE PRODUCCIÓN	De 9000 a 10000 m <sup>3</sup>
USOS	Concreto, Pavimentos
EQUIPOS DE EXPLOTACIÓN	Excavadoras, cintas y camiones transportadores



#### 4.2.1.2 Análisis Granulométrico por Tamizado MTC E 204.

Las muestras recolectadas para los ensayos de análisis granulométrico provenientes de las tres canteras fueron trasladadas en recipientes herméticos correctamente habilitados hacia el laboratorio de la facultad de ingeniería civil dentro de la universidad.

Los equipos e instrumentos empleados para el ensayo son los tamices normados según la NTP; tamizadora mecánica, balanza calibrada con una sensibilidad al 0.1% y una precisión aproximada al 0.1 gr.

La determinación de la gradación de los agregados es fundamental en el diseño Superpave; para ello se realiza el cuarteo del material extraído de cantera, obteniéndose tres muestras de manera aleatoria, el material se coloca en la tamizadora mecánica, posteriormente se pesan las muestras retenidas por cada tamiz utilizando la balanza calibrada; la serie de tamices se basa en la norma técnica peruana 400.012, de acuerdo con los requisitos especificados para Superpave.

**Figura 50**

*Huso granulométrico de Superpave para agregado*

Tamaño del tamiz mm	Puntos de Control		Línea de Máxima Densidad	Zona de Restricción		Formula de Mezcla	Tolerancia (**)
				Mínimo	Máximo		
25		100,0	100,0				
19,00	100,0	90,0	88,4				
12,50			73,2				
9,50			59,6				
4,75			49,5			*	(6)
2,36	49,0	23,0	34,6	34,6	34,6	*	(6)
1,18			25,3	22,3	28,3		
0,60			18,7	16,7	20,7	*	(4)
0,30			13,7	13,7	13,7	*	(3)
0,15			10,0				
0,075	8,0	2,0	7,3			*	(2)

*Nota: Imagen tomada de la norma MTC E 203*

#### Toma de Datos de las Canteras Estudiadas

A continuación, se mostrarán los datos registrados por peso retenido (gr) en el tamiz, correspondientes a tres muestras por cantera, tanto para agregado fino como para agregado grueso.



**Tabla 19***Pesos del análisis granulométrico de agregado fino – cantera Amaru*

IDENTIFICACIÓN		ARENA TRITURADA		
DESCRIPCIÓN		CANTERA AMARU – SAN SALVADOR		
MALLA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	
No. Tamiz	Peso (gr)	Peso (gr)	Peso (gr)	
3/8"	0.00	0.00	0.00	
# 4	137.11	136.82	149.64	
# 8	293.24	377.48	362.10	
# 16	176.26	232.25	230.76	
# 30	117.45	141.12	131.67	
# 50	77.04	78.58	73.21	
# 100	53.62	15.40	40.97	
# 200	33.49	21.23	10.10	
Pasa # 200	116.51	2.11	1.64	
<b>Masa total retenida (gr)</b>	<b>1004.71</b>	<b>1005.00</b>	<b>1000.10</b>	

**Tabla 20***Pesos del análisis granulométrico de agregado grueso – cantera Amaru*

IDENTIFICACIÓN		PIEDRA CHANCADA		
DESCRIPCIÓN		CANTERA AMARU – SAN SALVADOR		
MALLAS	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	
mm	Peso(gr)	Peso (gr)	Peso (gr)	
1"	0.00	0.00	0.00	
3/4"	2217.03	2293.80	2362.49	
1/2"	1788.62	1714.03	1622.70	
3/8"	502.37	494.48	506.56	
# 4	481.53	487.89	501.06	
# 8	6.46	6.44	7.18	
# 16	1.25	0.69	0.92	
# 30	0.81	4.21	4.96	
# 50	0.73	0.38	0.92	
# 100	1.17	0.61	1.31	
# 200	0.95	0.50	1.04	
Pasa # 200	0.59	0.46	1.07	
<b>Masa total retenida (gr)</b>	<b>5001.50</b>	<b>5003.50</b>	<b>5010.20</b>	

**Tabla 21**

*Pesos del análisis granulométrico de agregado fino – cantera Carmen Bonita*

IDENTIFICACIÓN		ARENA TRITURADA	
DESCRIPCIÓN		CANTERA CARMEN BONITA – CAY CAY	
MALLA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
No. Tamiz	Peso (gr)	Peso (gr)	Peso (gr)
3/8"	0.00	0.00	0.00
# 4	418.84	426.81	440.14
# 8	357.41	310.76	305.91
# 16	200.57	173.95	186.83
# 30	74.10	70.53	82.85
# 50	27.92	33.31	35.14
# 100	11.51	18.45	16.07
# 200	4.98	8.19	7.30
Pasa # 200	3.30	3.71	4.17
<b>Masa total retenida (gr)</b>	<b>1098.63</b>	<b>1045.71</b>	<b>1078.41</b>

**Tabla 22**

*Pesos del análisis granulométrico de agregado grueso – cantera Carmen Bonita*

IDENTIFICACION		PIEDRA CHANCADA	
DESCRIPCION		CANTERA CARMEN BONITA – CAY CAY	
MALLA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
No. Tamiz	Peso (gr)	Peso (gr)	Peso (gr)
1"	0.00	0.00	0.00
3/4"	2446.12	2443.52	2444.45
1/2"	1417.70	1416.19	1416.73
3/8"	646.71	646.02	646.27
# 4	330.22	329.87	329.99
# 8	162.54	162.37	162.43
# 16	0.74	0.74	0.74
# 30	0.96	0.96	0.96
# 50	0.74	0.74	0.74
# 100	0.75	0.75	0.75
# 200	0.86	0.86	0.86
Pasa # 200	0.89	0.89	0.89
<b>Masa total retenida (gr)</b>	<b>5008.22</b>	<b>5002.90</b>	<b>5004.80</b>

**Tabla 23***Pesos del análisis granulométrico de agregado fino – cantera Vicho*

IDENTIFICACIÓN		ARENA TRITURADA		
DESCRIPCIÓN		CANTERA VICHO – SAN SALVADOR		
MALLA		MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
No. Tamiz		Peso (gr)	Peso (gr)	Peso (gr)
3/8"		0.00	0.00	0.00
# 4		278.28	276.26	337.34
# 8		302.27	308.70	294.48
# 16		211.09	232.98	199.45
# 30		115.96	113.95	106.56
# 50		59.83	51.43	51.46
# 100		35.30	24.16	24.20
# 200		14.71	7.86	7.06
Pasa # 200		1.87	1.95	1.80
<b>Masa total retenida (gr)</b>		<b>1019.31</b>	<b>1017.29</b>	<b>1022.35</b>

**Tabla 24***Pesos del análisis granulométrico de agregado grueso – cantera Vicho*

IDENTIFICACIÓN		PIEDRA CHANCADA		
DESCRIPCIÓN		CANTERA VICHO – SAN SALVADOR		
MALLA		MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
mm		Peso (gr)	Peso (gr)	Peso (gr)
1"		0.00	0.00	0.00
3/4"		1679.74	1772.93	1570.86
1/2"		1557.24	1787.05	1538.79
3/8"		1055.59	951.23	989.45
# 4		703.61	487.85	917.63
# 8		10.52	6.58	7.87
# 16		1.00	1.05	2.55
# 30		0.87	1.01	1.82
# 50		0.73	0.87	1.02
# 100		0.60	0.73	0.80
# 200		0.33	0.64	0.44
Pasa # 200		0.20	0.53	0.07
<b>Masa total retenida (gr)</b>		<b>5010.43</b>	<b>5010.45</b>	<b>5031.30</b>

#### 4.2.1.3 Gravedad Específica y Absorción de Agregados Finos MTC E 205

Los instrumentos requeridos para la ejecución de este ensayo fueron un juego de tamices normados por la NTP; tamizadora mecánica, balanza con una sensibilidad al 0.1% con una

precisión aproximada al 0.1gr, picnómetro, horno de secado, espátula, embudo, probeta graduada y agua destilada.

Las muestras de agregado fino se sumergen en agua por 24 horas para alcanzar la saturación, transcurrido el tiempo se retira de la inmersión para su secado superficial en el horno con la finalidad de obtener un peso relativamente constante, se prosigue el cálculo del peso, se coloca dentro del picnómetro, se llena hasta el volumen indicado con agua destilada hasta una determinada altura, se procede a eliminar el aire atrapado a través de movimientos suaves y se vuelve a llenar el picnómetro; luego de ello se obtienen los pesos del picnómetro más la muestra y se repite el procedimiento.

### Toma de Datos de las Canteras Estudiadas

**Tabla 25**

*Gravedad específica de agregado fino cantera Carmen Bonita – arena triturada*

DESCRIPCIÓN	ENSAYO		
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
A MASA DE MATERIAL SAT. SUP. SECA (gr)	499.86	499.64	499.47
B PESO DEL MATRAZ (gr)	180.00	180.00	180.00
C MASA DEL MATERIAL + MASA DEL MATRAZ (gr)	<b>679.86</b>	<b>679.64</b>	<b>679.47</b>
D PESO DE MATERIAL + MATRAZ + AGUA (gr)	970.74	903.69	959.30
E MASA DEL AGUA (gr)	208.97	223.05	218.83
F MASA DEL MATERIAL SECO (gr)	489.00	488.50	488.00
G VOLUMEN DEL MATRAZ (cm <sup>3</sup> )	500.00	500.00	500.00

**Tabla 26**

*Gravedad específica de agregado fino cantera Vicho – arena triturada*

DESCRIPCIÓN	ENSAYO		
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
A MASA DE MATERIAL SAT. SUP. SECA (gr)	468.14	467.61	444.34
B PESO DEL MATRAZ (gr)	180.00	180.00	180.00
C MASA DEL MATERIAL + MASA DEL MATRAZ (gr)	<b>648.14</b>	<b>647.61</b>	<b>624.34</b>
D PESO DE MATERIAL + MATRAZ + AGUA (gr)	946.94	964.87	922.24
E MASA DEL AGUA (gr)	201.20	182.73	202.10
F MASA DEL MATERIAL SECO (gr)	458.74	458.67	434.52
G VOLUMEN DEL MATRAZ (cm <sup>3</sup> )	500.00	500.00	500.00

**Tabla 27***Gravedad específica de agregado fino cantera Amaru - arena*

DESCRIPCION	ENSAYO		
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
A MASA DE MATERIAL SAT. SUP. SECA (gr)	499.92	495.83	491.58
B PESO DEL MATRAZ (gr)	180.00	180.00	180.00
C MASA DEL MATERIAL + MASA DEL MATRAZ (gr)	<b>679.92</b>	<b>675.83</b>	<b>671.58</b>
D PESO DE MATERIAL + MATRAZ + AGUA (gr)	990.68	989.79	987.78
E MASA DEL AGUA (gr)	189.16	186.03	183.79
F MASA DEL MATERIAL SECO (gr)	493.70	489.27	485.22
G VOLUMEN DEL MATRAZ (cm <sup>3</sup> )	500.00	500.00	500.00

**4.2.1.4 Gravedad Especifica y Absorción de Agregado Grueso MTC E 206**

Los equipos utilizados para la ejecución de este ensayo fueron un juego de tamices normados por la NTP; tamizadora mecánica, balanza con una sensibilidad al 0.1% con una precisión aproximada al 0.1gr, picnómetro, horno de secado, espátula, embudo, probeta graduada y agua destilada.

Las muestras de agregado grueso obtenidas se sumergen en agua por 24 horas para saturarlas, transcurrido el tiempo se retira de la inmersión para su secado superficial con una franela o toalla, se prosigue a pesar para luego ser llevado al horno, finalmente la muestra es retirada del horno para ser pesada en su condición seca.

**Toma de Datos de las Canteras Estudiadas.****Tabla 28***Gravedad específica de agregado grueso cantera Amaru – piedra chancada*

DESCRIPCION	ENSAYO		
	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
MASA SAT. SUP. SECA (gr)	3003.92	3008.13	3006.93
MASA SAT. SUP. SECA SUMERGIDA (gr)	1861.91	1859.40	1883.22
PESO SECADA AL HORNO (gr)	2970.77	2975.12	2971.51
VOLUMEN DE LA MASA (cm <sup>3</sup> )	1142.01	1148.73	1123.71
P.E. BULK DE LA MUESTRA (kg/m <sup>3</sup> )	2.601	2.590	2.624
P.E. BULK DE LA MUESTRA S.S. SECA (kg/m <sup>3</sup> )	2.630	2.619	2.676
P.E. APARENTE (kg/m <sup>3</sup> )	2.679	2.667	2.730
% DE ABSORCION (%)	1.10	1.10	1.20

**Tabla 29***Gravedad de específica de agregado grueso cantera Vicho – piedra chancada*

DESCRIPCION	ENSAYO		
	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA
	01	02	03
MASA SAT. SUP. SECA (gr)	3004.14	3005.46	3001.43
MASA SAT. SUP. SECA SUMERGIDA (gr)	1845.75	1896.13	1798.23
PESO SECADA AL HORNO (gr)	2992.23	2988.56	2980.81
VOLUMEN DE LA MASA (cm <sup>3</sup> )	1158.39	1109.33	1203.20
P.E. BULK DE LA MUESTRA (kg/m <sup>3</sup> )	2.583	2.694	2.477
P.E. BULK DE LA MUESTRA S.S. SECA (kg/m <sup>3</sup> )	2.593	2.709	2.495
P.E. APARENTE (kg/m <sup>3</sup> )	2.610	2.736	2.521
% DE ABSORCION (%)	0.40	0.60	0.70

**Tabla 30***Gravedad de específica de agregado grueso Carmen Bonita – piedra*

DESCRIPCION	ENSAYO		
	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA
	01	02	03
MASA SAT. SUP. SECA (gr)	3003.15	3008.13	3006.93
MASA SAT. SUP. SECA SUMERGIDA (gr)	1935.75	1920.42	1917.36
PESO SECADA AL HORNO (gr)	2964.69	2977.74	2971.81
VOLUMEN DE LA MASA (cm <sup>3</sup> )	1067.40	1087.71	1089.57
P.E. BULK DE LA MUESTRA (kg/m <sup>3</sup> )	2.777	2.738	2.728
P.E. BULK DE LA MUESTRA S.S. SECA (kg/m <sup>3</sup> )	2.814	2.766	2.760
P.E. APARENTE (kg/m <sup>3</sup> )	2.881	2.816	2.818
% DE ABSORCION (%)	1.30	1.00	1.20

**4.2.1.5 Abrasión de Los Ángeles MTC E 207.**

Para la ejecución de este ensayo se emplea la máquina de Los Ángeles, equipada con sus respectivas billas o esferas de acero con un diámetro y masa reguladas bajo la normativa peruana vigente; se necesita el tamiz N°12 para determinar el nivel de desgaste; una balanza con un nivel de error de 0.1% con una precisión de 0.1gr.

La evaluación del nivel de desgaste y de la resistencia que posean los agregados gruesos sometidos a la abrasión, impacto y trituración, comienza eligiendo primero la gradación del material para así determinar la cantidad de muestra y masa de la cargar a utilizar según la normativa peruana.

**Tabla 31***Gradación para muestra de agregado*

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 (⅜")	1 250 ± 10	2 500 ± 10	-,-	-,-
9,5 mm (⅜")	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: Imagen tomada de la norma MTC E 207*

En este caso, el tamaño máximo nominal del agregado es ¾", por consiguiente, se consideró la fracción que pasa por el tamiz de 1" y es retenido por ¾", obteniendo la gradación de tipo A, con una masa a evaluar de 5000 +/- 10g. Una vez definida la gradación; se establecieron los pesos de las fracciones y la cantidad de esferas en función del tipo de gradación, tal como se indica en la siguiente figura.

**Figura 51***Número de esferas según tipo de gradación*

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

*Nota: Imagen tomada de la norma MTC E 207*

Posteriormente, se coloca la muestra preparada con la cantidad de esferas requeridas dentro de la máquina; el equipo va a rotar de una rapidez promedio de 500 revoluciones en un tiempo de 15 minutos; concluido el tiempo la muestra triturada se somete al tamiz #12 registrando la fracción que lo atraviesa, se determina el porcentaje de desgaste a partir de la masa retenida y de la masa inicial.

### Toma de Datos de las Canteras Estudiadas.

**Tabla 32**

*Abrasión de Los Ángeles cantera Carmen Bonita – piedra*

TIPO DE GRADACIÓN		TIPO "A"		
CARGA ABRASIVA		5000+/-25 gr		
MEDIDA DEL TAMIZ (in)		MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
QUE PASA	RETENIDO SOBRE	(gr)	(gr)	(gr)
1 1/2"	1"	1286.80	1284.50	1280.61
1"	3/4"	1267.55	1253.91	1274.64
3/4"	1/2"	1238.36	1279.52	1256.76
1/2"	3/8"	1236.25	1252.07	1254.75
TOTAL (gr)		5028.96	5070.00	5066.76

**Tabla 33**

*Abrasión de Los Ángeles cantera Amaru – piedra chancada*

TIPO DE GRADACION		TIPO "A"		
CARGA ABRASIVA		5000+/-25 gr		
MEDIDA DEL TAMIZ (in)		MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
QUE PASA	RETENIDO SOBRE	(gr)	(gr)	(gr)
1 1/2"	1"	1282.00	1255.46	1263.15
1"	3/4"	1247.16	1268.08	1254.64
3/4"	1/2"	1262.55	1259.12	1276.12
1/2"	3/8"	1288.94	1279.80	1258.97
TOTAL (gr)		5080.65	5062.46	5052.88

**Tabla 34**

*Abrasión de Los Ángeles cantera Vicho – piedra chancada*

TIPO DE GRADACION		TIPO "A"		
CARGA ABRASIVA		5000+/-25 gr		
MEDIDA DEL TAMIZ (in)		MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
QUE PASA	RETENIDO SOBRE	(gr)	(gr)	(gr)
1 1/2"	1"	1275.48	1256.39	1264.88
1"	3/4"	1240.82	1269.02	1256.36
3/4"	1/2"	1256.13	1260.06	1277.87
1/2"	3/8"	1282.38	1280.75	1260.70
TOTAL (gr)		5054.81	5066.22	5059.81



#### 4.2.1.6 Durabilidad al Sulfato de Magnesio MTC E 209.

Los materiales necesarios para la ejecución de este ensayo son un juego de tamices desde el número 1 ½" hasta el N°04 para agregados gruesos y desde la N°04 hasta la N°100 para agregados finos, envases para la solución de sulfato de magnesio, balanza con un nivel de error de 0.1% con precisión de 0.1gr. y horno de secado.

Para establecer el nivel de resistencia del agregado al deterioro por las acciones de soluciones saturadas, se preparó la muestra previamente lavada y secada en el horno hasta obtener un peso constante; luego se tamiza para separar el agregado según su gradación y se colocan en los envases; se somete a inmersión bajo la solución con un tiempo de 16h a 18h, el envase se tapa para evitar la evaporación; posterior a este tiempo se deja escurrir 15min y luego se lleva al horno; luego de ello se realiza el ensayo de granulometría, se determina el porcentaje que pasa y se obtiene el nivel de desgaste.

**Figura 52**

*Pesos retenidos según tamiz agregado fino*

Pasa el tamiz normalizado	Retenido sobre el Tamiz normalizado
600µm (Nº 30)	300µm (Nº 50)
1,18 mm (Nº 16)	600µm (Nº 30)
2,36 mm (Nº 8)	1,18 mm (Nº 16)
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)
9,50 mm (3/8")	4,75 mm (Nº 4)

*Nota: Imagen tomada de la norma MTC E 209*

**Figura 53**

*Pesos retenidos según tamiz agregado grueso*

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

*Nota: Imagen tomada de la norma MTC E 209*

## Toma de Datos de las Canteras Estudiadas

**Tabla 35**

*Durabilidad al sulfato de magnesio cantera Amaru – arena*

<b>RESISTENCIA DEL AGREGADO FINO EN SOLUCION DE MAGNESIO</b>				
MALLA QUE PASA	TAMIZ QUE RETIENE	% RETENIDO MUESTRA ORIGINAL (gr)	% RETENIDO REFERIDO (gr)	PESO DE LAS FRACCIONES ANTES DEL ENSAYO (gr)
3/8"	N°04	13.60	17.064	300.15
N°04	N°08	29.20	36.637	301.10
N°08	N°16	17.50	21.957	300.08
N°16	N°30	11.70	14.680	300.00
N°30	N°50	7.70	9.661	300.03
N°50	----			
<b>TOTAL (gr)</b>		<b>79.7</b>	<b>100.00</b>	

**Tabla 36**

*Durabilidad al sulfato de magnesio cantera Amaru – piedra chancada*

<b>DURABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO EN SOLUCION DE MAGNESIO</b>				
TAMIZ QUE PASA	TAMIZ QUE RETIENE	% RETENIDO MUESTRA ORIGINAL (gr)	% RETENIDO REFERIDO (gr)	PESO DE LAS FRACCIONES ANTES DEL ENSAYO (gr)
1"	3/4"	0.00	0.00	1512.74
3/4"	1/2"	44.20	49.39	673.30
1/2"	3/8"	35.70	39.89	330.92
3/8"	N°04	9.60	10.73	300.74
<b>TOTAL (gr)</b>		<b>89.50</b>	<b>100.00</b>	

### 4.2.1.7 Arcilla en Terrones y Partículas Desmenuzables MTC E 212.

Para este ensayo se requiere una balanza con un nivel de error de 0.1% con una precisión de 0.1gr, horno de secado, recipientes metálicos, juego de tamices normados y agua destilada.

El ensayo se realiza empleando la muestra retenida en la malla N°200; previamente secada hasta obtener un peso relativamente constante, se debe de realizar el ensayo por separado tanto para el agregado grueso y fino, estos separados por la malla N°04; luego se sumerge bajo el agua destilada por un tiempo de 24hrs; se utilizara el dedo pulgar e índice para el desmenuzamiento de los terrones de arcilla; a través del ensayo de tamizado húmedo serán clasificadas como terrones o partículas desmenuzables; luego de ello se lleva al horno y se calcula el peso en porcentaje.

**Figura 54**

*Peso mínimo de muestra de arcilla y partículas desmenuzables*

Tamaño de las partículas de las muestras	Peso mínimo de la muestra (g)
4,75 mm a 9,5 mm (No.4 a ¾ pulg)	1000
9,5 mm a 19,0 mm (¾ pulg a ¾ pulg)	2000
19,0 mm a 37,5 mm (¾ pulg a 1 ½ pulg)	3000
Mayor que 37,5 mm (1 ½ pulg)	5000

*Nota: Imagen tomada de la norma MTC E 212*

### Toma de Datos de las Canteras Estudiadas

**Tabla 37**

*Arcilla en terrones cantera Amaru – arena*

TIPO		AGREGADO FINO					
MEDIDA DEL TAMIZ		MUESTRA 1		MUESTRA 2		MUESTRA 3	
QUE PASA	RETENIDO SOBRE	PESO ANTES (gr)	PESO DESPUES (gr)	PESO ANTES (gr)	PESO DESPUES (gr)	PESO ANTES (gr)	PESO DESPUES (gr)
Nº04	Nº16	100.85	98.42	100.24	97.65	100.45	98.32
TOTAL (gr)		100.85	98.42	100.24	97.65	100.45	98.32

**Tabla 38**

*Arcilla en terrones cantera Carmen Bonita – arena*

TIPO		AGREGADO FINO					
MEDIDA DEL TAMIZ		MUESTRA 1		MUESTRA 2		MUESTRA 3	
QUE PASA	RETENIDO SOBRE	PESO ANTES (gr)	PESO DESPUES (gr)	PESO ANTES (gr)	PESO DESPUES (gr)	PESO ANTES (gr)	PESO DESPUES (gr)
Nº04	Nº16	98.23	95.37	97.45	93.70	96.34	93.53
TOTAL (gr)		98.23	95.37	97.45	93.70	96.34	93.53

**Tabla 39***Partículas desmenuzables cantera Amaru – piedra chancada*

TIPO		AGREGADO GRUESO					
MEDIDA DEL TAMIZ		MUESTRA 1		MUESTRA 2		MUESTRA 3	
QUE PASA	RETENIDO SOBRE	PESO ANTES (gr)	PESO DESPUES (gr)	PESO ANTES (gr)	PESO DESPUES (gr)	PESO ANTES (gr)	PESO DESPUES (gr)
1"	3/4"	3168.52	2954.41	3157.94	2955.96	3179.26	2939.64
3/4"	3/8"	2045.25	1955.38	2050.66	1961.16	2047.49	1959.19
3/8"	N°04	1034.77	979.49	1031.41	977.32	1034.70	979.04
TOTAL (gr)		6248.54	5889.28	6240.01	5894.44	6261.45	5877.87

**Tabla 40***Partículas desmenuzables cantera Carmen Bonita – piedra*

TIPO		AGREGADO GRUESO					
MEDIDA DEL TAMIZ		MUESTRA 1		MUESTRA 2		MUESTRA 3	
QUE PASA	RETENIDO SOBRE	PESO ANTES (gr)	PESO DESPUES (gr)	PESO ANTES (gr)	PESO DESPUES (gr)	PESO ANTES (gr)	PESO DESPUES (gr)
1"	3/4"	3017.64	2985.86	3007.56	2981.65	3027.87	2983.43
3/4"	3/8"	2005.15	1980.11	2010.45	1985.65	2007.34	1983.12
3/8"	N°04	1004.63	991.98	1001.37	989.27	1004.56	991.72
TOTAL (gr)		6027.42	5957.95	6019.38	5956.57	6039.77	5958.27

#### 4.2.1.8 Partículas Fracturadas en el Agregado Grueso MTC E 210.

Para el desarrollo de este ensayo se requiere un juego de tamices desde 1 ½" hasta 3/8"; espátulas y recipientes para guardar los agregados separados de acuerdo a su gradación.

Para determinar el porcentaje se debe de lavar primero el agregado con la finalidad de eliminar el material fino y suciedades, posteriormente es llevado al horno de secado para obtener un peso relativamente constante; luego de ello se realiza el tamizado para obtener la gradación por separado; el análisis consiste en una evaluación visual, considerando que una cara esta fracturada si se observa que al menos una cuarta parte de su sección total esta fracturada; entonces se concluye que tiene una cara fracturada. Una vez realizado el procedimiento con todo el material se procede a pesar la cantidad total, la cual se expresará como un porcentaje del peso total siendo el resultado la cantidad de partículas fracturadas presentes dentro de la muestra ensayada.

## Toma de Datos de las Canteras Estudiadas

**Tabla 41**

*Caras fracturadas cantera Amaru – piedra chancada*

IDENTIFICACION		PIEDRA CHANCADA		
MEDIDA DEL TAMIZ		MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
QUE PASA	RETENIDO SOBRE			
1 1/2"	1"	408.72	311.86	373.71
1"	3/4"	1114.34	947.97	1039.21
3/4"	1/2"	290.41	483.27	441.12
1/2"	3/8"	11.32	26.08	6.96
TOTAL (gr)		1824.79	1769.18	1861.00

**Tabla 42**

*Caras fracturadas cantera Carmen Bonita - piedra*

IDENTIFICACION		PIEDRA		
DESCRIPCION		CARMEN BONITA CAY CAY		
MEDIDA DEL TAMIZ		MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
QUE PASA	RETENIDO SOBRE			
1 1/2"	1"	357.58	787.03	809.76
1"	3/4"	1324.39	932.45	1080.60
3/4"	1/2"	78.48	93.88	80.82
1/2"	3/8"	4.42	0.00	4.44
TOTAL (gr)		1764.87	1813.36	1975.62

**Tabla 43**

*Caras fracturadas cantera Vicho – piedra chancada*

IDENTIFICACION		PIEDRA CHANCADA		
DESCRIPCION		VICHO SAN SALVADOR		
MEDIDA DEL TAMIZ		MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
QUE PASA	RETENIDO SOBRE			
1 1/2"	1"	383.15	549.45	591.74
1"	3/4"	1219.37	940.21	1059.91
3/4"	1/2"	184.45	288.58	260.97
1/2"	3/8"	7.87	13.04	5.70
TOTAL (gr)		1794.83	1791.27	1918.31

#### 4.2.1.9 Equivalente de Arena MTC E 114.

Para el desarrollo de este ensayo se emplea una probeta graduada con tapón hermético, pistón lastrado, tamiz número N°04, embudo, agua destilada, recipientes metálicos.

Para determinar el porcentaje se debe de tamizar la muestra a través del tamiz número N°04, se realiza el pesado de la muestra y luego se coloca en las probetas que contienen agua destilada a una altura específica; desde este momento se deja reposar durante 10 minutos que es el tiempo de saturación.

Posterior a este tiempo se tapa la probeta con el tapón hermético y se procederá a agitar la probeta 45 segundos o 100 golpes; finalmente se dejará descansar 20 min para permitir la decantación de finos y luego se medirá el porcentaje de material presente en las muestras ensayadas.

#### Toma de Datos de las Canteras Estudiadas

**Tabla 44**

*Equivalente de arena cantera Amaru – arena triturada*

IDENTIFICACIÓN	ARENA TRITURADA		
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
TIEMPO DE COMIENZO DE SATURACIÓN (min)	10:33:00	11:21:00	12:00:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE SATURACIÓN (min)	10:43:00	11:31:00	12:10:00
TIEMPO DE COMIENZO DE DECONTACIÓN (min)	10:48:00	11:35:00	12:14:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE DECONTACIÓN (min)	11:13:00	11:55:00	12:34:00
A) MEDICION INICIAL (cm)	<b>8.01</b>	<b>7.80</b>	<b>7.60</b>
B) MEDICION FINAL (cm)	<b>7.01</b>	<b>6.70</b>	<b>6.70</b>

**Tabla 45**

*Equivalente de arena cantera Amaru – arena lavada*

IDENTIFICACIÓN	ARENA LAVADA		
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
TIEMPO DE COMIENZO DE SATURACIÓN (min)	12:34:00	01:09:00	11:15:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE SATURACIÓN (min)	12:44:00	01:19:00	01:25:00
TIEMPO DE COMIENZO DE DECONTACIÓN (min)	12:48:00	01:23:00	01:27:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE DECONTACIÓN (min)	01:08:00	01:43:00	01:47:00
A) MEDICION INICIAL (cm)	<b>7.20</b>	<b>7.15</b>	<b>6.23</b>
B) MEDICION FINAL (cm)	<b>7.05</b>	<b>6.90</b>	<b>6.05</b>

**Tabla 46***Equivalente de arena cantera Carmen Bonita – arena fina*

IDENTIFICACION	ARENA FINA		
DESCRIPCION	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
TIEMPO DE COMIENZO DE SATURACIÓN (min)	10:30:00	11:16:00	11:50:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE SATURACIÓN (min)	10:40:00	11:26:00	12:00:00
TIEMPO DE COMIENZO DE DECANTACIÓN (min)	10:45:00	11:28:00	12:02:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE DECANTACIÓN (min)	11:07:00	11:48:00	12:22:00
A) MEDICION INICIAL (cm)	<b>6.50</b>	<b>7.10</b>	<b>6.90</b>
B) MEDICION FINAL (cm)	<b>4.70</b>	<b>5.40</b>	<b>5.10</b>

**Tabla 47***Equivalente de arena cantera Vicho – arena fina*

IDENTIFICACION	ARENA FINA		
DESCRIPCION	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
TIEMPO DE COMIENZO DE SATURACIÓN (min)	12:08:00	12:30:00	12:50:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE SATURACIÓN (min)	12:18:00	12:40:00	01:00:00
TIEMPO DE COMIENZO DE DECANTACIÓN (min)	12:20:00	12:43:00	01:05:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE DECANTACIÓN (min)	12:40:00	01:03:00	01:25:00
A) MEDICION INICIAL (cm)	<b>7.60</b>	<b>7.50</b>	<b>8.00</b>
B) MEDICION FINAL (cm)	<b>7.40</b>	<b>7.30</b>	<b>7.80</b>

**4.2.1.10 Angularidad en el Agregado Fino MTC E 222.**

Para la ejecución de este ensayo se necesita un juego de tamices, un cilindro metálico de volumen conocido, un embudo y un marco metálico.

El cálculo de angularidad se determinará en función de la cantidad de vacíos presentes en partículas menores al tamiz # 08 levemente compactadas; el material retenido se incorpora en el cilindro metálico a través del embudo hasta alcanzar el nivel rasante; luego se determinará su gravedad específica bruta y con ello la angularidad.

**Figura 55***Valores de angularidad en función del nivel de tráfico*

Tránsito en 10 <sup>6</sup> ESALS	Prof. desde superf. <100 mm	Prof. desde superf. >100 mm
< 0.3	----	----
< 1	40	----
< 3	40	40
< 10	45	40
< 30	45	40
< 100	45	45
≥ 100	45	45

## Toma de Datos de las Canteras Estudiadas

**Tabla 48**

*Angularidad del agregado fino cantera Amaru – arena*

TIPO		AGREGADO FINO		
DESCRIPCION		MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
A	PESO DEL CILINDRO SIN CONTENIDO (kg)	5.25	5.25	5.25
B	PESO DEL CILINDRO CON VOLUMEN DE AGUA (kg)	6.60	6.50	6.55
C	PESO DEL CILINDRO CONT. CON AGREGADO (kg)	7.15	7.10	7.20
D	PESO DEL AGREGADO (kg)	1.90	1.85	1.95
F	T° DEL AGUA (°C)	18.4 °C	18.4 °C	18.4 °C
G	PESO DEL AGUA (kg)	1.35	1.25	1.30
H	VALOR DE DENSIDAD DEL AGUA (kg/m <sup>3</sup> )	1.00	1.00	1.00
I	CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL CILINDRO	1.30	1.30	1.30
J	DENSIDAD BULK DEL AGREGADO (kg/m <sup>3</sup> )	1.87	1.81	1.89

**Tabla 49**

*Angularidad del agregado fino cantera Carmen Bonita – arena*

TIPO		AGREGADO FINO		
DESCRIPCION		MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
A	PESO DEL CILINDRO SIN CONTENIDO (kg)	5.25	5.25	5.25
B	PESO DEL CILINDRO CON VOLUMEN DE AGUA (kg)	6.60	6.50	6.55
C	PESO DEL CILINDRO CONT. CON AGREGADO (kg)	6.85	6.90	6.80
D	PESO DEL AGREGADO (kg)	1.60	1.65	1.55
F	T° DEL AGUA (°C)	18.4 °C	18.4 °C	18.4 °C
G	PESO DEL AGUA (kg)	1.35	1.25	1.30
H	VALOR DE DENSIDAD DEL AGUA (kg/m <sup>3</sup> )	1.00	1.00	1.00
I	CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL CILINDRO	1.30	1.30	1.30
J	DENSIDAD BULK DEL AGREGADO (kg/m <sup>3</sup> )	1.95	2.01	1.97

### 4.2.2 Selección de Ligante.

De acuerdo al programa SHRP, se establecen nuevos criterios para la elección del cemento asfáltico basados en el grado de desempeño (PG – Performance Grade), este enfoque considera las condiciones climáticas del proyecto y el tipo de tráfico incluyendo la intensidad y velocidad de este. El objetivo es garantizar que el ligante elegido presente un adecuado comportamiento frente a las sollicitaciones térmicas y mecánicas durante su vida útil.



#### 4.2.2.1 Estudio de Tráfico







El análisis del tráfico es una de las variables más relevantes en el diseño estructural de un pavimento; es determinado a través del cálculo del volumen y tipología de los carros, también influye el número y peso de los ejes los cuales varían según la cantidad y tipo de vehículos que pasan; de acuerdo a lo establecido por el ministerio de transportes (MTC) se debe de realizar el conteo y aforo vehicular durante 7 días consecutivos, durante las 24 horas de manera ininterrumpida; el conteo se efectuó de manera manual durante el día mediante los formatos oficiales mientras que durante la noche se implementó cámaras colocadas de manera estratégica, con la finalidad de minimizar los erros y garantizar la confiabilidad de los datos.

Para el estudio se seleccionó un tramo de vital importancia dentro de la zona de investigación, el cual es elegido debido a que presenta un nivel significativo de deterioro y por su posición estratégica como paso obligatorio de transporte liviano y pesado, interconectando a la red vial urbana con ramales que desembocan en vías principales como secundarias, además de ser una vía colectora; para la obtención de datos se utilizó el formato aprobado por el ministerio de transporte y la metodología de conteo y aforo establecida por el mismo ente.


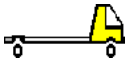
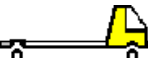



Para el procesamiento de datos se utilizó el método del factor camión, que clasifica a los vehículos según su condición (llenos y vacíos) y calcular el volumen del tráfico que atraviesa un punto de control transversal en un periodo determinado, diferenciando su tipología y su peso.

**Tabla 50**

*Aforo vehicular (vehículos ligeros y buses) y cálculo de TPDS*

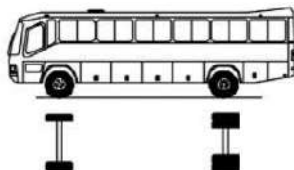
DÍA	VEHICULOS LIGEROS		BUSES							
	AUTOS, CAMIONETAS	B-2								B-3-1
		PESO LIVIANO		PESO MEDIANO		PESADO				
										
			VACIO	LLENO	VACIO	LLENO	VACIO	LLENO	VACIO	
lunes 09 setiembre	8,602	34	288	126	497	5	74	4	50	
Martes 10 setiembre	9,574	103	257	223	1022	44	79	19	33	
Miércoles 11 setiembre	9,758	92	266	229	1010	57	53	15	22	
Jueves 12 setiembre	9,523	99	189	225	1041	33	104	30	37	
Viernes 13 setiembre	9,832	61	281	181	1012	17	127	23	49	
Sábado 07 setiembre	10,122	79	389	275	1049	33	111	15	43	
Domingo 08 setiembre	10,677	78	334	266	922	11	137	44	47	
Tráfico Semanal (TS)		546.57	2003.43	1525.90	6552.96	199.80	684.57	150.59	281.00	
TPDS		78.08	286.20	217.99	936.14	28.54	97.80	21.51	40.14	

**Tabla 51***Aforo vehicular (vehículos ligeros y camiones) y cálculo de TPDS*

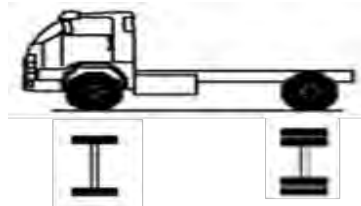
DÍA	VEHICULOS LIGEROS		CAMION							
	AUTOS, CAMIONETAS	C-2								C-3
		PESO LIVIANO		PESO MEDIANO		PESADO				
										
	VACIO	LLENO	VACIO	LLENO	VACIO	LLENO	VACIO	LLENO		
lunes 09 setiembre	8,602	19	51	13	32	8	32	4	11	
Martes 10 setiembre	9,574	97	346	79	203	52	203	12	42	
Miércoles 11 setiembre	9,758	77	349	38	230	26	230	13	32	
Jueves 12 setiembre	9,523	148	236	77	174	52	174	26	58	
Viernes 13 setiembre	9,832	114	239	81	147	54	147	27	49	
Sábado 07 setiembre	10,122	75	270	46	173	30	173	15	58	
Domingo 08 setiembre	10,677	222	205	160	126	107	126	53	42	
Tráfico Semanal (TS)		752.94	1696.84	494.01	1085.81	329.34	1085.81	150.42	291.74	
TPDS		107.56	242.41	70.57	155.12	47.05	155.12	21.49	41.68	

Posteriormente, con base en la normativa peruana se determina el peso vehicular por ejes para vehículos llenos y vacíos, también la normativa establece el peso admisible por ejes y peso máximo del vehículo, considerando un incremento máximo de 3%.

**Tabla 52***Cálculo de pesos corregidos para buses (vehículos llenos)*

Configuración vehicular	Descripción grafica de los vehículos	Longitud máxima (m)	Peso máximo (t)					Peso bruto máximo (t)
			Eje delantero	Conjunto de ejes posteriores				
				1°	2°	3°	4°	
		13.2	7	11				18
B2 (PESO MEDIANO)	LÍMITE MÁXIMO CON INCREMENTO DEL 3%		7.21	11.33	0	0	0	18.54
	INFORMACIÓN DEL CENSO VEHICULAR DE PESOS		2.30	3.90				6.2
	CUMPLE LA NORMA		SI	SI	SI	SI	SI	SI
	PESO POR EJE CORREGIDO		2.30	3.90				6.20
	CORRECCIÓN		CENSO	CENSO				

**Tabla 53***Cálculo de pesos corregidos para camiones (vehículos llenos)*

Configuración vehicular	Descripción grafica de los vehículos	Longitud máxima (m)	Peso máximo (t)					Peso bruto máximo (t)
			Eje delantero	Conjunto de ejes posteriores				
				1°	2°	3°	4°	
		12.3	7	11				18
C2 (PESO MEDIANO)	LÍMITE MÁXIMO CON INCREMENTO DEL 3% INFORMACIÓN DEL CENSO VEHICULAR DE PESOS CUMPLE LA NORMA PESO POR EJE CORREGIDO CORRECCIÓN		7.21	11.33	0	0	0	18.54
			3.26	5.39				8.65
		SI	SI	SI	SI	SI	SI	
		3.26 CENSO	5.39 CENSO				8.65	

#### 4.2.2.2 Temperatura

Los estudios realizados por el programa SHRP en base a los nuevos criterios Superpave establecen que para la elección del cemento asfáltico debe realizarse en función de criterios de desempeño. Entre estos, la temperatura máxima y mínima del pavimento es un factor determinante, para determinar estas temperaturas se utilizan registros meteorológicos de un periodo de mínimo de 20 años, el cual garantiza confiabilidad estadística debido a que la desviación estándar de los datos en ese intervalo de tiempo no varía significativamente. Esta información puede ser proporcionada por entidades como SENAMI o provenir de bases internacionales, como el Proyecto MERRA.

##### – Temperatura máxima del aire:

De acuerdo con los lineamientos de SHRP y LTTP, la temperatura máxima del aire se calcula considerando la semana más caliente de cada año, es decir, los siete días consecutivos con mayores temperaturas.

Posteriormente, se obtiene el promedio anual de los siete días más cálidos, cuyos resultados se resumen en la Tabla 54. Con base en esta información, la temperatura máxima promedio del aire para el periodo de estudio fue de 18.25 °C.

**Tabla 54***Temperaturas de los 7 días consecutivos más calientes y promedio por año*

<b>AÑO</b>	<b>DIA 1</b>	<b>DIA 2</b>	<b>DIA 3</b>	<b>DIA 4</b>	<b>DIA 5</b>	<b>DIA 6</b>	<b>DIA 7</b>	<b>PROMEDIO (°C)</b>
<b>2003</b>	20.04	18.85	19.47	16.42	20.62	17.91	19.02	<b>18.90</b>
<b>2004</b>	17.63	17.98	18.46	17.55	17.85	17.14	16.91	<b>17.65</b>
<b>2005</b>	18.04	17.51	18.35	18.25	19.07	16.92	17.82	<b>17.99</b>
<b>2006</b>	17.94	17.48	16.74	17.12	17.66	15.57	16.24	<b>16.96</b>
<b>2007</b>	16.77	17.51	16.59	17.74	18.65	18.33	17.26	<b>17.55</b>
<b>2008</b>	16.15	17.91	19.03	18.74	16.74	16.09	18.48	<b>17.59</b>
<b>2009</b>	18.89	19.08	20.65	19.64	17.08	17.63	18.69	<b>18.81</b>
<b>2010</b>	18.08	17.4	14.78	16.25	19.11	19.51	18.76	<b>17.70</b>
<b>2011</b>	18.15	17.51	17.26	17.78	18.92	16.83	17.66	<b>17.73</b>
<b>2012</b>	17.73	15.95	18.21	18.01	18.21	18.64	19.13	<b>17.98</b>
<b>2013</b>	18.15	18.81	18.33	10.24	18.20	18.75	19.39	<b>17.41</b>
<b>2014</b>	18.65	18.99	16.94	17.95	18.33	19.58	15.49	<b>17.99</b>
<b>2015</b>	19.35	20.23	19.00	17.05	20.00	18.84	18.94	<b>19.06</b>
<b>2016</b>	17.87	17.83	18.3	19.44	20.53	18.87	19.14	<b>18.85</b>
<b>2017</b>	18.04	17.37	21	19.19	20.23	17.57	18.3	<b>18.81</b>
<b>2018</b>	14.51	18.23	18.73	17.48	18.4	16.95	17.59	<b>17.41</b>
<b>2019</b>	16.62	15.46	17.51	18.58	18.93	17.94	19.17	<b>17.74</b>
<b>2020</b>	18.72	19.55	22.43	21.08	10.85	16.87	18.61	<b>18.30</b>
<b>2021</b>	19.20	19.55	17.73	20.39	21.61	15.83	17.78	<b>18.87</b>
<b>2022</b>	20.57	21.90	20.32	21.16	19.71	20.05	18.86	<b>20.37</b>
<b>2023</b>	19.87	21.79	20.23	18.79	18.14	19.19	18.88	<b>19.56</b>
<b>T° MÁXIMA PROMEDIO (°C)</b>								<b>18.25</b>

*Nota: Data access viewer Merra, Nasa power (2003-2023)*

Es importante señalar que, según la metodología Superpave, la temperatura máxima de diseño no solo depende de estos promedios, sino también de factores de ajuste estadístico, como el nivel de confiabilidad ( $z$ ) y la desviación estándar ( $\sigma$ ), lo cual permite establecer una temperatura de diseño con mayor rigor.

– **Temperatura mínima:**

En el caso de la temperatura mínima, el procedimiento consiste en identificar el día más frío de cada año, también siguiendo la metodología SHRP-LTTP para el sistema Superpave. La Tabla 55 muestra los valores anuales obtenidos entre 2003 y 2023.

**Tabla 55***Temperatura mínima para cada año de estudio*

<b>AÑO</b>	<b>DÍA MÁS FRÍO (°C)</b>
2003	-2.28
2004	-2.61
2005	-2.23
2006	-3.09
2007	-2.09
2008	-0.96
2009	-0.78
2010	-1.48
2011	-1.37
2012	-2.78
2013	-2.57
2014	-2.97
2015	-4.49
2016	-1.36
2017	-1.77
2018	-2.48
2019	-2.92
2020	-2.79
2021	-2.7
2022	-3.67
2023	-0.63
<b>T MÍNIMA PROMEDIO (°C)</b>	<b>-2.29</b>

*Nota: Data access viewer Merra, Nasa power (2003-2023)*

En el caso de la temperatura mínima, se identificó el día más frío de cada año entre 2003 y 2023, obteniéndose un promedio de  $-2.29$  °C. Este valor es clave en el diseño Superpave, ya que permite estimar la resistencia del pavimento frente a la contracción térmica y prevenir la formación de fisuras en condiciones invernales. Además, se considera junto con la variabilidad climática y el nivel de confiabilidad del proyecto, de modo que el ligante seleccionado garantice la adecuada flexibilidad y desempeño en temperaturas bajas.

### 4.2.3 Estudio y Control de Mezcla.

#### 4.2.3.1 Diseño de Mezcla Asfáltica.

La determinación de la volumetría de la mezcla asfáltica bajo el método Superpave se establece de acuerdo con lo señalado en la norma AASHTO R-35.

Al igual que en el método Marshall, el objetivo principal es obtener los parámetros volumétricos de la MAC (parámetros volumétricos de VA, VAM, VFA y RPA), la diferencia fundamental radica en que Superpave incorpora ensayos de desempeño de la mezcla, considerando las propiedades mecánicas y de durabilidad del asfalto frente a las condiciones reales de servicio.

**Tabla 56**

*Combinación granulométrica para el diseño de mezcla*

MEZCLA DE AGREGADOS TEORICA	C1	C2	C3
% Arena triturada	59.5	54.5	49.5
% Grava 3/4 triturada	40.0	45.0	50.0
% Filler	0.5	0.5	0.5
Grav. Esp. Arena Triturada	2.623	2.623	2.623
Grav. Esp. Grava 3/4 Triturada	2.605	2.605	2.605
Grav. Esp. Filler	3.120	3.120	3.120
Grav. Esp. Bulk de la mezcla	2.616	2.615	2.614
Grav. Esp. Apar. de la mezcla	2.701	2.700	2.698

Se seleccionaron los agregados de la Cantera Amaru San Salvador por presentar las mejores características físico-mecánicas. A partir de ello, se plantearon tres combinaciones granulométricas **teóricas** (C1, C2, C3), variando la proporción de grava y arena y manteniendo constante el Filler en 0.5%, con el objetivo de ajustarse a la línea de densidad máxima de la especificación Superpave.

Las proporciones de cada combinación se detallan en la Tabla 56. El análisis granulométrico de laboratorio permitió seleccionar la Combinación C2 (54.5% Arena Triturada, 45.0% Grava 3/4", 0.5% Filler) por presentar el mejor ajuste a la línea de densidad máxima y cumplir con todas las especificaciones y zonas restringidas de la metodología Superpave, siendo esta la utilizada para la fabricación de las briquetas para el compactador giratorio Superpave.

El compactador giratorio Superpave (CGS), es un equipo característico de la metodología debido a la forma de compactación que simula de manera más realista las condiciones en campo.

Los especímenes producidos presentan un diámetro estándar de 150 mm (6”) y una altura aproximada de 110 mm, adecuados para ensayos de Tracción Indirecta (TSR) y Módulo Dinámico.

Un aspecto fundamental en el diseño es la definición de los ESAL (Equivalent Single Axle Load), dado que este parámetro determina el número de giros de compactación necesarios en el CGS. En este sentido, la relación entre los ESAL y los requisitos de volumetría se resume en la Tabla 57.

Finalmente, la configuración operativa del CGS utilizada en el diseño se resume en la Tabla 58, donde se especifican los parámetros de ensayo como el ángulo interno, la carga aplicada y el número de giros.

**Tabla 57**

*Requisitos de la mezcla asfáltica Superpave*

Diseño ESAL (en millones)	Densidad relativa requerida			Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)						Vacíos llenos con Asfalto (VFA)	Relación Polvo Asfalto
	Porcentaje Teórico			% Mínimo							
	Gravedad específica máxima			Tamaño Máximo Nominal Agregado (mm)							
	N ini	N des	N máx.	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75		
< 0.3	≤ 91.5	96.0	≤ 98.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	70-80	0.6-1.2
0.3 a < 3	≤ 90.5	96.0	≤ 98.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	65-78	0.6-1.2
3 a < 10	≤ 89.0	96.0	≤ 98.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	65-75	0.6-1.2
10 a < 30	≤ 89.0	96.0	≤ 98.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	65-75	0.6-1.2
>= 30	≤ 89.0	96.0	≤ 98.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	65-75	0.6-1.2

**Tabla 58**

*Datos de entrada del compactador giratorio Superpave*

Requisitos para el CGS	
Angulo Interno	1.25°
Carga Aplicada	600 Kpa
Velocidad De Giro	30 rpm
Altura de la Carpeta	110 mm
N inicial	8
N diseño	100
N máximo	160

#### 4.2.3.2 Ensayo de Daño Inducido por Humedad o Lottman Modificado AASHTO T 283.

Dentro del diseño de mezclas asfálticas Superpave es obligatorio aplicar el ensayo de daño inducido por humedad, ya que este fenómeno representa una de las principales causas de deterioro prematuro. El contacto del agua con la mezcla provoca la pérdida de adherencia entre el ligante asfáltico y el agregado pétreo, reduciendo la cohesión interna del material y debilitando su estructura.

La norma AASHTO T 283 establece el procedimiento estándar para evaluar este tipo de deterioro y determinar la susceptibilidad de la mezcla a la acción del agua.

**Tabla 59**

*Porciones de la MAC para el ensayo de TSR*

ELEMENTOS	MAC Convencional	MAC Modificada	Observaciones
Piedra chancada de 3/4" (%)	54.50	54.50	% del total de agregados
Arena Triturada (%)	45.00	45.00	% del total de agregados
Filler (%)	0.50	0.50	% del total de agregados
Asfalto (%)	5.00	5.00	% sobre el peso total de la mezcla
Aditivo (%)	0.00	0.40	% sobre el peso del cemento asfáltico

#### **Procedimiento**

La preparación del ensayo contempla dos grupos de tres especímenes: acondicionados y no acondicionados. Los primeros se sumergen en agua destilada a 60 °C durante 24 horas y, posteriormente, se estabilizan a 25 °C por 2 horas antes del ensayo. Los no acondicionados, en cambio, se conservan envueltos en plástico hasta su evaluación. La prueba se ejecuta en el equipo Marshall, aplicando una carga controlada de 50 mm/min.

Para los especímenes acondicionados se mide inicialmente la gravedad específica Bulk (Gmb) y el volumen de agua absorbido, lo que permite calcular el nivel de saturación. Con estos valores se obtiene la Relación de Resistencia Retenida (TSR), comparando la resistencia a la tensión indirecta de los especímenes secos frente a los saturados. Este parámetro es fundamental para definir la durabilidad de la mezcla frente al efecto de la humedad.

Valores superiores al mínimo requerido (80%) confirman que la mezcla es resistente y durable, mientras que valores menores indican susceptibilidad al daño por humedad, lo que podría requerir ajustes en la dosificación o el uso de aditivos.



#### 4.2.3.3 Modulo Dinámico ASTM T 342 O AASHTO TP 62

El módulo dinámico es una propiedad fundamental para caracterizar el desempeño de la MAC bajo cargas cíclicas que representa la relación entre un esfuerzo aplicado de manera axial y la deformación resultante de la carga cíclica.

Para la fabricación del molde a utilizar en la maquina UTM se debe de recopilar los datos del diseño Superpave y a partir de ello utilizar el compactador giratorio para producir las muestras de 100mm de altura y 150mm de diámetro; posteriormente se procede con el corte de la muestra donde se reduce el ancho de la muestra a 110mm aproximadamente esto con la finalidad de evitar excentricidades o desalineamientos, para ello se usó una sierra y refrigeración por agua para así evitar el daño al ligante por el aumento de temperatura; luego se procede con la rectificación de las caras a través del lijado para eliminar así las pequeñas irregularidades.

Una vez preparado el espécimen se aplican la carga axial en forma de onda haversine, es una forma de ondas sinusoidales pero que no genera impactos bruscos debido a su forma gradual de incorporación, el cual está formado para una carga de 1 Hz, por un tiempo de carga (0.1 seg.) y un tiempo de descarga (0.9 seg.) utilizándose una onda de pulso en vez de una continua, para evitar la acumulación excesiva de calor y una simulación del paso real de una rueda.

En este caso se realizó el ensayo sin presión de confinamiento lateral lo cual permite un mejor control en las condiciones del ensayo y simula la baja presión lateral que experimentan los pavimentos; las frecuencias típicas de 0.1 (tráfico lento), 1 y 10 (tráfico rápido) Hz a temperaturas de 5 (temperatura baja); 20 (temperatura intermedia) y 40° (alta temperatura); donde ajustamos la magnitud de la carga para que podamos obtener deformaciones entre el rango de 50 y 150 micro deformaciones lo cual nos permite obtener una respuesta dentro del rango lineal viscoelástico donde la respuesta no depende de la magnitud de la carga sino de su comportamiento viscoelástico.

Así también el programa nos permite medir el ángulo de fase entre la carga y la deformación lo que nos permite observar la relación entre elasticidad y viscosidad; viene a ser la diferencia de tiempo entre el pico de carga aplicada y el pico de deformación; para materiales elásticos seria su valor de 0° y para plásticos seria 90° por lo cual el asfalto al ser un material viscoelástico su valor estar entre 10° (valor bajo que indica un comportamiento elástico) y 40° (valor más alto que indica un comportamiento más viscoso)

Una vez obtenidos los datos, se prepara para la elaboración de gráficos y análisis de datos; pero lo más importante es la construcción de la curva maestra; para ello se utiliza el programa

propio de la maquina utilizando la ecuación del modelo Sigmoidal y también se puede utilizar la ecuación del modelo extendido con factores volumétricos propuesto por Witczack. Una vez obtenidos los datos, se prepara para la elaboración de gráficos y análisis de datos; pero lo más importante es la construcción de la curva maestra.

$$\log_{10}(|E^*|) = f(Va, VMA, Pb) + \frac{\alpha}{1 + e^{\beta + \gamma \cdot \log_{10}(fr)}}; \text{ecuacion de Witczack}$$

**Figura 56**

*Modelos matemáticos para construcción de curvas maestras*

Ecuación	Modelo matemático	Consideraciones
General sigmoidal	$\log E^*  = \delta + \frac{\alpha}{1 + e^{\beta + \gamma \log(fr)}}$	Dónde: $ E^* $ : Módulo Dinámico. $fr$ : Frecuencia de carga a la temperatura de referencia. $\delta$ : Valor del Módulo Dinámico. $\beta + \alpha$ : Valor del Módulo máximo. $\beta + \gamma$ : parámetros que describen la forma de la curva sigmoidal.
Christensen Anderson	$ G^*(\omega)  = G_g \left[ 1 + \left( \frac{\omega c}{\omega} \right)^{\frac{\log 2}{R}} \right]^{\frac{R}{\log 2}}$	Dónde: $ G^*(\omega) $ : Módulo complejo a corte Pa. $\omega c$ : Frecuencia de corte, rad/s $R$ : Índice reológico.
Christensen Anderson Marasteanu	$G^*(\omega) = G_o \left[ 1 + \left( \frac{\omega_o}{\omega} \right)^\beta \right]^{-k/\beta}$ $\beta = \frac{\ln(G_o)}{\ln G^*(\omega)}$	Dónde: $G^*$ : Módulo complejo a corte. $G_o$ : Módulo cortante vitrio. $\omega$ : Frecuencia reducida (rad/s) $\omega_o$ : Frecuencia croosover, (rad/s) $\beta$ y $k$ : Parámetros del modelo.
Christensen Anderson Sharrock	$G^*(\omega) = G_o \left[ 1 + \left( \frac{\omega_o}{\omega} \right)^\beta \right]^{-k/\beta}$ $\beta = \frac{\ln(G_o)}{\ln G^*(\omega)}$	Dónde: $G^*$ : Módulo complejo a corte. $G_o$ : Módulo cortante vitrio.. $\omega$ : Frecuencia reducida (rad/s) $\omega_o$ : Frecuencia croosover, (rad/s) $\beta$ y $k$ : Parámetros del modelo.

## Toma de datos de la mezcla asfáltica convencional

**Tabla 60**

*Datos de ensayo muestra 01 (10 Hz - 5°C) - mezcla convencional*

DATOS GENERALES DE LA MEZCLA			
Piedra Chancada 3/4"	45.0%	Tipo De Producción	Laboratorio
Arena Triturada	54.5%	Tipo De Compactación	Compactador Giratorio
Filler Cal Hidratada	0.5%	Densidad Máxima Rice	2.437 kg/m <sup>3</sup>
% De Vacíos	6.0%	% Asfalto	5.63%
Tipo De Asfalto	Convencional		
DATOS INICIALES DE LA PRUEBA			
Numero De La Muestra	01	Ancho De Pulso (Hz)	10
Nombre De La Muestra	E*1	Temperatura De Ensayo (°C)	5
Diámetro (mm)	104.6	Acondicionamiento Al Aire (Hr)	24
Altura (mm)	152.6	Acondicionamiento Térmico (Hr)	4
Área de Sección (mm <sup>2</sup> )	8585.0		

**Tabla 61**

*Datos de ensayo muestra 02 (1 Hz - 5°C) - mezcla convencional*

DATOS GENERALES DE LA MEZCLA			
Piedra Chancada 3/4"	45.0%	Tipo De Producción	Laboratorio
Arena Triturada	54.5%	Tipo De Compactación	Compactador Giratorio
Filler Cal Hidratada	0.5%	Densidad Máxima Rice	2.437 kg/m <sup>3</sup>
% De Vacíos	6.0%	% Asfalto	5.63%
Tipo De Asfalto	Convencional		
DATOS INICIALES DE LA PRUEBA			
Numero De La Muestra	02	Ancho De Pulso (Hz)	1
Nombre De La Muestra	E*2	Temperatura De Ensayo (°C)	5
Diámetro (mm)	104.6	Acondicionamiento Al Aire (Hr)	24
Altura (mm)	152.6	Acondicionamiento Térmico (Hr)	4
Área de Sección (mm <sup>2</sup> )	8585.0		

**Tabla 62**

*Datos de ensayo muestra 03 (0.1 Hz - 5°C) - mezcla convencional*

DATOS GENERALES DE LA MEZCLA			
Piedra Chancada 3/4"	45.0%	Tipo De Producción	Laboratorio
Arena Triturada	54.5%	Tipo De Compactación	Compactador Giratorio
Filler Cal Hidratada	0.5%	Densidad Máxima Rice	2.437 kg/m <sup>3</sup>
% De Vacíos	6.0%	% Asfalto	5.63%
Tipo De Asfalto	Convencional		
DATOS INICIALES DE LA PRUEBA			
Numero De La Muestra	03	Ancho De Pulso (Hz)	0.1
Nombre De La Muestra	E*3	Temperatura De Ensayo (°C)	5
Diámetro (mm)	104.6	Acondicionamiento Al Aire (Hr)	24
Altura (mm)	152.6	Acondicionamiento Térmico (Hr)	4
Área de Sección (mm <sup>2</sup> )	8585.0		

**Tabla 63***Datos de ensayo muestra 04 (10 Hz - 20°C) - mezcla convencional*

<b>DATOS GENERALES DE LA MEZCLA</b>			
Piedra Chancada 3/4"	<b>45.0%</b>	Tipo De Producción	<b>Laboratorio</b>
Arena Triturada	<b>54.5%</b>	Tipo De Compactación	<b>Compactador Giratorio</b>
Filler Cal Hidratada	<b>0.5%</b>	Densidad Máxima Rice	<b>2.437 kg/m<sup>3</sup></b>
% De Vacíos	<b>6.0%</b>	% Asfalto	<b>5.63%</b>
Tipo De Asfalto	<b>Convencional</b>		
<b>DATOS INICIALES DE LA PRUEBA</b>			
Numero De La Muestra	<b>04</b>	Ancho De Pulso (Hz)	<b>10</b>
Nombre De La Muestra	<b>E*4</b>	Temperatura De Ensayo (°C)	<b>20</b>
Diámetro (mm)	<b>104.6</b>	Acondicionamiento Al Aire (Hr)	<b>1</b>
Altura (mm)	<b>152.6</b>	Acondicionamiento Térmico (Hr)	<b>3</b>
Área de Sección (mm <sup>2</sup> )	<b>8585.0</b>		

**Tabla 64***Datos de ensayo muestra 05 (1 Hz - 20°C) - mezcla convencional*

<b>DATOS GENERALES DE LA MEZCLA</b>			
Piedra Chancada 3/4"	<b>45.0%</b>	Tipo De Producción	<b>Laboratorio</b>
Arena Triturada	<b>54.5%</b>	Tipo De Compactación	<b>Compactador Giratorio</b>
Filler Cal Hidratada	<b>0.5%</b>	Densidad Máxima Rice	<b>2.437 kg/m<sup>3</sup></b>
% De Vacíos	<b>6.0%</b>	% Asfalto	<b>5.63%</b>
Tipo De Asfalto	<b>Convencional</b>		
<b>DATOS INICIALES DE LA PRUEBA</b>			
Numero De La Muestra	<b>05</b>	Ancho De Pulso (Hz)	<b>1</b>
Nombre De La Muestra	<b>E*5</b>	Temperatura De Ensayo (°C)	<b>20</b>
Diámetro (mm)	<b>104.6</b>	Acondicionamiento Al Aire (Hr)	<b>1</b>
Altura (mm)	<b>152.6</b>	Acondicionamiento Térmico (Hr)	<b>3</b>
Área de Sección (mm <sup>2</sup> )	<b>8585.0</b>		

**Tabla 65***Datos de ensayo muestra 06 (0.1 Hz - 20°C) - mezcla convencional*

<b>DATOS GENERALES DE LA MEZCLA</b>			
Piedra Chancada 3/4"	<b>45.0%</b>	Tipo De Producción	<b>Laboratorio</b>
Arena Triturada	<b>54.5%</b>	Tipo De Compactación	<b>Compactador Giratorio</b>
Filler Cal Hidratada	<b>0.5%</b>	Densidad Máxima Rice	<b>2.437 kg/m<sup>3</sup></b>
% De Vacíos	<b>6.0%</b>	% Asfalto	<b>5.63%</b>
Tipo De Asfalto	<b>Convencional</b>		
<b>DATOS INICIALES DE LA PRUEBA</b>			
Numero De La Muestra	<b>06</b>	Ancho De Pulso (Hz)	<b>0.1</b>
Nombre De La Muestra	<b>E*6</b>	Temperatura De Ensayo (°C)	<b>20</b>
Diámetro (mm)	<b>104.6</b>	Acondicionamiento Al Aire (Hr)	<b>1</b>
Altura (mm)	<b>152.6</b>	Acondicionamiento Térmico (Hr)	<b>3</b>
Área de Sección (mm <sup>2</sup> )	<b>8585.0</b>		

**Tabla 66***Datos de ensayo muestra 07 (10 Hz - 40°C) - mezcla convencional*

<b>DATOS GENERALES DE LA MEZCLA</b>			
Piedra Chancada 3/4"	<b>45.0%</b>	Tipo De Producción	<b>Laboratorio</b>
Arena Triturada	<b>54.5%</b>	Tipo De Compactación	<b>Compactador Giratorio</b>
Filler Cal Hidratada	<b>0.5%</b>	Densidad Máxima Rice	<b>2.437 kg/m<sup>3</sup></b>
% De Vacíos	<b>6.0%</b>	% Asfalto	<b>5.63%</b>
Tipo De Asfalto	<b>Convencional</b>		
<b>DATOS INICIALES DE LA PRUEBA</b>			
Numero De La Muestra	<b>07</b>	Ancho De Pulso (Hz)	<b>10</b>
Nombre De La Muestra	<b>E*7</b>	Temperatura De Ensayo (°C)	<b>40</b>
Diámetro (mm)	<b>104.6</b>	Acondicionamiento Al Aire (Hr)	<b>2</b>
Altura (mm)	<b>152.6</b>	Acondicionamiento Térmico (Hr)	<b>2</b>
Área de Sección (mm <sup>2</sup> )	<b>8585.0</b>		

**Tabla 67***Datos de ensayo muestra 08 (1 Hz - 40°C) - mezcla convencional*

<b>DATOS GENERALES DE LA MEZCLA</b>			
Piedra Chancada 3/4"	<b>45.0%</b>	Tipo De Producción	<b>Laboratorio</b>
Arena Triturada	<b>54.5%</b>	Tipo De Compactación	<b>Compactador Giratorio</b>
Filler Cal Hidratada	<b>0.5%</b>	Densidad Máxima Rice	<b>2.437 kg/m<sup>3</sup></b>
% De Vacíos	<b>6.0%</b>	% Asfalto	<b>5.63%</b>
Tipo De Asfalto	<b>Convencional</b>		
<b>DATOS INICIALES DE LA PRUEBA</b>			
Numero De La Muestra	<b>08</b>	Ancho De Pulso (Hz)	<b>1</b>
Nombre De La Muestra	<b>E*8</b>	Temperatura De Ensayo (°C)	<b>40</b>
Diámetro (mm)	<b>104.6</b>	Acondicionamiento Al Aire (Hr)	<b>2</b>
Altura (mm)	<b>152.6</b>	Acondicionamiento Térmico (Hr)	<b>2</b>
Área de Sección (mm <sup>2</sup> )	<b>8585.0</b>		

**Tabla 68***Datos de ensayo muestra 09 (0.1 Hz - 40°C) - mezcla convencional*

<b>DATOS GENERALES DE LA MEZCLA</b>			
Piedra Chancada 3/4"	<b>45.0%</b>	Tipo De Producción	<b>Laboratorio</b>
Arena Triturada	<b>54.5%</b>	Tipo De Compactación	<b>Compactador Giratorio</b>
Filler Cal Hidratada	<b>0.5%</b>	Densidad Máxima Rice	<b>2.437 kg/m<sup>3</sup></b>
% De Vacíos	<b>6.0%</b>	% Asfalto	<b>5.63%</b>
Tipo De Asfalto	<b>Convencional</b>		
<b>DATOS INICIALES DE LA PRUEBA</b>			
Numero De La Muestra	<b>09</b>	Ancho De Pulso (Hz)	<b>0.1</b>
Nombre De La Muestra	<b>E*9</b>	Temperatura De Ensayo (°C)	<b>40</b>
Diámetro (mm)	<b>104.6</b>	Acondicionamiento Al Aire (Hr)	<b>2</b>
Altura (mm)	<b>152.6</b>	Acondicionamiento Térmico (Hr)	<b>2</b>
Área de Sección (mm <sup>2</sup> )	<b>8585.0</b>		

## Toma de datos de la mezcla asfáltica modificada

**Tabla 69**

*Datos de ensayo muestra 01 (10 Hz - 5°C) - mezcla modificada*

DATOS GENERALES DE LA MEZCLA			
Piedra Chancada 3/4"	45.0%	Tipo De Producción	Laboratorio
Arena Triturada	54.5%	Tipo De Compactación	Compactador Giratorio
Filler Cal Hidratada	0.5%	Densidad Máxima Rice	2.440 kg/m <sup>3</sup>
% De Vacíos	6.10%	% Asfalto	5.45%
Tipo De Asfalto	Modificado		
DATOS INICIALES DE LA PRUEBA			
Numero De La Muestra	01	Ancho De Pulso (Hz)	10
Nombre De La Muestra	E*1	Temperatura De Ensayo (°C)	5
Diámetro (mm)	104.5	Acondicionamiento Al Aire (Hr)	24
Altura (mm)	149.9	Acondicionamiento Térmico (Hr)	4
Área de Sección (mm <sup>2</sup> )	8576.7		

**Tabla 70**

*Datos de ensayo muestra 02 (1 Hz - 5°C) - mezcla modificada*

DATOS GENERALES DE LA MEZCLA			
Piedra Chancada 3/4"	45.0%	Tipo De Producción	Laboratorio
Arena Triturada	54.5%	Tipo De Compactación	Compactador Giratorio
Filler Cal Hidratada	0.5%	Densidad Máxima Rice	2.440 kg/m <sup>3</sup>
% De Vacíos	6.10%	% Asfalto	5.45%
Tipo De Asfalto	Modificado		
DATOS INICIALES DE LA PRUEBA			
Numero De La Muestra	02	Ancho De Pulso (Hz)	1
Nombre De La Muestra	E*2	Temperatura De Ensayo (°C)	5
Diámetro (mm)	104.5	Acondicionamiento Al Aire (Hr)	24
Altura (mm)	149.9	Acondicionamiento Térmico (Hr)	4
Área de Sección (mm <sup>2</sup> )	8576.7		

**Tabla 71**

*Datos de ensayo muestra 03 (0.1 Hz - 5°C) - mezcla modificada*

DATOS GENERALES DE LA MEZCLA			
Piedra Chancada 3/4"	45.0%	Tipo De Producción	Laboratorio
Arena Triturada	54.5%	Tipo De Compactación	Compactador Giratorio
Filler Cal Hidratada	0.5%	Densidad Máxima Rice	2.440 kg/m <sup>3</sup>
% De Vacíos	6.10%	% Asfalto	5.45%
Tipo De Asfalto	Modificado		
DATOS INICIALES DE LA PRUEBA			
Numero De La Muestra	03	Ancho De Pulso (Hz)	0.1
Nombre De La Muestra	E*3	Temperatura De Ensayo (°C)	5
Diámetro (mm)	104.5	Acondicionamiento Al Aire (Hr)	24
Altura (mm)	149.9	Acondicionamiento Térmico (Hr)	4
Área de Sección (mm <sup>2</sup> )	8576.7		

**Tabla 72***Datos de ensayo muestra 04 (10 Hz - 20°C) - mezcla modificada*

<b>DATOS GENERALES DE LA MEZCLA</b>			
Piedra Chancada 3/4"	<b>45.0%</b>	Tipo De Producción	<b>Laboratorio</b>
Arena Triturada	<b>54.5%</b>	Tipo De Compactación	<b>Compactador Giratorio</b>
Filler Cal Hidratada	<b>0.5%</b>	Densidad Máxima Rice	<b>2.440 kg/m<sup>3</sup></b>
% De Vacíos	<b>6.10%</b>	% Asfalto	<b>5.45%</b>
Tipo De Asfalto	<b>Modificado</b>		
<b>DATOS INICIALES DE LA PRUEBA</b>			
Numero De La Muestra	<b>04</b>	Ancho De Pulso (Hz)	<b>10</b>
Nombre De La Muestra	<b>E*4</b>	Temperatura De Ensayo (°C)	<b>20</b>
Diámetro (mm)	<b>104.5</b>	Acondicionamiento Al Aire (Hr)	<b>1</b>
Altura (mm)	<b>149.9</b>	Acondicionamiento Térmico (Hr)	<b>3</b>
Área de Sección (mm <sup>2</sup> )	<b>8576.7</b>		

**Tabla 73***Datos de ensayo muestra 05 (1 Hz - 20°C) - mezcla modificada*

<b>DATOS GENERALES DE LA MEZCLA</b>			
Piedra Chancada 3/4"	<b>45.0%</b>	Tipo De Producción	<b>Laboratorio</b>
Arena Triturada	<b>54.5%</b>	Tipo De Compactación	<b>Compactador Giratorio</b>
Filler Cal Hidratada	<b>0.5%</b>	Densidad Máxima Rice	<b>2.440 kg/m<sup>3</sup></b>
% De Vacíos	<b>6.10%</b>	% Asfalto	<b>5.45%</b>
Tipo De Asfalto	<b>Modificado</b>		
<b>DATOS INICIALES DE LA PRUEBA</b>			
Numero De La Muestra	<b>05</b>	Ancho De Pulso (Hz)	<b>1</b>
Nombre De La Muestra	<b>E*5</b>	Temperatura De Ensayo (°C)	<b>20</b>
Diámetro (mm)	<b>104.5</b>	Acondicionamiento Al Aire (Hr)	<b>1</b>
Altura (mm)	<b>149.9</b>	Acondicionamiento Térmico (Hr)	<b>3</b>
Área de Sección (mm <sup>2</sup> )	<b>8576.7</b>		

**Tabla 74***Datos de ensayo muestra 06 (0.1 Hz - 20°C) - mezcla modificada*

<b>DATOS GENERALES DE LA MEZCLA</b>			
Piedra Chancada 3/4"	<b>45.0%</b>	Tipo De Producción	<b>Laboratorio</b>
Arena Triturada	<b>54.5%</b>	Tipo De Compactación	<b>Compactador Giratorio</b>
Filler Cal Hidratada	<b>0.5%</b>	Densidad Máxima Rice	<b>2.440 kg/m<sup>3</sup></b>
% De Vacíos	<b>6.10%</b>	% Asfalto	<b>5.45%</b>
Tipo De Asfalto	<b>Modificado</b>		
<b>DATOS INICIALES DE LA PRUEBA</b>			
Numero De La Muestra	<b>06</b>	Ancho De Pulso (Hz)	<b>0.1</b>
Nombre De La Muestra	<b>E*6</b>	Temperatura De Ensayo (°C)	<b>20</b>
Diámetro (mm)	<b>104.5</b>	Acondicionamiento Al Aire (Hr)	<b>1</b>
Altura (mm)	<b>149.9</b>	Acondicionamiento Térmico (Hr)	<b>3</b>
Área de Sección (mm <sup>2</sup> )	<b>8576.7</b>		

**Tabla 75***Datos de ensayo muestra 07 (10 Hz - 40°C) - mezcla modificada*

<b>DATOS GENERALES DE LA MEZCLA</b>			
Piedra Chancada 3/4"	<b>45.0%</b>	Tipo De Producción	<b>Laboratorio</b>
Arena Triturada	<b>54.5%</b>	Tipo De Compactación	<b>Compactador Giratorio</b>
Filler Cal Hidratada	<b>0.5%</b>	Densidad Máxima Rice	<b>2.440 kg/m<sup>3</sup></b>
% De Vacíos	<b>6.10%</b>	% Asfalto	<b>5.45%</b>
Tipo De Asfalto	<b>Modificado</b>		
<b>DATOS INICIALES DE LA PRUEBA</b>			
Numero De La Muestra	<b>07</b>	Ancho De Pulso (Hz)	<b>10</b>
Nombre De La Muestra	<b>E*7</b>	Temperatura De Ensayo (°C)	<b>40</b>
Diámetro (mm)	<b>104.5</b>	Acondicionamiento Al Aire (Hr)	<b>2</b>
Altura (mm)	<b>149.9</b>	Acondicionamiento Térmico (Hr)	<b>2</b>
Área de Sección (mm <sup>2</sup> )	<b>8576.7</b>		

**Tabla 76***Datos de ensayo muestra 08 (1 Hz - 40°C) - mezcla modificada*

<b>DATOS GENERALES DE LA MEZCLA</b>			
Piedra Chancada 3/4"	<b>45.0%</b>	Tipo De Producción	<b>Laboratorio</b>
Arena Triturada	<b>54.5%</b>	Tipo De Compactación	<b>Compactador Giratorio</b>
Filler Cal Hidratada	<b>0.5%</b>	Densidad Máxima Rice	<b>2.440 kg/m<sup>3</sup></b>
% De Vacíos	<b>6.10%</b>	% Asfalto	<b>5.45%</b>
Tipo De Asfalto	<b>Modificado</b>		
<b>DATOS INICIALES DE LA PRUEBA</b>			
Numero De La Muestra	<b>08</b>	Ancho De Pulso (Hz)	<b>1</b>
Nombre De La Muestra	<b>E*8</b>	Temperatura De Ensayo (°C)	<b>40</b>
Diámetro (mm)	<b>104.5</b>	Acondicionamiento Al Aire (Hr)	<b>2</b>
Altura (mm)	<b>149.9</b>	Acondicionamiento Térmico (Hr)	<b>2</b>
Área de Sección (mm <sup>2</sup> )	<b>8576.7</b>		

**Tabla 77***Datos de ensayo muestra 09 (0.1 Hz - 40°C) - mezcla modificada*

<b>DATOS GENERALES DE LA MEZCLA</b>			
Piedra Chancada 3/4"	<b>45.0%</b>	Tipo De Producción	<b>Laboratorio</b>
Arena Triturada	<b>54.5%</b>	Tipo De Compactación	<b>Compactador Giratorio</b>
Filler Cal Hidratada	<b>0.5%</b>	Densidad Máxima Rice	<b>2.440 kg/m<sup>3</sup></b>
% De Vacíos	<b>6.10%</b>	% Asfalto	<b>5.45%</b>
Tipo De Asfalto	<b>Modificado</b>		
<b>DATOS INICIALES DE LA PRUEBA</b>			
Numero De La Muestra	<b>09</b>	Ancho De Pulso (Hz)	<b>0.1</b>
Nombre De La Muestra	<b>E*9</b>	Temperatura De Ensayo (°C)	<b>40</b>
Diámetro (mm)	<b>104.5</b>	Acondicionamiento Al Aire (Hr)	<b>2</b>
Altura (mm)	<b>149.9</b>	Acondicionamiento Térmico (Hr)	<b>2</b>
Área de Sección (mm <sup>2</sup> )	<b>8576.7</b>		



## Capítulo V: Resultados Obtenidos

### 5.1 Resultados de Ensayos para Agregados

#### 5.1.1 Ensayo de Análisis Granulométrico por Tamizado

Para el análisis de los agregados se empleó el método de tamizado, utilizando tres muestras representativas de la cantera AMARU – SAN SALVADOR, seleccionadas por cumplir con las propiedades de origen y consenso. El objetivo fue encontrar la combinación que mejor se ajustara a la curva potencia 0.45, dentro de los límites establecidos por el método Superpave.

**Tabla 78**

*Valores obtenidos de las tres combinaciones para el diseño de mezcla*

MALLA DESIGNADO	mm	mm <sup>45</sup>	COMBINACIÓN		
			MUESTRA 01 %	MUESTRA 02 %	MUESTRA 03 %
1"	25	4.26	100.0	100.0	100.0
3/4"	19	3.76	93.2	92.4	91.5
1/2"	12.5	3.12	68.0	64.0	60.1
3/8"	9.5	2.75	64.0	59.5	55.0
4	4.75	2.02	52.1	47.8	43.5
8	2.36	1.47	34.8	31.9	29.1
16	1.18	1.08	24.2	22.2	20.3
30	0.6	0.79	17.2	15.8	14.5
50	0.3	0.58	12.6	11.6	10.6
100	0.15	0.43	9.4	8.7	8.0
200	0.075	0.31	7.5	6.9	6.3

Las tres combinaciones de agregados se evaluaron conforme a la gradación nominal de 3/4", siguiendo las especificaciones de Superpave. Estudios posteriores del NCHRP (Reporte 464) indican que la zona restringida no afecta significativamente el desempeño de la granulometría Superpave; es decir, las muestras que atraviesan la zona restringida presentan un comportamiento comparable o superior al de aquellas fuera de esta zona.

Posteriormente, se construyó el gráfico de gradación de potencia 0.45 (Fuller) para cada combinación de agregados. Según los resultados, la combinación 1 presenta la mejor distribución entre partículas finas y gruesas, lo que garantiza un adecuado equilibrio granulométrico para la mezcla asfáltica.

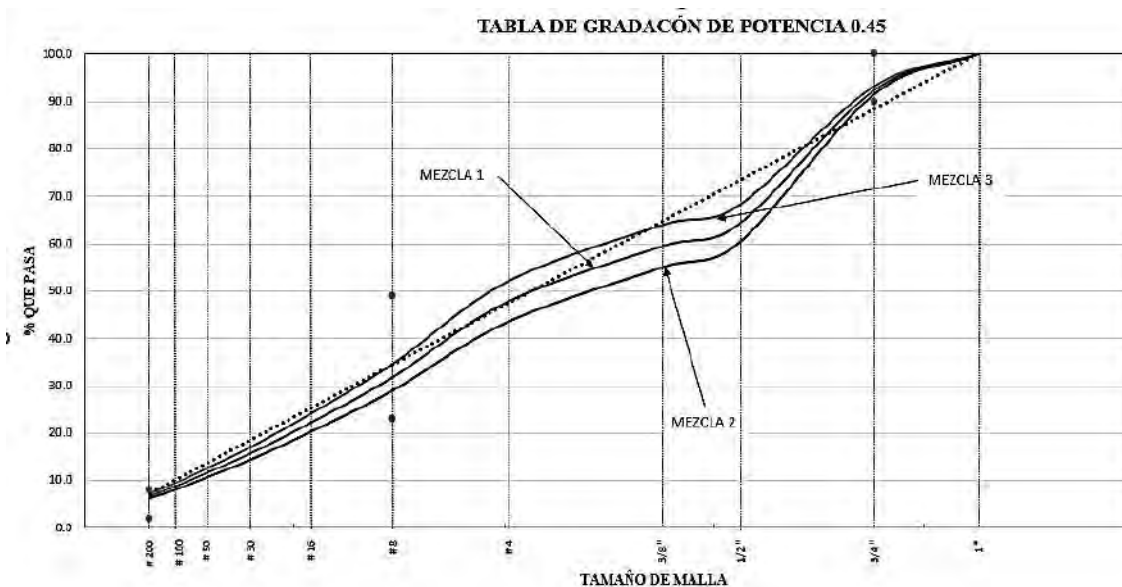
**Tabla 79**

*Valores obtenidos de la combinación de agregados*

MALLA DESIGNADO	mm <sup>45</sup>	Prueba			Especificación Técnica		Línea de densidad máxima %
		N° 1 %	N° 2 %	N° 3 %	Mínimo %	Máximo %	
1"	4.26	100.0	100.0	100.0			100.0
3/4"	3.76	93.2	92.4	91.5	90.0	100.0	88.4
1/2"	3.12	68.0	64.0	60.1			73.2
3/8"	2.75	64.0	59.5	55.0			64.7
4	2.02	52.1	47.8	43.5			47.4
8	1.47	34.8	31.9	29.1	23	49	34.6
16	1.08	24.2	22.2	20.3			25.3
30	0.79	17.2	15.8	14.5			18.7
50	0.58	12.6	11.6	10.6			13.7
100	0.43	9.4	8.7	8.0			10.0
200	0.31	7.5	6.9	6.3	2.0	8.0	7.3

**Figura 57**

*Gráfico de Fuller – Superpave*



El análisis permitió identificar que la combinación 2 de la cantera AMARU – SAN SALVADOR ofrece la mejor distribución de partículas finas y gruesas, cumpliendo con los límites de la curva potencia 0.45 y las especificaciones Superpave. Esto garantiza un adecuado equilibrio granulométrico, asegurando un desempeño óptimo de la mezcla asfáltica.

### 5.1.2 Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio

Se determinan los pesos iniciales del agregado y se procede con los ciclos de inmersión. Este procedimiento consiste en sumergir el agregado en la solución de sulfato, dejarlo reposar y posteriormente llevarlo al horno para su secado, obteniendo así los pesos finales. Este ciclo se repite sucesivamente para evaluar la resistencia del agregado al deterioro por acción de sulfatos.

#### Fórmulas para el Cálculo:

$$W_{\text{PERDIDA}} = W_{\text{ANTES DE LA } n \text{ INMERSION}} - W_{\text{DESPUES DE LA } n \text{ INMERSION}}$$

$$W_{\text{PERDIDA}} = \frac{W_{\text{DESPUES DE LA } n \text{ INMERSION}}}{W_{\text{ANTES DE LA } n \text{ INMERSION}}} * 100; W_{\text{PERDIDA}} = \frac{\%P_{\text{RETENIDO}} * W_{\text{DESPUES DE LA } n \text{ INMERSION}}}{100}$$

**Tabla 80**

*Resistencia del agregado fino al sulfato de magnesio cantera Amaru*

DURABILIDAD DEL AGREGADO FINO EN SOLUCION DE MAGNESIO							
TAMIZ QUE PASA	TAMIZ QUE RETIENE	% DEL RETENIDO MUESTRA ORIGINAL (%)	% RETENIDO REFERIDO (%)	PESO DE LAS FRACCIONES ANTES DEL ENSAYO (gr)	PESO LUEGO DEL ENSAYO (gr)	PESO DE PERDIDA LUEGO DEL ENSAYO (gr)	% DE PERDIDAS CORREGIDAS (%)
3/8"	N°04	13.6	17.064	300.15	295.00	5.15	<b>0.29</b>
N°04	N°08	29.2	36.637	301.10	291.32	9.78	<b>1.19</b>
N°08	N°16	17.5	21.957	300.08	293.15	6.93	<b>0.51</b>
N°16	N°30	11.7	14.680	300.00	294.92	5.08	<b>0.25</b>
N°30	N°50	7.7	9.661	300.03	294.45	5.58	<b>0.18</b>
N°50	----						
VALOR PROMEDIO							<b>2.42</b>

**Tabla 81**

*Resistencia del agregado grueso al sulfato de magnesio cantera Amaru*

DURABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO EN SOLUCION DE MAGNESIO						
TAMIZ QUE PASA	TAMIZ QUE RETIENE	PESO DE LAS FRACCIONES AL INICIO DEL ENSAYO (gr)	PESO DE LAS FRACCIONES LUEGO DEL ENSAYO (gr)	PERDIDAS DESPUES DEL ENSAYO (gr)	SUMA PARCIALES DE PERDIDAS (gr)	% DE PERDIDAS CORREGIDAS (%)
1"	3/4"	1512.74	1495.19	17.55	0	<b>0.00</b>
3/4"	1/2"	673.3	652.12	21.18	1045.98	<b>1.39</b>
1/2"	3/8"	330.92	303.75	27.17	1083.76	<b>2.93</b>
3/8"	N°04	300.74	276.29	24.45	262.26	<b>0.78</b>
VALOR PROMEDIO						<b>5.10</b>

### 5.1.3 Ensayo de Gravedad Específica y Porcentaje de Absorción en Agregado Fino

Una vez recolectados los datos de los ensayos, se procede al cálculo del peso específico bulk en condiciones secas y saturadas. Asimismo, se determina el peso específico aparente y, a partir de estos valores, se calcula el nivel de absorción del agregado. Para estos cálculos se aplican las siguientes fórmulas:

#### Fórmulas para el Cálculo:

$$P.E. BULK (SECA) = \frac{PESO DEL MATERIAL SECO}{PESO DE MATERIAL S.S.S. + (PESO MATERIAL + PESO MATRAZ) - PESO DEL AGUA}$$

$$P.E. BULK (SAT.) = \frac{PESO PESO DE MATERIAL S.S.S. + (PESO MATERIAL S.S.S. + PESO MATRAZ)}{PESO DE MATERIAL S.S.S. - PESO MATERIAL + PESO MATRAZ - PESO DEL AGUA}$$

$$P.E. APARENTE (SECA) = \frac{PESO DEL MATERIAL SECO}{(500 - PESO DEL AGUA) - (500 - PESO DEL MATERIAL SECO)}$$

$$\% ABSORCION = \frac{PESO DEL MATERIAL S.S.S. - PESO DEL MATERIAL SECO}{PESO DEL MATERIAL SECO} * 100$$

#### Cálculo de Valores:

**Tabla 82**

*Valores obtenidos de G.E. y absorción en agregado fino cantera Carmen Bonita*

DESCRIPCION	ENSAYO		
	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
A MASA DE MATERIAL SAT. SUP. SECA (gr)	499.86	499.64	499.47
B PESO DEL MATRAZ (gr)	180.00	180.00	180.00
C MASA DEL MATERIAL + MASA DEL MATRAZ (gr)	<b>679.86</b>	<b>679.64</b>	<b>679.47</b>
D PESO DE MATERIAL + MATRAZ + AGUA (gr)	970.74	903.69	959.30
E MASA DEL AGUA (gr)	208.97	223.05	218.83
F MASA DEL MATERIAL SECO (gr)	489.00	488.50	488.00
G VOLUMEN DEL MATRAZ (cm <sup>3</sup> )	500.00	500.00	500.00
P.E. BULK (BASE SECA) = F/E (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>2.34</b>	<b>2.19</b>	<b>2.23</b>
P.E. BULK (BASE SATURADA) = A/E (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>2.39</b>	<b>2.24</b>	<b>2.28</b>
P.E. APARENTE (BASE SECA) = F/(E-(A-F)) (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>2.47</b>	<b>2.31</b>	<b>2.35</b>
% DE ABSORCION = ((A-F) /F*100)	<b>2.22</b>	<b>2.28</b>	<b>2.35</b>

**Tabla 83**

*Valores obtenidos de G.E. y absorción en agregado fino cantera Vicho*

DESCRIPCION	ENSAYO		
	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
A MASA DE MATERIAL SAT. SUP. SECA (gr)	468.14	467.61	444.34
B PESO DEL MATRAZ (gr)	180.00	180.00	180.00
C MASA DEL MATERIAL + MASA DEL MATRAZ (gr)	<b>648.14</b>	<b>647.61</b>	<b>624.34</b>
D PESO DE MATERIAL + MATRAZ + AGUA (gr)	946.94	964.87	922.24
E MASA DEL AGUA (gr)	201.20	182.73	202.10
F MASA DEL MATERIAL SECO (gr)	458.74	458.67	434.52
G VOLUMEN DEL MATRAZ (cm <sup>3</sup> )	500.00	500.00	500.00
P.E. BULK (BASE SECA) = F/E (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>2.28</b>	<b>2.51</b>	<b>2.15</b>
P.E. BULK (BASE SATURADA) = A/E (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>2.33</b>	<b>2.56</b>	<b>2.20</b>
P.E. APARENTE (BASE SECA) = F/(E-(A-F)) (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>2.39</b>	<b>2.64</b>	<b>2.26</b>
% DE ABSORCION = ((A-F) /F*100)	<b>2.05</b>	<b>1.95</b>	<b>2.26</b>

**Tabla 84**

*Valores obtenidos de G.E. y absorción en agregado fino cantera Amaru*

DESCRIPCION	ENSAYO		
	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
A MASA DE MATERIAL SAT. SUP. SECA (gr)	499.92	495.83	491.58
B PESO DEL MATRAZ (gr)	180.00	180.00	180.00
C MASA DEL MATERIAL + MASA DEL MATRAZ (gr)	<b>679.92</b>	<b>675.83</b>	<b>671.58</b>
D PESO DE MATERIAL + MATRAZ + AGUA (gr)	990.68	989.79	987.78
E MASA DEL AGUA (gr)	189.16	186.03	183.79
F MASA DEL MATERIAL SECO (gr)	493.70	489.27	485.22
G VOLUMEN DEL MATRAZ (cm <sup>3</sup> )	500.00	500.00	500.00
P.E. BULK (BASE SECA) = F/E (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>2.61</b>	<b>2.63</b>	<b>2.64</b>
P.E. BULK (BASE SATURADA) = A/E (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>2.64</b>	<b>2.67</b>	<b>2.67</b>
P.E. APARENTE (BASE SECA) = F/(E-(A-F)) (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>2.70</b>	<b>2.73</b>	<b>2.73</b>
% DE ABSORCION = ((A-F) /F*100)	<b>1.26</b>	<b>1.34</b>	<b>1.31</b>

#### **5.1.4 Ensayo de Gravedad Especifica y Porcentaje de Absorción en Agregado Grueso**

Una vez recolectado los datos después de haber realizado los ensayos correspondientes se procede al cálculo del peso específico bulk en base seca y saturada; se determina el PE aparente y por consiguiente el nivel de absorción; se utilizan las siguientes formulas:

**Fórmulas para el Cálculo:**

$$VOL. \text{ de la MUESTRA} = PESO \text{ DE LA MUESTRA SAT.SUP.SECA} - PESO \text{ DE LA MUESTRA S.S.SUMERGIDA}$$

$$P.E.BULK (SECA) = \frac{MASA \text{ DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO}}{VOLUMEN \text{ DE LA MUESTRA}}$$

$$P.E.BULK (SAT.) = \frac{PESO \text{ DE LA MUESTRA SAT.SUP.SECA}}{VOLUMEN \text{ DE LA MUESTRA}}$$

$$P.E.APARENTE (SECA) = \frac{MASA \text{ DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO}}{MASA \text{ DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO} - PESO \text{ DE LA MUESTRA SAT.SUP.SUMERGIDA}}$$

$$\% \text{ DE ABSORCIÓN} = \frac{PESO \text{ DE LA MUESTRA SAT.SUP.SECA} - MASA \text{ DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO}}{MASA \text{ DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO}} \times 100$$

**Cálculo de Valores:****Tabla 85**

*Valores obtenidos de G.E. y absorción en agregado grueso cantera Amaru*

DESCRIPCION	ENSAYO		
	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
MASA SAT. SUP. SECA (gr)	3003.92	3008.13	3006.93
MASA SAT. SUP. SECA SUMERGIDA (gr)	1861.91	1859.4	1883.22
MASA SECADA AL HORNO (gr)	2970.77	2975.12	2971.51
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	1142.01	1148.733	1123.707
P.E. BULK DE LA MUESTRA (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>2.601</b>	<b>2.590</b>	<b>2.624</b>
P.E. BULK DE LA MUESTRA S.S. SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>2.630</b>	<b>2.619</b>	<b>2.676</b>
P.E. APARENTE (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>2.679</b>	<b>2.667</b>	<b>2.730</b>
% DE ABSORCION	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.20</b>

**Tabla 86**

*Valores obtenidos de G.E. y absorción en agregado grueso cantera Vicho*

DESCRIPCIÓN	ENSAYO		
	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
MASA SAT. SUP. SECA (gr)	3004.14	3005.46	3001.43
MASA SAT. SUP. SECA SUMERGIDA (gr)	1845.75	1896.13	1798.23
MASA SECADA AL HORNO (gr)	2992.23	2988.56	2980.81
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	1158.39	1109.33	1203.2
P.E. BULK DE LA MUESTRA (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>2.583</b>	<b>2.694</b>	<b>2.477</b>
P.E. BULK DE LA MUESTRA S.S. SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>2.593</b>	<b>2.709</b>	<b>2.495</b>
P.E. APARENTE (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>2.610</b>	<b>2.736</b>	<b>2.521</b>
% DE ABSORCION	<b>0.40</b>	<b>0.60</b>	<b>0.70</b>

**Tabla 87**

*Valores obtenidos de G.E. y absorción en agregado grueso cantera Carmen Bonita*

DESCRIPCIÓN	ENSAYO		
	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
MASA SAT. SUP. SECA (gr)	3003.15	3008.13	3006.93
MASA SAT. SUP. SECA SUMERGIDA (gr)	1935.75	1920.42	1917.36
MASA SECADA AL HORNO (gr)	2964.69	2977.74	2971.81
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	1067.4	1087.71	1089.57
P.E. BULK DE LA MUESTRA (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>2.777</b>	<b>2.738</b>	<b>2.728</b>
P.E. BULK DE LA MUESTRA S.S. SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>2.814</b>	<b>2.766</b>	<b>2.760</b>
P.E. APARENTE (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>2.881</b>	<b>2.816</b>	<b>2.818</b>
% DE ABSORCION	<b>1.30</b>	<b>1.00</b>	<b>1.20</b>

### **5.1.5 Ensayo de Abrasión de Los Ángeles**

Una vez realizado el ensayo, se determina el peso del agregado triturado o desgastado. Posteriormente, la muestra se tamiza a través de la malla N°12, donde el peso retenido sirve como indicador del nivel de desgaste del agregado. La metodología Superpave establece un valor específico de referencia para este ensayo.

### **Fórmulas para el Calculo**

$$\% \text{ DE DESGASTE} = \frac{W_{TOTAL INICIAL} - W_{RETENIDO TAMIZ N^{\circ}12}}{W_{TOTAL INICIAL}}$$

### **Cálculo de Valores:**

**Tabla 88**

*Valores obtenidos de abrasión de Los Ángeles cantera Amaru*

RESULTADOS OBTENIDOS	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
PESO TOTAL INICIAL (gr)	5080.65	5062.46	5052.88
PESO RETENIDO TAMIZ N°12 (gr)	4145.64	4078.37	4098.76
% DESGASTE	<b>18.40</b>	<b>19.44</b>	<b>18.88</b>

**Tabla 89***Valores obtenidos de abrasión de Los Ángeles cantera Vicho*

RESULTADOS OBTENIDOS	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
PESO TOTAL INICIAL (gr)	5054.81	5066.22	5059.81
PESO RETENIDO TAMIZ N°12 (gr)	4010.53	3934.89	3894.56
% DESGASTE	<b>20.66</b>	<b>22.33</b>	<b>23.03</b>

**Tabla 90***Valores obtenidos de abrasión de Los Ángeles cantera Carmen Bonita*

RESULTADOS OBTENIDOS	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
PESO TOTAL INICIAL (gr)	5028.96	5070.00	5066.76
PESO RETENIDO TAMIZ N°12 (gr)	3875.41	3791.41	3690.36
% DESGASTE	<b>22.94</b>	<b>25.22</b>	<b>27.17</b>

**5.1.6 Ensayo de Arcilla en Terrones y Partículas Desmenuzables**

Una vez finalizado el ensayo, se calcula el contenido de arcilla del agregado fino utilizando las mallas establecidas por la norma. Posteriormente, para el agregado grueso se identifican las partículas desmenuzables, se aplica el tamizado según las mallas indicadas en la normativa.

**Fórmulas para el Cálculo:**

$$\% \text{ PERDIDA TOTAL} = 1 - \frac{\text{PESO DESPUES DEL ENSAYO}}{\text{GRADACION ORIGINAL}}$$

**Cálculo de Valores:****Tabla 91***Valores obtenidos de arcilla en terrones cantera Amaru*

ARCILLA EN TERRONES - AGREGADO FINO						
TIPO DE MUESTRA	PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	GRADACION ORIGINAL (gr)	PESO FRACCION	PESO DESPUES DE ENSAYO (gr)	PERDIDA TOTAL (%)
<b>01</b>	N°04	N°16	100.85	100.00%	98.42	<b>2.41</b>
<b>02</b>	N°04	N°16	100.24	100.00%	97.65	<b>2.58</b>
<b>03</b>	N°04	N°16	100.45	100.00%	98.32	<b>2.12</b>



**Tabla 92***Valores obtenidos de arcilla en terrones cantera Carmen Bonita*

<b>ARCILLA EN TERRONES - AGREGADO FINO</b>						
TIPO DE MUESTRA	PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	GRADACION ORIGINAL (gr)	PESO FRACCION	PESO DESPUES DE ENSAYO (gr)	PERDIDA TOTAL (%)
<b>01</b>	N°04	N°16	98.23	100.00%	95.37	<b>2.91</b>
<b>02</b>	N°04	N°16	97.45	100.00%	93.70	<b>3.85</b>
<b>03</b>	N°04	N°16	96.34	100.00%	93.53	<b>2.92</b>

**Tabla 93***Valores obtenidos de partículas desmenuzables cantera Amaru*

<b>ARCILLA EN TERRONES - AGREGADO GRUESO</b>						
TIPO DE MUESTRA	PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	GRADACION ORIGINAL (gr)	PESO FRACCION	PESO DESPUES DE ENSAYO (gr)	PERDIDA TOTAL (%)
<b>01</b>	1"	3/4"	3017.64	50.07%	2985.86	<b>1.05</b>
	3/4"	3/8"	2005.15	33.27%	1980.11	<b>1.25</b>
	3/8"	N°04	1004.63	16.67%	991.98	<b>1.26</b>
<b>02</b>	1"	3/4"	3007.56	49.90%	2981.65	<b>0.86</b>
	3/4"	3/8"	2010.45	33.36%	1985.65	<b>1.23</b>
	3/8"	N°04	1001.37	16.61%	989.27	<b>1.21</b>
<b>03</b>	1"	3/4"	3027.87	50.23%	2983.43	<b>1.47</b>
	3/4"	3/8"	2007.34	33.30%	1983.12	<b>1.21</b>
	3/8"	N°04	1004.56	16.67%	991.72	<b>1.28</b>

**Tabla 94***Valores obtenidos de partículas desmenuzables cantera Carmen Bonita*

<b>ARCILLA EN TERRONES - AGREGADO GRUESO</b>						
TIPO DE MUESTRA	PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	GRADACION ORIGINAL (gr)	PESO FRACCION	PESO DESPUES DE ENSAYO (gr)	PERDIDA TOTAL (%)
<b>01</b>	1"	3/4"	3168.52	50.71%	2954.41	<b>6.76</b>
	3/4"	3/8"	2045.25	32.73%	1955.38	<b>4.39</b>
	3/8"	N°04	1034.77	16.56%	979.49	<b>5.34</b>
<b>02</b>	1"	3/4"	3157.94	50.54%	2955.96	<b>6.40</b>
	3/4"	3/8"	2050.66	32.82%	1961.16	<b>4.36</b>
	3/8"	N°04	1031.41	16.51%	977.32	<b>5.24</b>
<b>03</b>	1"	3/4"	3179.26	50.88%	2939.64	<b>7.54</b>
	3/4"	3/8"	2047.49	32.77%	1959.19	<b>4.31</b>
	3/8"	N°04	1034.70	16.56%	979.04	<b>5.38</b>

### 5.1.7 Ensayo de Partículas Fracturadas en el Agregado Grueso

Tras realizar el pesado y tamizado de cada agregado, se procede a evaluar visualmente el agregado grueso, determinando el número de caras fracturadas presentes en la muestra seleccionada.

#### Fórmulas para el Cálculo:

$$\%PARTICULAS\ FRACTURADAS = \frac{MASA\ PARTICULAS\ FRACTURADAS}{MASA\ MUESTRA}$$

$$\%INDIVIDUAL\ PARTICULAS\ FRACTURADAS = \frac{\% GRANULOMETRIA\ RETENIDA}{\% PARTICULAS\ FRACTURADAS}$$

#### Cálculo de Valores:

**Tabla 95**

*Valores obtenidos de partículas fracturadas cantera Amaru*

PASA	RET.	MUESTRA INICIAL (gr)	MASA MUESTRA (gr)	PARTICULAS SIN FRACTURA (gr)	MASA PARTICULAS FRACTURADAS (gr)	% PARTICULAS FRACTURADAS (%)	% INDIVIDUAL PARTICULAS FRACTURADAS (%)
<b>ENSAYO NUMERO 01</b>							
1 1/2"	1"	<b>1828.41</b>	408.72	0.00	408.72	<b>100.00</b>	<b>22.35</b>
1"	3/4"		1114.34	0.00	1114.34	<b>100.00</b>	<b>61.15</b>
3/4"	1/2"		290.41	0.00	290.41	<b>100.00</b>	<b>15.88</b>
1/2"	3/8"		11.32	0.00	11.32	<b>100.00</b>	<b>0.62</b>
<b>ENSAYO NUMERO 02</b>							
1 1/2"	1"	<b>1774.27</b>	311.86	0.00	311.86	<b>100.00</b>	<b>17.58</b>
1"	3/4"		947.97	0.00	947.97	<b>100.00</b>	<b>53.72</b>
3/4"	1/2"		483.27	0.00	483.27	<b>100.00</b>	<b>27.24</b>
1/2"	3/8"		26.08	0.00	26.08	<b>100.00</b>	<b>1.47</b>
<b>ENSAYO NUMERO 03</b>							
1 1/2"	1"	<b>1863.73</b>	373.71	0.00	373.71	<b>100.00</b>	<b>20.05</b>
1"	3/4"		1039.21	0.00	1039.21	<b>100.00</b>	<b>55.91</b>
3/4"	1/2"		441.12	0.00	441.12	<b>100.00</b>	<b>23.67</b>
1/2"	3/8"		6.96	0.00	6.96	<b>100.00</b>	<b>0.37</b>

**Tabla 96***Valores obtenidos de partículas fracturadas cantera Vicho*

PASA	RET.	MUESTRA INICIAL (gr)	MASA MUESTRA (gr)	PARTICULAS SIN FRACTURA (gr)	MASA PARTICULAS FRACTURADAS (gr)	% PARTICULAS FRACTURADAS (%)	% INDIVIDUAL PARTICULAS FRACTURADAS (%)
ENSAYO NUMERO 01							
1 1/2"	1"	1794.83	383.15	0.00	383.15	100.00	21.35
1"	3/4"		1219.37	119.30	1100.07	90.22	61.29
3/4"	1/2"		184.45	32.40	152.05	82.43	8.47
1/2"	3/8"		7.87	0.00	7.87	100.00	0.44
ENSAYO NUMERO 02							
1 1/2"	1"	1791.27	549.45	89.45	460.00	83.72	25.68
1"	3/4"		940.21	0.00	940.21	100.00	52.49
3/4"	1/2"		288.58	22.30	266.28	92.27	14.87
1/2"	3/8"		13.04	0.00	13.04	100.00	0.73
ENSAYO NUMERO 03							
1 1/2"	1"	1918.31	591.74	23.10	568.64	96.10	29.64
1"	3/4"		1059.91	146.38	913.53	86.19	47.62
3/4"	1/2"		260.97	12.64	248.33	95.16	12.95
1/2"	3/8"		5.70	0.00	5.70	100.00	0.30

**Tabla 97***Valores obtenidos de partículas fracturadas cantera Carmen Bonita*

PASA	RET.	MUESTRA INICIAL (gr)	MASA MUESTRA (gr)	PARTICULAS SIN FRACTURA (gr)	MASA PARTICULAS FRACTURADAS (gr)	% PARTICULAS FRACTURADAS	% INDIVIDUAL PARTICULAS FRACTURADAS
ENSAYO NUMERO 01							
1 1/2"	1"	1763.42	357.58	30.79	326.79	91.39	18.53
1"	3/4"		1324.39	59.07	1265.32	95.54	71.68
3/4"	1/2"		78.48	0.00	78.48	100.00	4.45
1/2"	3/8"		4.42	0.00	4.42	100.00	0.25
ENSAYO NUMERO 02							
1 1/2"	1"	1815.96	787.03	67.46	719.57	91.43	39.62
1"	3/4"		932.45	155.51	776.94	83.32	42.90
3/4"	1/2"		93.88	0.00	93.88	100.00	5.17
1/2"	3/8"		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ENSAYO NUMERO 03							
1 1/2"	1"	1977.99	809.76	0.00	809.76	100.00	40.94
1"	3/4"		1080.60	62.44	1018.16	94.22	51.59
3/4"	1/2"		80.82	0.00	80.82	100.00	4.09
1/2"	3/8"		4.44	0.00	4.44	100.00	0.22

### 5.1.8 Ensayo de Equivalente de Arena

Una vez obtenido los niveles de arena y arcilla, esperando los tiempos de saturación y decantación, procederemos con el cálculo del equivalente de arena que viene a ser el coeficiente entre los niveles iniciales y niveles finales de arena y arcilla.

#### Fórmulas para el Cálculo:

$$\% \text{ EQUIVALENTE DE ARENA} = \frac{\text{LECTURA INICIAL}}{\text{LECTURA FINAL}} * 100$$

#### Cálculo de Valores:

**Tabla 98**

*Valores obtenidos de equivalente de arena lavada cantera Amaru*

DESCRIPCION	ENSAYO		
	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA
	01	02	03
A) LECTURA INICIAL (cm)	7.2	7.15	6.23
B) LECTURA FINAL (cm)	7.05	6.9	6.05
EQUIVALENTE DE ARENA ((B/A) *100) %	<b>97.92</b>	<b>96.50</b>	<b>97.11</b>

**Tabla 99**

*Valores obtenidos de equivalente de arena triturada cantera Amaru*

DESCRIPCION	ENSAYO		
	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA
	01	02	03
A) LECTURA INICIAL (cm)	8.01	7.8	7.6
B) LECTURA FINAL (cm)	7.01	6.7	6.7
EQUIVALENTE DE ARENA ((B/A) *100) %	<b>87.52</b>	<b>85.90</b>	<b>88.16</b>

**Tabla 100**

*Valores obtenidos de equivalente de arena cantera Vicho*

DESCRIPCION	ENSAYO		
	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA
	01	02	03
A) LECTURA INICIAL (cm)	7.6	7.5	8.0
B) LECTURA FINAL (cm)	7.4	7.3	7.8
EQUIVALENTE DE ARENA ((B/A) *100) %	<b>97.37</b>	<b>97.33</b>	<b>97.50</b>

**Tabla 101**

*Valores obtenidos de equivalente de arena cantera Carmen Bonita*

DESCRIPCION	ENSAYO		
	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
A) LECTURA INICIAL (cm)	6.5	7.1	6.9
B) LECTURA FINAL (cm)	4.7	5.4	5.1
EQUIVALENTE DE ARENA ((B/A) *100) %	<b>72.31</b>	<b>76.06</b>	<b>73.91</b>

### **5.1.9 Ensayo de Angularidad en el Agregado Fino**

Se procede a determinar la angularidad del agregado fino de acuerdo con la normativa vigente, calculando los valores correspondientes mediante las fórmulas establecidas.

#### **Fórmulas para el Cálculo:**

$$\% U = \frac{VOLUMEN - \frac{MASA NETA DE AGREGADO}{DENSIDAD BULK DEL AGREGADO}}{VOLUMEN DEL CILINDRO}$$

#### **Cálculo de Valores:**

**Tabla 102**

*Valores obtenidos de angularidad del agregado fino cantera Amaru*

DESCRIPCION	ENSAYOS		
	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
PESO DEL CILINDRO SIN CONTENIDO (kg)	5.25	5.25	5.25
PESO DEL CILINDRO CON VOLUMEN DE AGUA (kg)	6.60	6.50	6.55
PESO DEL CILINDRO CONT. CON AGREGADO (kg)	7.15	7.10	7.20
PESO DEL AGREGADO (kg)	1.90	1.85	1.95
T° DEL AGUA (°C)	18.4	18.4	18.4
PESO DEL AGUA (kg)	1.35	1.25	1.30
VALOR DE DENSIDAD DEL AGUA (kg/m³)	1.00	1.00	1.00
CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL CILINDRO	1.30	1.30	1.30
DENSIDAD BULK DEL AGREGADO (kg/m³)	1.87	1.81	1.89
<b>PORCENTAJE DE VACIOS SIN COMPACTAR %U</b>	<b>22.01</b>	<b>21.54</b>	<b>20.80</b>

**Tabla 103**

*Valores obtenidos de angularidad del agregado fino cantera Carmen Bonita*

DESCRIPCION	ENSAYOS		
	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
PESO DEL CILINDRO SIN CONTENIDO (kg)	5.25	5.25	5.25
PESO DEL CILINDRO CON VOLUMEN DE AGUA (kg)	6.60	6.50	6.55
PESO DEL CILINDRO CONT. CON AGREGADO (kg)	6.85	6.90	6.80
PESO DEL AGREGADO (kg)	1.60	1.65	1.55
T° DEL AGUA (°C)	18.4	18.4	18.4
PESO DEL AGUA (kg)	1.35	1.25	1.30
VALOR DE DENSIDAD DEL AGUA (kg/m <sup>3</sup> )	1.00	1.00	1.00
CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL CILINDRO	1.30	1.30	1.30
DENSIDAD BULK DEL AGREGADO (kg/m <sup>3</sup> )	1.95	2.01	1.97
<b>PORCENTAJE DE VACIOS SIN COMPACTAR %U</b>	<b>37.01</b>	<b>36.99</b>	<b>39.60</b>

## 5.2 Resultados de Selección de Ligante

### 5.2.1 Parámetros de Tráfico

Una vez obtenida la cantidad y tipología vehicular debido al aforo realizado se procede con la corrección de pesos según la clasificación de vacío o lleno, posteriormente se calcula del TPDS que vendría a ser la cantidad de vehículos de los días consecutivos entre 7; luego se calcula los factores de corrección estacional (FCEm) y el factor carril (Fc) de la siguiente manera:

#### – Cálculo del Factor de Corrección de Estacionalidad (FCE)

Viene a ser un coeficiente numérico que permite extrapolar los datos de la muestra del flujo vehicular semanal calculado a una representación de comportamiento anual que sirve para neutralizar la estacionalidad sobre el desplazamiento de carga y pasajeros; para lo cual se usa una serie histórica de tráfico. El mes de conteo se realizó en septiembre por lo cual calcularemos los valores para dicho mes.

Según el anexo 09 del INEI, no se registran datos de las estaciones de peajes de Anta o Saylla; debido a que el MTC incluye solo un subconjunto de estaciones priorizadas; para nuestro caso se usara la estación de Sicuyani 1 (Sicuyani 1) que es la estación más cercana, también se compara con registros históricos de Saylla y Huyllque. Al final se observa una variación mínima, sin embargo, se tomó en cuenta el valor obtenido a través del INEI.

**Tabla 104**

*Flujo vehicular por unidades de peaje estación de Sicuyani 1/ según anexo 09 INEI*

MESES	SICUYANI 1/	FCEmes
OCTUBRE	10750.00	0.942404
NOVIEMBRE	9561.00	1.059601
DICIEMBRE	11546.00	0.877433
ENERO	9979.00	1.015217
FEBRERO	10335.00	0.980246
MARZO	9272.00	1.092628
ABRIL	9526.00	1.063494
MAYO	9709.00	1.043449
JUNIO	9772.00	1.036722
JULIO	10901.00	0.929350
AGOSTO	11452.00	0.884636
<b>SEPTIEMBRE</b>	<b>9401.00</b>	<b>1.077635</b>
OCTUBRE	9497.00	1.066742
<b>PROMEDIO</b>	<b>10130.85</b>	

$$Prom. flujo = \frac{\sum \text{valores 12 meses}}{12}$$

$$FCEmes = \frac{Prom. flujo}{flujo del mes}$$

$$FCEmes = \frac{10130.85}{9401.00}$$

$$FCEm(septiembre) = 1.077$$

**Tabla 105**

*Serie histórica de factores de corrección de estacionalidad*

MESES	FCEm		
	SAYLLA	HUYLLQUE	PROMEDIO
ENERO	1.033154	1.078885	1.0560195
FEBRERO	1.002258	1.082401	1.0423295
MARZO	1.048227	1.122024	1.0851255
ABRIL	1.197009	1.134512	1.1657605
MAYO	1.087123	1.072256	1.0796895
JUNIO	1.085906	0.9047	0.995303
JULIO	1.02691	0.988543	1.0077265
AGOSTO	0.967106	0.962398	0.964752
<b>SEPTIEMBRE</b>	<b>0.969674</b>	<b>0.960562</b>	<b>0.965118</b>
OCTUBRE	0.99655	0.968604	0.982577
NOVIEMBRE	0.959322	0.946657	0.9529895
DICIEMBRE	0.913599	0.9277	0.9206495

$$FCEm(saylla) = \frac{\sum FCEmeses}{FCEmes * 12}$$

$$FCEm(saylla) = \frac{12.286838}{0.969674 * 12} = 1.056$$

$$FCEm(huyllque) = \frac{12.149242}{0.960562 * 12} = 1.054$$

$$FCEm(prom.) = \frac{1.056 + 1.054}{2} = 1.055$$

$$FCEm(septiembre) = 1.055$$

El valor considerado para el factor de corrección estacional es de **1.077** del INEI

#### – Cálculo del Factor Carril (Fc)

Es un valor numérico que afecta al carril de diseño, siendo este por donde se espera que circule el mayor volumen de vehículos pesados ocasionando un tráfico más severo; se tiene que el conteo se realizó en dos direcciones y el número de carriles es 2; por ello en base a la tabla proporcionada por la AASHTO se tendría el siguiente valor:

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

$$Fc = Fd * Fc$$

$$Fc = 0.5 * 1.00$$

$$Fc = 0.50$$

$$Fcarril = 0.5$$

Una vez obtenido estos datos se calcula el TPDI el cuales igual al TPDS multiplicado por FCE (obtenido de los centros del control de Saylla y Huillque) multiplicado por el factor carril (% de camiones en el carril de diseño); este proceso se realiza para carros vacíos y llenos.

$$TPDI = TPDS * FCEm * Fc$$

#### – Cálculo del Factor de Equivalencia y Factor Camión

Se realiza el cálculo de los factores de equivalencia (EE), los cuales cuantifican el nivel destructivo de las diversas cargas y configuraciones según tipo de eje para vehículos pesados que transiten por encima de la carpeta asfáltica; por lo cual, se estima el factor camión para carros vacíos y llenos donde se toma en cuenta la corrección por peso, las fórmulas de manual de carreteras y el tipo de pavimento que es flexible en nuestro caso.

**Tabla 106**

*Factor de equivalencia y factor camión para buses vehículo lleno*

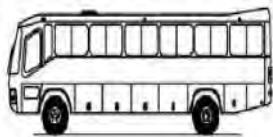

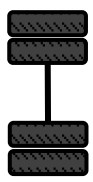
Configuración Vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Eje delantero	Ejes Posteriores	Long. Máx. (m)		
			(1)			
B-2 (mediano)		Gráfica de ejes	 	9.90		
		Tipo de ejes	Eje Simple	Eje Simple	Peso bruto máximo (tn)	
		Tipo de ruedas	1RS	1RD		
		INFORMACIÓN DEL CENSO VEHICULAR DE PESOS		2.30	3.90	6.20
		FACTOR DE EJE EQUIVALENTE (E.E.)		$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4$	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{8.2}\right)^4$	Factor Camión (F.C.)
		FL	0.0147	0.0512	0.0659	



Tabla 107

Factor de equivalencia y factor camión para buses vehículo vacío


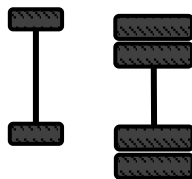
Configuración Vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Eje delantero	Ejes Posteriores	Long. Máx. (m)		
			(1)			
B-2 (mediano)		Gráfica de ejes 		9.90		
			Tipo de ejes	Eje Simple	Eje Simple	Peso bruto máximo (tn)
			Tipo de ruedas	1RS	1RD	
			INFORMACIÓN DEL CENSO VEHICULAR DE PESOS			4.00
FACTOR DE EJE EQUIVALENTE (E.E.)		$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4 EE_{S1} = \left(\frac{P}{8.2}\right)^4$		Factor Camión (F.C.)		
	FL	0.0027	0.0086	0.0113		

Tabla 108

Factor de equivalencia y factor camión para camiones vehículo lleno

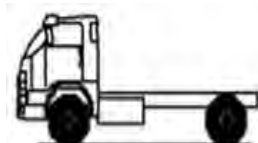
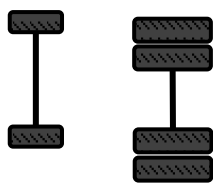
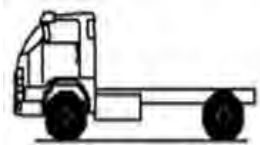
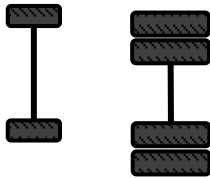
Configuración Vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Eje delantero	Ejes Posteriores	Long. Máx. (m)		
			(1)			
C-2 (mediano)		Gráfica de ejes 		5.73		
			Tipo de ejes	Eje Simple	Eje Simple	Peso bruto máximo (tn)
			Tipo de ruedas	1RS	1RD	
			INFORMACIÓN DEL CENSO VEHICULAR DE PESOS			
		3.26	5.39	8.65		
FACTOR DE EJE EQUIVALENTE (E.E.)		$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4 EE_{TA1} = \left(\frac{P}{8.2}\right)^4$		Factor Camión (F.C.)		
	FL	0.0595	0.1867	0.2462		

Tabla 109

Factor de equivalencia y factor camión para camiones vehículo vacío

Configuración Vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Eje delantero	Ejes Posteriores	Long. Máx. (m)	
			(1)		
C-2 (mediano)		Gráfica de ejes		5.73	
		Tipo de ejes	Eje Simple	Eje Simple	Peso bruto máximo (tn)
		Tipo de ruedas	1RS	1RD	
			1.63	2.69	4.32
INFORMACIÓN DEL CENSO VEHICULAR DE PESOS					
FACTOR DE EJE EQUIVALENTE (E.E.)		$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4 EE_{TA1} = \left(\frac{P}{8.2}\right)^4$		Factor Camión (F.C.)	
FL		0.0037	0.0116	0.0153	

Para el cálculo después del análisis de ejes equivalentes tenemos la siguiente formula:

$$N_{18vacio} = TPDI_{vacio} * FC_{vacio} ; N_{18lleno} = TPDI_{lleno} * FC_{lleno}$$

– Cálculo del Factor de Presión por Neumático (Fp)

Debido a la presión que ejercen los neumáticos, se debe de realizar un ajuste complementario que es únicamente para pavimentos flexibles; la presión ocasiona un efecto adicional de deterioro; por lo cual, se utilizan cuadros del manual de carreteras para estimar el valor numérico.

Espeso de Capa de Rodadura (mm)	Presión de Contato del Neumático (PCN) en psc PCN = 0.90x[Presión de inflado del neumático] (pai)						
	80	90	100	110	120	130	140
50	1.00	1.30	1.80	2.13	2.91	3.59	4.37
60	1.00	1.33	1.72	2.18	2.69	3.27	3.92
70	1.00	1.30	1.65	2.05	2.49	2.99	3.53
80	1.00	1.28	1.59	1.94	2.32	2.74	3.20
90	1.00	1.25	1.53	1.84	2.17	2.52	2.91
100	1.00	1.23	1.48	1.75	2.04	2.35	2.68
110	1.00	1.21	1.43	1.66	1.91	2.17	2.44
120	1.00	1.19	1.38	1.59	1.80	2.02	2.25
130	1.00	1.17	1.34	1.52	1.70	1.89	2.09
140	1.00	1.15	1.30	1.46	1.62	1.78	1.94
150	1.00	1.13	1.26	1.39	1.52	1.66	1.79
160	1.00	1.12	1.24	1.36	1.47	1.59	1.71
170	1.00	1.11	1.21	1.31	1.41	1.51	1.61
180	1.00	1.09	1.18	1.27	1.36	1.45	1.53
190	1.00	1.08	1.16	1.24	1.31	1.39	1.46
200	1.00	1.08	1.15	1.22	1.28	1.35	1.41

$$e = 110mm$$

$$PIN = 95.00 PSI$$

$$PCN = 0.9 * PIN$$

$$PCN = 0.9 * 95.00$$

$$PCN = 85.50$$

$$\frac{90 - 85.5}{85.5 - 80} = \frac{1.21 - Fp}{Fp - 1}$$

$$Fp = 1.116$$

Para el diseño se definió un factor de presión de neumáticos representativo del tránsito pesado de la vía. El valor se obtuvo a partir de encuestas a operadores de buses y camiones y de verificaciones de inflado en grifos, registrando presiones por configuración de ejes y tipología vehicular. Se adoptó la media como estadístico de diseño para mitigar efectos de sobre o subinflado. Se excluyeron los vehículos ligeros por su baja incidencia en el daño estructural, dado que generan tensiones de contacto significativamente menores. La media de inflado fue 95.00 psi; con este valor, y conforme a la normativa aplicable, se determinó el factor de presión de neumáticos.

#### – Cálculo del Factor de Crecimiento Acumulado para el Periodo de Diseño (FCA)

Se utiliza para el cálculo de diseño de ejes equivalentes (ESALs), lo que permite calcular el número acumulado de aplicaciones en función del ESAL, determinado para un eje simple de 8.2 tn, considerando de la tasa anual de crecimiento y un tiempo de diseño.

Tasa de Crecimiento Anual de Vehículos Ligeros	Tasa de Crecimiento Anual de Vehículos Pesados
Amazonas.	2.69%
Ancash.	1.49%
Apurímac.	4.50%
Arequipa.	2.97%
Ayacucho.	2.90%
Calamarca.	1.45%
Cusco.	3.07%
Huancavelica.	2.00%
Huánuco.	3.03%
Ica.	2.62%
Junín.	2.84%
La Libertad.	2.21%
Lambayeque.	2.54%
Lima.	2.34%
Loreto.	1.48%
Madre de Dios.	1.38%
Moquegua.	0.58%
Pasco.	0.39%
Piura.	2.37%
Puno.	2.58%
San Martín.	2.88%
Tacna.	2.36%
Tumbes.	2.40%
Ucayali.	2.25%

Información al 2022, sin contar las distorsiones estadísticas provocadas por el impacto económico de la COVID 19  
 Nota: Los valores presentados, son susceptibles a ser actualizados periódicamente por la OPMI-MTC, sin incurrir en actualización de la Ficha Técnica Estándar.

$$r = 3.07\%$$

$$n = 20 \text{ años}$$

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

$$FCA = \frac{(1 + 0.0307)^{20} - 1}{0.0307}$$

$$FCA = 27.063$$

Para la proyección se adoptó una tasa anual de crecimiento de 3.07 % para vehículos pesados en Cusco. El valor se aplicó solo al componente pesado, y se descartó la tasa de ligeros por no ser significativamente representativa en el deterioro estructural. La tasa seleccionada se integra en función a los cuadros regionales de crecimiento empleados en estudios viales.

Una vez definido los factores de corrección; empezamos calculando el ESAL para 1 año y luego se procede con el cálculo del ESALs para el periodo de diseño:

$$ESAL_{1año} = N_{18vacio} * Fp * 365; ESAL_{1año} = N_{18lleno} * Fp * 365$$

$$ESALs_{diseño} = ESAL_{1año} * FCA; ESALs_{diseño} = ESAL_{1año} * FCA$$

Una vez culminado con el estudio y análisis de tráfico se obtiene un valor de ESAL de diseño para un periodo determinado, este valor se encuentra en la tabla 110; siendo un resumen lo que se presenta a continuación:

$$ESAL_{vacio} = 450010.2068 = 4.50 * 10^5$$

$$ESAL_{lleno} = 9607295.3101 = 9.61 * 10^6$$

$$ESAL_{diseño} = ESAL_{vacio} + ESAL_{lleno}$$

$$ESAL_{diseño} = 10057305.52 = 1.01 * 10^7$$

**Tabla 110**

*Cálculo de tráfico para diseño de ejes equivalentes ESALs*

RESUMEN TPDI			FACTOR CAMION		N18		ESSAL 1 AÑO		ESSAL 20 AÑOS	
VEHÍCULO	VACÍO	LLENO	FC VACIO	FC LLENO	FC VACIO	FC LLENO	FC VACIO	FC LLENO	FC VACIO	FC LLENO
B2 - Liviano	42.072	154.212	0.006	0.027	0.265	4.125	107.987	1679.679	2922.399	53183.942
B2 - Mediano	117.455	504.407	0.011	0.066	1.328	33.249	540.771	13537.503	14634.616	428640.016
B2 - Pesado	15.380	52.694	1.141	3.677	17.552	193.731	7146.490	78879.101	193402.047	2497560.989
B3-1	11.591	21.630	0.803	2.144	9.312	46.370	3791.276	18879.743	102601.491	597792.168
B4-1	0.000	0.000	0.686	3.931	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C2 - Liviano	57.957	130.612	0.019	0.190	1.091	24.858	444.365	10121.178	12025.626	320468.410
C2 - Mediano	38.026	83.579	0.015	0.246	0.582	20.578	236.904	8378.317	6411.213	265283.931
C2 - Pesado	25.350	83.579	0.412	4.122	10.448	344.523	4254.091	140275.248	115126.445	4441556.536
C3	11.579	22.456	0.021	3.230	0.242	72.526	98.681	29529.426	2670.559	934994.721
C4	0.539	1.847	0.036	2.847	0.020	5.260	7.975	2141.751	215.811	67814.597
8x4	0.000	0.000	0.237	3.686	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
T2S2	0.000	0.000	0.227	7.199	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
T2Se2	0.000	0.000	0.297	9.810	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
T2S3	0.000	0.000	0.297	5.336	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
T2Se3	0.000	0.000	0.202	5.336	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
T3S1	0.000	0.000	0.168	7.153	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
T3S2	0.000	0.000	0.135	6.612	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
T3Se2	0.000	0.000	0.168	6.323	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
T3S3	0.000	0.000	0.311	5.941	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
T3Se3	0.000	0.000	0.366	5.941	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C2R2	0.000	0.000	0.686	11.634	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C3R2	0.000	0.000	0.692	10.069	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C3R3	0.000	0.000	0.374	6.588	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C4R2	0.000	0.000	0.374	8.458	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOTAL							ESSAL	450010.2068	9607295.3101	
							ESSAL	4.50E+05	9.61E+06	

### 5.2.2 *Parámetros de Temperatura.*

#### – **Temperatura Máxima**

Según el LTPP, la temperatura máxima del aire se determina en función del nivel de confiabilidad  $z$  (50% y 98%) y la desviación estándar ( $\sigma$ ) obtenida de los datos promedios de los 7 días consecutivos más calientes del año:

$$T_{MAX\ aire} = T_{media} + z * \sigma$$

Donde:

- T máx. aire = Temperatura máxima del aire
- $\sigma$  = Desv. Estándar ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $z$  = Nivel de confiabilidad

De la tabla N°43, analizando la columna de promedios anuales, podemos obtener la desviación estándar que resulta  $\sigma = 0.84$ , además que el nivel de confiabilidad ( $z$ ) de 50% y 98% es de 0.67 y 2.05 respectivamente.

Para nivel de confiabilidad de 50% ( $z = 0.67$ )

$$T_{MAX\ aire} = 18.25 + 0.67 * 0.84$$

$$T_{MAX\ aire} = 18.81\ ^{\circ}\text{C}$$

Para nivel de confiabilidad de 98% ( $z = 2.05$ )

$$T_{MAX\ aire} = 18.25 + 2.05 * 0.84$$

$$T_{MAX\ aire} = 19.97\ ^{\circ}\text{C}$$

#### – **Temperatura mínima**

De similar manera que la temperatura máxima del aire, según el estudio realizado por el LTPP, para la temperatura mínima del aire depende de la desviación estándar y el nivel de confiabilidad al 50% y 98%.

$$T_{MIN\ aire} = T_{MIN\ prom} - z * \sigma$$

Donde:

- T min. aire = Temperatura mínima del aire

- $\sigma$  = Desv. Estándar ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $z$  = Nivel de confiabilidad

De la tabla N°44, analizando la columna de día más frío, podemos obtener la desviación estándar que resulta  $\sigma = \mathbf{0.96}$ , además que el nivel de confiabilidad ( $z$ ) de 50% y 98% es de 0.67 y 2.05 respectivamente.

Para nivel de confiabilidad de 50% ( $z = \mathbf{0.67}$ )

$$T_{MÍN\ aire} = -2.29 - 0.67 * 0.96$$

$$\mathbf{T_{MÍN\ aire} = -2.93^{\circ}\text{C}}$$

Para nivel de confiabilidad de 98% ( $z = \mathbf{2.05}$ )

$$T_{MÍN\ aire} = -2.29 - 0.67 * 0.96$$

$$\mathbf{T_{MÍN\ aire} = -4.26^{\circ}\text{C}}$$

Obteniendo las temperaturas máximas y mínimas del aire, determinaremos las temperaturas del pavimento utilizando los modelos matemáticos propuestos por el SHRP y LTPP.

El método Superpave menciona que la temperatura máxima se encuentra a una profundidad de 20 mm debajo de la carpeta asfáltica, mientras que la temperatura mínima se encuentra en la superficie de la carpeta asfáltica.

**Tabla 111**

*Parámetros de cálculo para temperatura máxima y mínima*

PARAMETROS PARA TEMP. ALTAS			PARAMETROS PARA TEMP. BAJAS		
T PROM=	18.25		T PROM=	-2.29	
DESV. EST. =	0.84		DESV. EST. =	0.96	
T MAX (98%) =	19.97		T MIN (98%) =	-4.26	
LATITUD =	13.5293	$^{\circ}$	LATITUD =	13.5293	$^{\circ}$
H PROF=	2	cm	H PROF=	2	cm
H PROF=	20	mm	H PROF=	20	mm
Z (98%) =	2.05		Z (98%) =	2.05	
Z (50%) =	0.67		Z (50%) =	0.67	
$\delta$ =	2.1	$^{\circ}\text{C}$	$\delta$ =	2.1	$^{\circ}\text{C}$

*Nota: Data access viewer Merra, Nasa power (2003-2023)*

Tabla 112

*Temperatura máxima y mínima del pavimento según los modelos matemáticos*

CALCULO DEL TEMPERATURA DEL PAVIMENTO							
MODELO SHRP ORIGINAL (1994)		MODELO C - SHRP (CANADÁ)		MODELO LTPP (1996)		MODELO C - LTPP (1998 - 2000)	MODELO LTPP (2004)
T° MAX PAV (°C)	T° MIN PAV (°C)	T° MAX PAV (°C)	T° MIN PAV (°C)	T° MAX PAV (°C)	T° MIN PAV (°C)	T° MIN PAV (°C)	T° MAX PAV (°C)
43.44	-4.26	43.44	-1.96	43.66	5.01	<b>0.46</b>	<b>53.52</b>

– **Grado de performance**

El grado de desempeño o performance grade (PG) están establecidos en la norma AASHTO M 320 y EG 2013, este varía de acuerdo a ciertos niveles, para nuestra normativa cada nivel tiene una equivalencia de 6°C, para todos los niveles de temperatura máximas y mínimas. Aplicando las fórmulas de los modelos del programa LTPP para la elección del ligante asfáltico, se obtiene una temperatura máxima es 53.52 °C y una temperatura mínima de 0.46 °C.

Según los modelos matemáticos, el grado de desempeño seria PG 54 – 01, sin embargo, estos valores no están dentro de la clasificación Superpave para cemento asfáltico según la tabla 423-13 del EG 2013, por lo cual se busca el inmediato superior e inferior, en base a ello nuestro grado de desempeño seria PG 58 – 16, observando un gran intervalo en la temperatura mínima.

Figura 58

*Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG*

Tabla 423-13  
Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG según Tabla 1 de AASHTO M320

	PG 46			PG 52						PG 58				PG 64							
	34	40	46	10	16	22	28	34	40	46	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40
Temperatura de diseño máxima del pavimento promedio de 7 días, °C <sup>a</sup>	<46			<52						<58				<64							
Temperatura de diseño mínima del pavimento, °C <sup>a</sup>	>-34	>-40	>-46	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40
Asfalto original																					
Punto de inflamación, T 48, °C, mínimo	230																				
Viscosidad, T 316: <sup>1</sup> máximo 3 Pa.s, temp de prueba, °C	135																				
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: <sup>1</sup> G*/senS, <sup>2</sup> mínimo 1.00 kPa temp de prueba @ 10 rad/s, °C	46			52						58				64							
Película delgada en horno rotativo (T 240)																					
Cambio de masa: <sup>4</sup> máximo, %	1.00																				
Esfuerzo cortante dinámico, T 315: <sup>2</sup> G*/senS, <sup>3</sup> mínimo 2.20 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	46			52						58				64							
Residuo en cámara de presión (R 28)																					
Temperatura de curado PAV, °C <sup>1</sup>	90			90						100				100							
Esfuerzo cortante dinámico G* senS, <sup>3</sup> máximo 5900 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16

En base al cuadro, obtenemos un PG de 58 -16, para la selección de nuestro ligante asfáltico según los parámetros de temperatura.

#### – **Corrección de Grado de performance**

El SHRP a parte de tomar en cuenta el valor de la temperatura, también considera las cargas a velocidades altas, por lo tanto, si tenemos velocidades lentas o menores a 90 km/h es necesario incrementar en uno o dos niveles el valor obtenido.

Según el cuadro de la norma AASHTO M 320, se debe de realizar la corrección de Bumping Grade. En base a ello, para el tráfico de 10 millones obtenido en base al cálculo para el tramo de investigación, se observa una velocidad lenta de tráfico comprendido entre 20 y 88 km, por ende, se incrementa en un nivel el PG obtenido por los modelos matemáticos.

En el marco normativo peruano, el tránsito urbano fija velocidades máximas de 30 km/h en calles y jirones y 50 km/h en avenidas (30 km/h en zonas escolares y de hospitales), mientras que en vías que circunvalan zonas urbanas se permite hasta 60 km/h salvo señalización en contrario. Con estas restricciones, la velocidad operativa de nuestro corredor se ubica en el rango 20–60 km/h, lo que clasifica como tránsito lento en las guías SHRP/AASHTO; en este régimen el tiempo de carga sobre la mezcla aumenta y, por tanto, crece el riesgo de ahuellamiento, justificando ajustar el PG alto por efectos de velocidad y nivel de tráfico. Dado que estos modelos fueron desarrollados para condiciones de EE. UU., su aplicación directa en Perú no es segura sin calibración local; por eso incorporamos la corrección de Bumping sustentada en las velocidades y en el nivel de tráfico de la vía en estudio.

Aplicando las correcciones nuestro grado de desempeño resulta en 64 – 16 grados.

### **5.3 Resultados del Control de Mezcla Asfáltica**

#### ***5.3.1 Diseño de Mezcla Asfáltica***

##### **Diseño Volumétrico de Mezcla Asfáltica Convencional**

Una vez seleccionada la granulometría adecuada de las tres combinaciones y realizado el ensayo de gravedad específica de los agregados, se procede al diseño volumétrico de la mezcla, utilizando los valores asumidos por la AASHTO PP 28.



**Tabla 113***Valores para el diseño volumétrico Superpave*

<b>Valores asumidos por la AASHTO PP 28</b>		
	<b>Porcentaje</b>	<b>Volumen</b>
Porcentaje de Asfalto (%)	5.0	0.05
Porcentaje de Agregado (%)	95.0	0.95
Gravedad Especifica del Asfalto	1.018	
Porcentaje de Vacíos (%)	4.0	0.04

A partir de estos datos, se calcula el contenido teórico de asfalto para las tres muestras, según AASHTO PP 28, en base a las siguientes propiedades:

**Tabla 114***Contenido teórico de asfalto - AASHTO PP 28 para mezclas convencionales*

<b>PROPIEDAD</b>	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA 3</b>
Gravedad Especifica Bulk del agregado (Gsb)	2.618	2.617	2.616
Gravedad Especifica Bulk efectiva (Gse inicial)	2.686	2.685	2.683
Gravedad Especifica Aparente del agregado (Gsa)	2.703	2.701	2.700
Volumen absorbido asfalto (Vba)	0.0220	0.0218	0.0216
Vol. absorbido asfalto efectivo (Vbe)	0.1	0.1	0.1
Peso de la mezcla (Ws inicial)	2.264	2.263	2.262
% Asfalto (Pb inicial)	4.69	4.68	4.67

Tras el ensayo con compactador giratorio, se obtienen los pesos de los moldes de prueba para determinar la gravedad específica bulk (Gmb) y la gravedad específica máxima (Rice, Gmm).

**Tabla 115***Gravedad específica bulk de la briqueta para mezclas convencionales*

<b>Gravedad específica bulk de la briqueta</b>	<b>Muestra</b>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Masa del molde Seco (gr)	4692.7	4699.3	4680.9
Masa del molde bajo el Agua (gr)	2706.6	2703.1	2695.2
Masa del molde SSS (gr)	4705.1	4715.8	4700.5
<b>Gmb</b>	<b>2.348</b>	<b>2.335</b>	<b>2.334</b>

Peso Específico Rice (Gmm): se vio por conveniente realizar el ensayo para obtener el valor de la gravedad específica, para el diseño de mezcla asfáltica convencional se procede a mezclar una cantidad de aproximada 1300 gramos, el ensayo se realiza similar al peso específico de agregados, con la ayuda de un picnómetro en donde este se llena con agua para después pesarlo,

seguidamente se introduce la mezcla asfáltica convencional, finalmente se extrae el aire con una bomba y se agrega agua hasta el lugar se llenó inicialmente y de determina la gravedad especifica máxima (Rice).

**Tabla 116**

*Gravedad específica máxima – RICE para mezclas convencionales*

Gravedad específica máximo - Rice	Muestra		
	1	2	3
Masa de la mezcla suelta (gr)	1255.3	1222.5	1302.6
Masa del picnómetro lleno de agua (gr)	13538	13538	13538
Masa del picnómetro lleno de agua más la mezcla suelta (gr)	14276.7	14260.1	14308.7
<b>Gmm</b>	<b>2.430</b>	<b>2.443</b>	<b>2.449</b>

A partir de los valores obtenidos de G.E. rice y G.E. bulk es posible calcular el porcentaje de vacíos de cada muestra.

**Tabla 117**

*Porcentaje de vacíos de cada muestra para mezclas convencionales*

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
<b>Gmb (G.E. bulk)</b>	2.348	2.335	2.334
<b>Gmm (G.E.M. Rice)</b>	2.430	2.443	2.449
<b>% de Vacíos</b>	<b>3.4</b>	<b>4.4</b>	<b>4.7</b>

**Tabla 118**

*Densificación de la muestra de prueba para mezclas convencionales*

Diámetro del Molde	150 mm		
Prueba de Mezcla	M 1	M 2	M 3
Altura N ini	122.2	122.7	122.3
Grav. Esp. Bulk de la briqueta (Gmb) Nini	2.165	2.158	2.157
Altura N des	110.3	110.2	110.5
Grav. Esp.bulk de la briqueta (Gmb)	2.348	2.335	2.334
<b>% de compactación con el % teórico del asfalto</b>			
% Compact. Nini	89.1	88.3	88.1
% Compact. Ndis	96.6	95.6	95.3
% De vacíos	3.4	4.4	4.7
Vacíos del agregado mineral (VMA)	14.79	15.70	15.89

**Tabla 119**

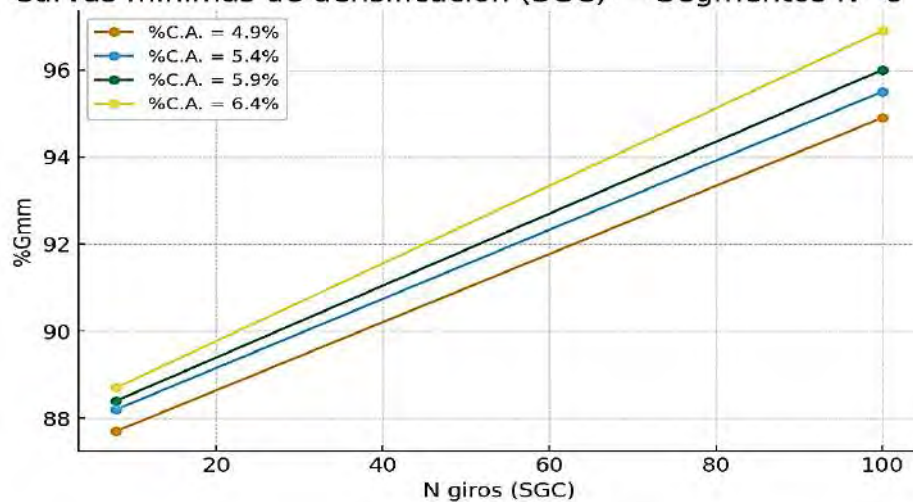
*Contenido de asfalto. para alcanzar un 4 % de vacíos para mezclas convencionales*

VALORES ESTIMADOS DE:	M 1	M 2	M 3
Porcentaje de asfalto Pb (%)	4.4	4.9	4.9
Vacíos del agregado mineral VMA,	14.9	15.6	15.8
Vacíos llenos de asfalto VFA	73.2	74.4	74.6
% Compactación Nini Pb	88.5	88.8	88.8
% Asfalto efectivo Pbe	3.5	3.9	4.0
Relación de polvo/asfalto DP	1.26	1.07	1.00

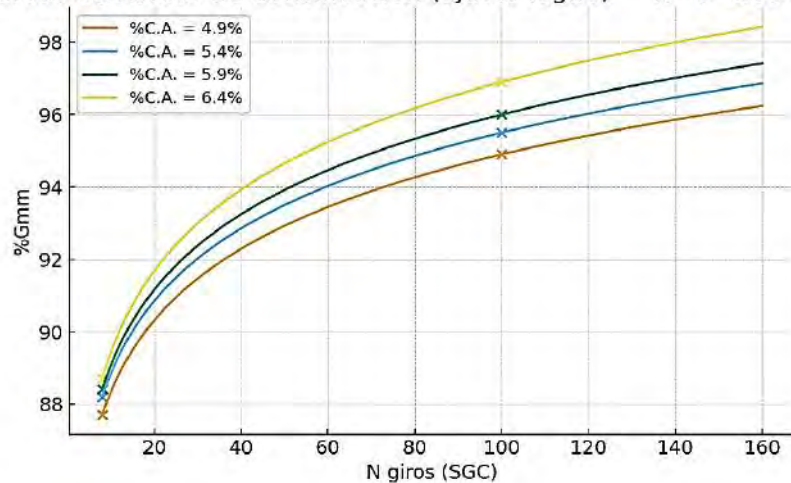
**Figura 59**

*Curvas mínimas y continuas de densificación SGC - mezcla convencional*

Curvas mínimas de densificación (SGC) — Segmentos N=8→100



Curvas continuas de densificación (ajuste log10) — N=8→160 (visual)



Se continua con el diseño volumétrico, para obtener nuestros valores reales volumétricos de volumen de VA, VAM y VFA y D/P.

**Tabla 120**

*Valores volumétricos reales mezcla convencional*

Prueba de Mezcla	% asfalto (Pb,ini)	Grav. Esp. máximo - Rice (Gmm)	Grav.Esp. Bulk efectiva (Gse,ini)	% absorbido por el agregado
1	4.9	2.443	2.631	<b>0.24</b>

Para la muestra elegida se realiza una muestra de prueba aumentado el porcentaje de asfalto en +0.5 % y 1.0 % así obtendremos 8 muestras con diferentes porcentajes de asfalto.

**Tabla 121**

*Propiedades gravimétricas de mezclas convencionales parte 1*

Prueba de Mezcla	1A	1B	2A	2B
% Asfalto	4.9	4.9	5.4	5.4
Masa del molde Seco (gr)	4698.8	4696.1	4699.3	4699.7
Masa del molde bajo el Agua (gr)	2695.3	2687.9	2689.1	2693.9
Masa del molde SSS (gr)	4715.9	4715.2	4711.8	4712.9
<b>Prom. (Gmb)</b>	<b>2.321</b>		<b>2.326</b>	
Altura Nini	121.4	121.5	122	121.1
Altura Ndis	112.2	111.7	111.6	111.2

**Tabla 122**

*Propiedades gravimétricas de mezclas convencionales parte 2*

Prueba de Mezcla	3A	3B	4A	4B
% Asfalto	5.9	5.9	6.4	6.4
Masa del molde Seco (gr)	4698.1	4695.8	4695.3	4691
Masa del molde bajo el Agua (gr)	2694.3	2685.3	2693	2680.8
Masa del molde SSS (gr)	4705.2	4704.3	4700.9	4696
<b>Prom. (Gmb)</b>	<b>2.331</b>		<b>2.333</b>	
Altura Nini	121.3	121.7	121	120.5
Altura Ndis	111	110.5	109.1	109.3

**Tabla 123***Volumetría de la mezcla asfáltica convencional parte 1*

<b>Prueba de Mezcla</b>	<b>1A</b>	<b>1B</b>	<b>2A</b>	<b>2B</b>
<b>% Asfalto</b>	<b>4.9</b>	<b>4.9</b>	<b>5.4</b>	<b>5.4</b>
Grav. Esp. Bulk de la briqueta (Gmb) Nini	2.145	2.147	2.156	2.140
Promedio Gmb Nini	2.146		2.148	
% Compact. Nini	87.743		88.176	
Grav. Esp. Bulk briqueta (Gmb) Ndes	2.190	2.187	2.180	2.196
Promedio (Gmb) Ndes	2.321		2.326	

**Tabla 124***Volumetría de la mezcla asfáltica convencional parte 2*

<b>Prueba de Mezcla</b>	<b>3A</b>	<b>3B</b>	<b>4A</b>	<b>4B</b>
<b>% Asfalto</b>	<b>5.9</b>	<b>5.9</b>	<b>6.4</b>	<b>6.4</b>
Grav. Esp. Bulk de la briqueta (Gmb) Nini	2.144	2.151	2.138	2.129
Promedio Gmb Nini	2.147		2.134	
% Compact. Nini	88.430		88.651	
Grav. Esp. Bulk briqueta (Gmb) Ndes	2.192	2.183	2.196	2.203
Promedio (Gmb) Ndes	2.331		2.333	

Datos volumétricos finales de la MAC convencional

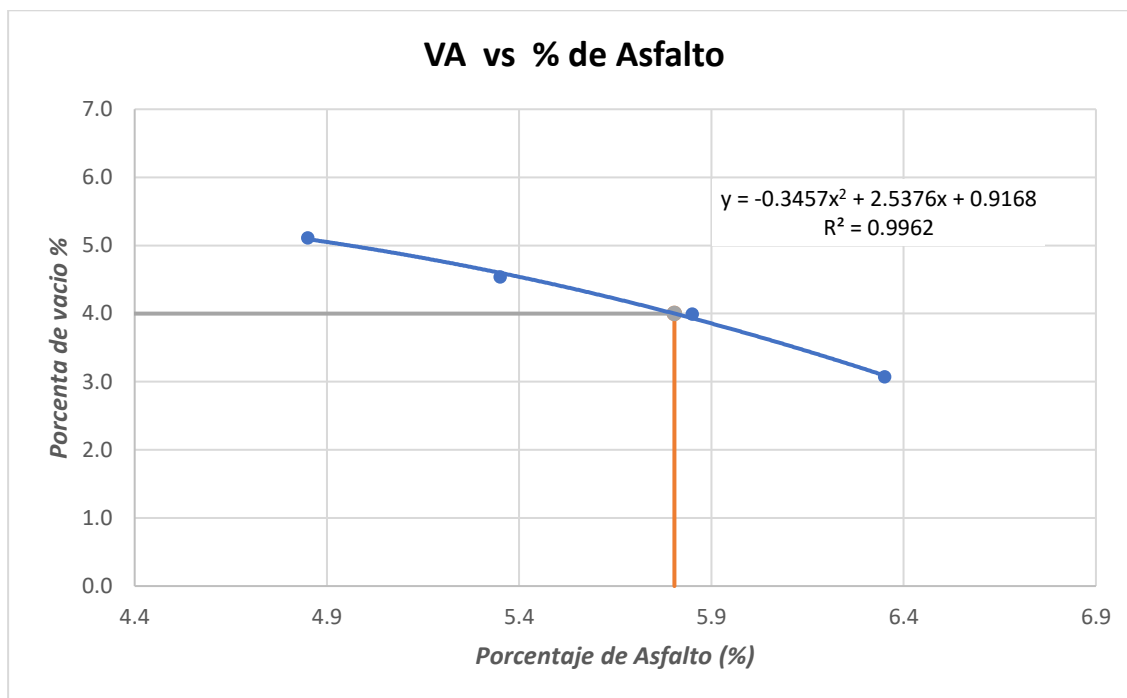
**Tabla 125***Propiedades volumétricas de la MAC convencional*

<b>Prueba de Mezcla</b>	<b>1A</b>	<b>1B</b>	<b>2A</b>	<b>2B</b>	<b>3A</b>	<b>3B</b>	<b>4A</b>	<b>4B</b>
<b>% Asfalto</b>	<b>4.9</b>	<b>4.9</b>	<b>5.4</b>	<b>5.4</b>	<b>5.9</b>	<b>5.9</b>	<b>6.4</b>	<b>6.4</b>
Rice Gmm	2.446		2.436		2.428		2.407	
% De vacíos (VA)	5.1		4.5		4.0		3.1	
Vacíos del agregado mineral (VMA)	15.7		15.5		15.3		15.2	
Vacíos llenos de C.A. (VFA)	67.4		70.8		73.9		79.9	
% Asfalto efectivo (Pbe,est)	4.6		5.1		5.6		6.1	
Relación de Filler/asf. DP	0.91		0.82		0.75		0.69	
% Compact. N dis	94.9		95.5		96.0		96.9	

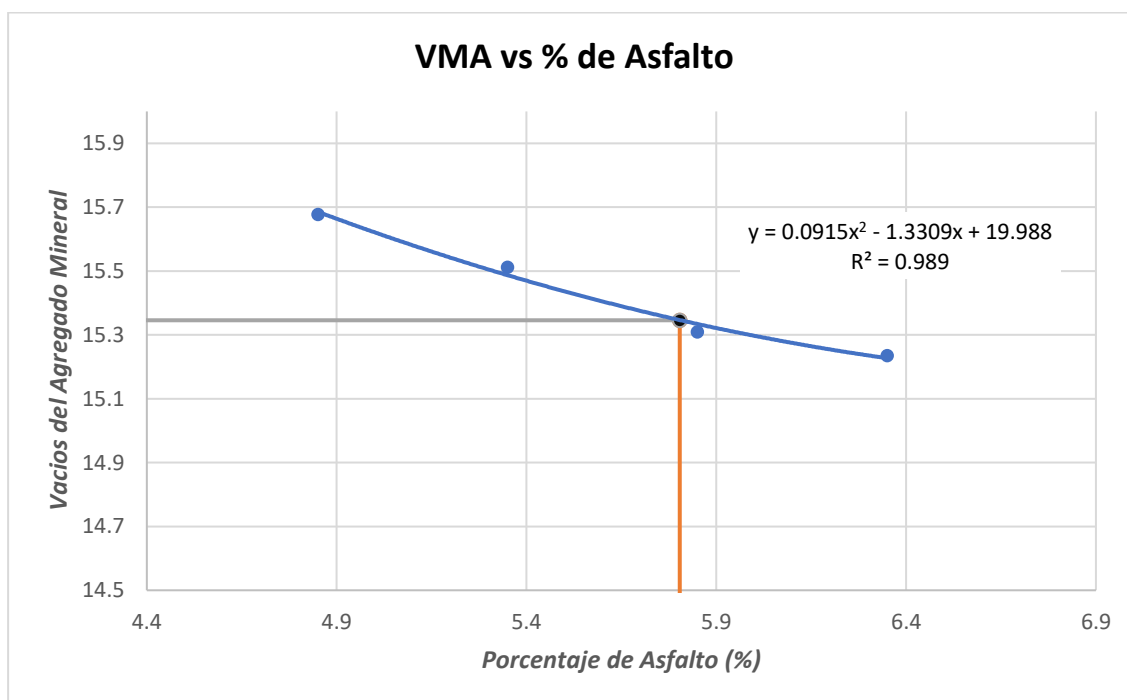
Resultados del diseño volumétrico Superpave para mezclas asfálticas convencionales.

**Figura 60**

*Relación de porcentajes (vacío – asfalto) en mezclas convencionales*

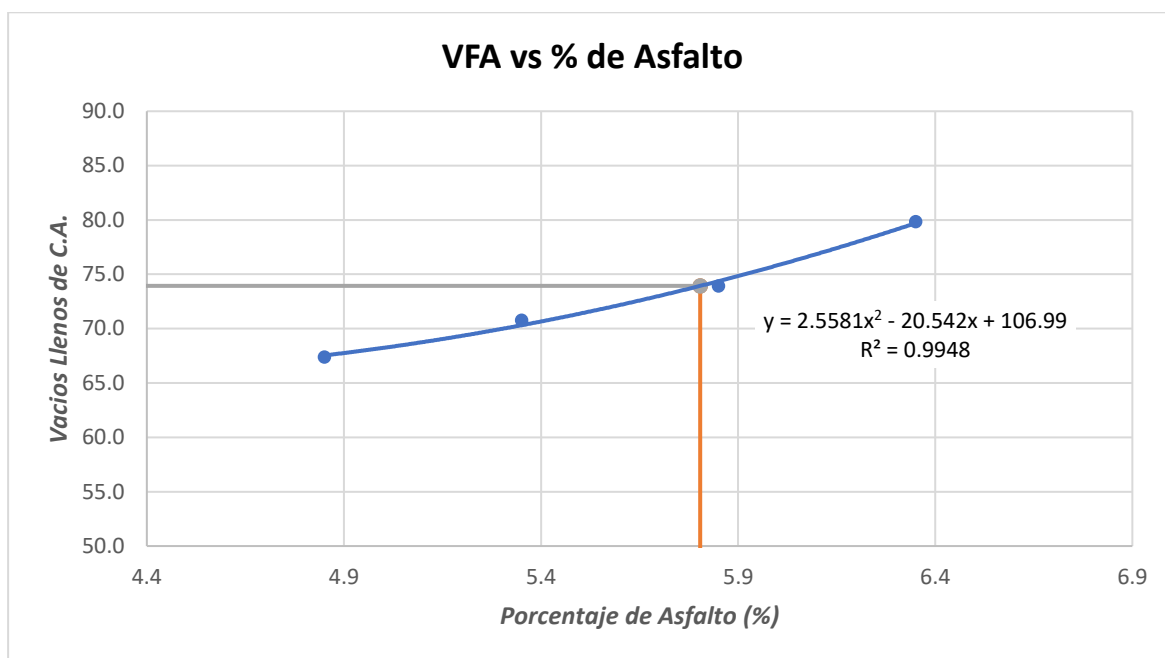
**Figura 61**

*Relación (vacíos de agregado mineral – asfalto) en mezclas convencionales*

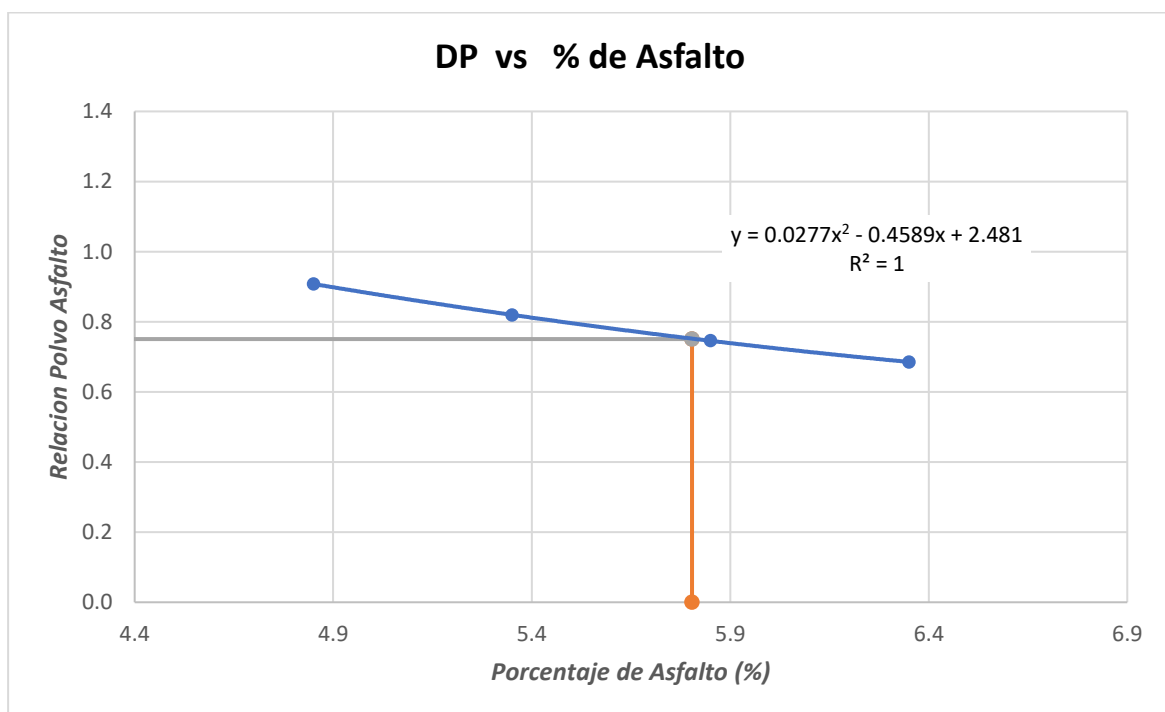


**Figura 62**

*Relación (vacíos llenos de C.A. – asfalto) en mezclas convencionales*

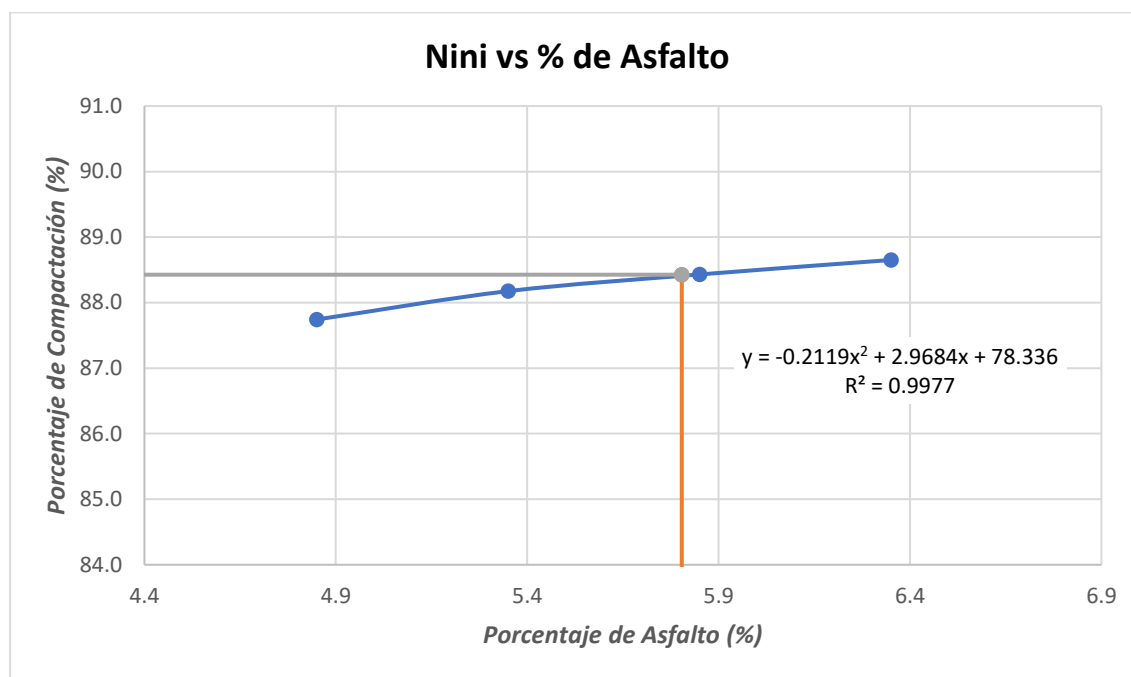
**Figura 63**

*Relación (polvo asfalto – asfalto) en mezclas convencionales*

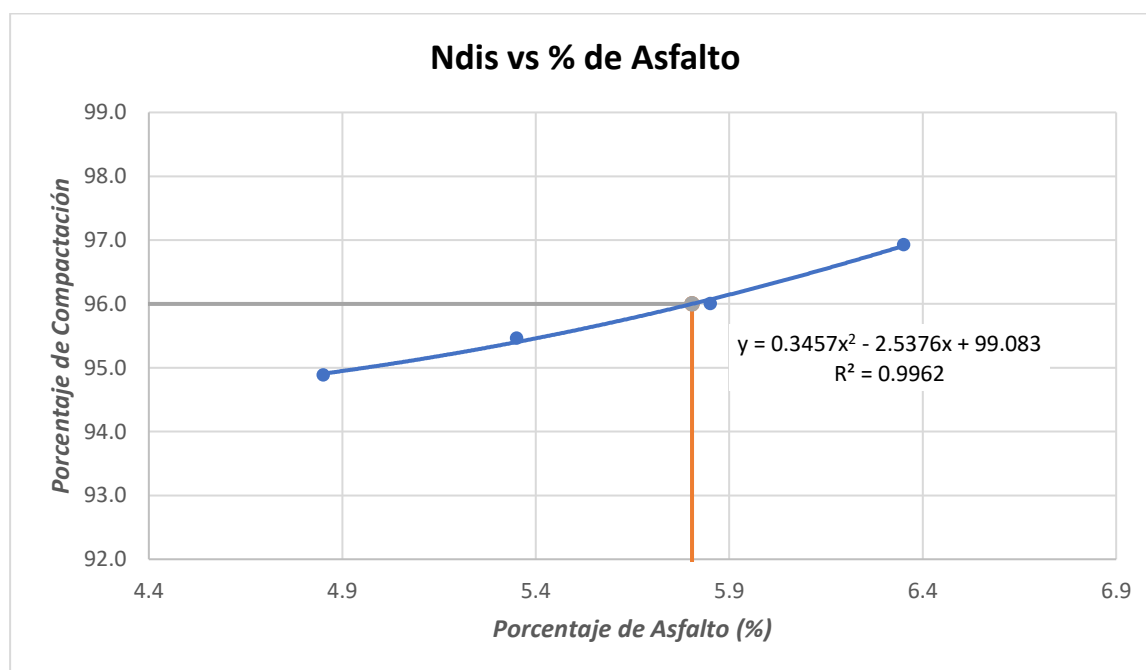


**Figura 64**

*Relación de porcentajes (compactación N inicial – asfalto) en mezclas convencionales*

**Figura 65**

*Relación de porcentajes (compactación N diseño – asfalto) en mezclas convencionales*





## Diseño Volumétrico de Mezcla Asfáltica Modificada

Para el diseño utilizaremos los valores asumidos por la AASHTO PP 28,

**Tabla 126**

*Parámetros Superpave - contenido óptimo de asfalto en mezclas asfálticas modificadas*

Valores asumidos por la AASHTO PP 28		
	Porcentaje	Volumen
Porcentaje de Asfalto (%)	5.0	0.05
Porcentaje de Agregado (%)	95.0	0.95
Gravedad Especifica del Asfalto	1.023	
Porcentaje de Vacíos (%)	4.0	0.04

Luego de eso obtendremos los contenidos teóricos de asfalto para nuestras 3 muestras según el AASHTO PP 28, en estas obtendremos las siguientes propiedades.

**Tabla 127**

*Contenido teórico de asfalto - AASHTO PP 28 para mezclas asfálticas modificadas*

PROPIEDAD	M1	M2	M3
Gravedad Especifica Bulk del agregado (Gsb)	2.618	2.617	2.616
Gravedad Especifica Bulk efectiva (Gse inicial)	2.686	2.685	2.683
Gravedad Especifica Aparente del agregado (Gsa)	2.703	2.701	2.700
Volumen absorbido asfalto (Vba)	0.0220	0.0218	0.0216
Vol. absorbido asfalto efectivo (Vbe)	0.1	0.1	0.1
Peso de la mezcla (Ws inicial)	2.264	2.263	2.262
<b>% asfalto (Pb inicial)</b>	<b>4.71</b>	<b>4.70</b>	<b>4.69</b>

Después de realizar el ensayo del compactador giratorio en donde obtendremos los datos de los pesos de los moldes de prueba, calculamos la gravedad especifica bulk (Gmb) y seguidamente se realiza un pequeño ensayo para para realizar la gravedad especifica máxima – Rice (Gmm).

**Tabla 128**

*Gravedad específica bulk de la briqueta para MAC modificada*

Gravedad específica bulk de la briqueta	Muestra		
	1	2	3
Masa del molde Seco (gr)	4690.9	4694.6	4688.2

Masa del molde bajo el Agua (gr)	2706.0	2703.4	2693.1
Masa del molde SSS (gr)	4703.0	4710.2	4707.3
<b>Gmb</b>	<b>2.349</b>	<b>2.339</b>	<b>2.328</b>

Peso específico rice: se vio por conveniente realizar el ensayo para obtener el valor de la gravedad específica, para el diseño de la MAC modificadas se procede a mezclar una cantidad relativa de 1200 a 1300 gramos, el ensayo se realiza similar al peso específico de agregados, con la ayuda de un picnómetro en donde este se llena con agua para después pesarlo, seguidamente se llena con agua para después pesarlo, seguidamente se introduce la mezcla asfáltica convencional, finalmente se extrae el aire con una bomba y se agrega agua hasta el lugar se llenó inicialmente y de determina la gravedad específica máxima (Rice).

**Tabla 129**

*Gravedad específica máxima – RICE para mezclas asfálticas modificadas*

Gravedad específica máximo - Rice	Muestra		
	1	2	3
Masa de la mezcla suelta (gr)	1234.9	1253.7	1266.0
Masa del picnómetro lleno de agua (gr)	13538.0	13538.0	13538.0
Masa del picnómetro lleno de agua más la mezcla suelta (gr)	14266.0	14279.2	14287.7
<b>Gmm</b>	<b>2.436</b>	<b>2.446</b>	<b>2.452</b>

A partir de los valores de G.E. Rice y G.E. Bulk, es posible calcular el porcentaje de vacíos de cada muestra.

**Tabla 130**

*Porcentaje de vacío de cada muestra asfáltica modificada*

	M1	M2	M3
<b>Gmb (G.E. bulk)</b>	2.349	2.339	2.328
<b>Gmm (G.E.M. Rice)</b>	2.436	2.446	2.452
<b>% de Vacíos</b>	<b>3.6</b>	<b>4.4</b>	<b>5.1</b>

**Tabla 131***Densificación para la muestra de prueba asfáltica modificada*

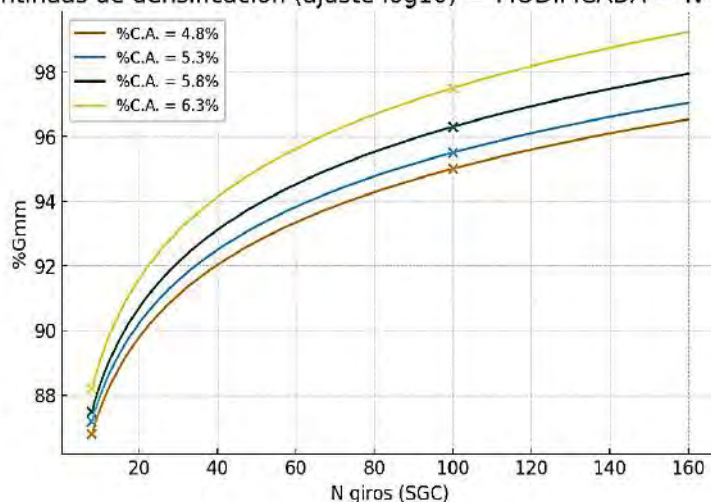
Diámetro del Molde	150 mm		
Prueba de Mezcla	M 1	M 2	M 3
Altura N ini	122.6	122.4	122.8
Grav. Esp. Bulk de la briqueta (Gmb) Nini	2.160	2.155	2.153
Altura N des	110.5	110.3	110.8
Grav. Esp.bulk de la briqueta (Gmb)	2.349	2.339	2.328
% de compactación con él % teórico del asfalto			
% Compact. Nini	88.7	88.1	88.8
% Compact. Ndis	96.4	95.6	94.9
% De vacíos	3.6	4.4	5.1
Vacíos del agregado mineral (VMA)	14.76	15.43	16.02

**Tabla 132***Contenido de asfalto para alcanzar un 4 % de vacíos*

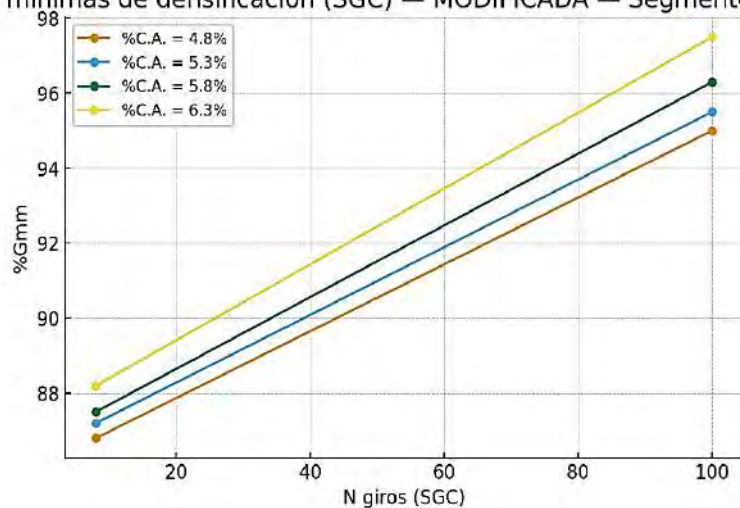
VALORES ESTIMADOS DE:	M 1	M 2	M 3
Porcentaje de asfalto Pb (%)	4.5	4.8	5.1
Vacíos del agregado mineral VMA,	14.8	15.4	15.8
Vacíos llenos de asfalto VFA	73.0	73.9	74.7
% Compactación Nini Pb	88.2	88.5	88.9
% Asfalto efectivo Pbe	3.6	3.9	4.2
Relación de polvo/asfalto DP	1.22	1.07	0.95

**Figura 66***Curvas mínimas y continuas de densificación SGC - mezcla modificada*

Curvas continuas de densificación (ajuste log10) — MODIFICADA — N=8→160 (visual)



Curvas mínimas de densificación (SGC) — MODIFICADA — Segmentos N=8→100



Se continua con el diseño volumétrico para obtener nuestros valores reales de volumen de VA, VAM y VFA, relación DP.

**Tabla 133**

*Valores volumétricos reales mezcla modificada*

Prueba de Mezcla	% asfalto (Pb,ini)	Grav. Esp. máximo - Rice (Gmm)	Grav.Esp. Bulk efectiva (Gse,ini)	% absorbido por el agregado
1	4.8	2.446	2.633	0.27

Para la muestra elegida se realiza una muestra de prueba aumentado el porcentaje de asfalto en +0.5 % y 1.0 % así obtendremos 8 muestras con diferentes porcentajes de asfalto.

**Tabla 134**

*Propiedades gravimétricas de mezcla modificada parte 1*

Prueba de Mezcla	1A	1B	2A	2B
<b>% Asfalto</b>	<b>4.9</b>	<b>4.9</b>	<b>5.4</b>	<b>5.4</b>
Masa del molde Seco (gr)	4689.3	4692.4	4685.8	4687.9
Masa del molde bajo el Agua (gr)	2690.0	2699.1	2695.2	2699.7
Masa del molde SSS (gr)	4707.8	4712.7	4701.8	4705.7
<b>Prom. (Gmb)</b>	<b>2.327</b>		<b>2.336</b>	
Altura Nini	120.2	120.6	120.7	120.5
Altura Ndis	112.2	112.0	111.3	110.2

**Tabla 135***Propiedades gravimétricas de mezcla modificada parte 2*

<b>Prueba de Mezcla</b>	<b>3A</b>	<b>3B</b>	<b>4A</b>	<b>4B</b>
<b>% Asfalto</b>	<b>5.9</b>	<b>5.9</b>	<b>6.4</b>	<b>6.4</b>
Masa del molde Seco (gr)	4699.1	4697.0	4685.1	4705.4
Masa del molde bajo el Agua (gr)	2705.2	2701.1	2706.0	2704.8
Masa del molde SSS (gr)	4707.9	4705.5	4688.7	4710.1
<b>Prom. (Gmb)</b>	<b>2.345</b>		<b>2.355</b>	
Altura Nini	120.5	120.5	120.2	120.9
Altura Ndis	109.2	109.0	108.4	108.8

Ahora tendremos las propiedades volumétricas.

**Tabla 136***Volumetría de la mezcla asfáltica modificada parte 1*

<b>Prueba de Mezcla</b>	<b>1A</b>	<b>1B</b>	<b>2A</b>	<b>2B</b>
<b>% Asfalto</b>	<b>4.9</b>	<b>4.9</b>	<b>5.4</b>	<b>5.4</b>
Grav. Esp. Bulk de la briqueta (Gmb) Nini	2.121	2.131	2.129	2.130
<b>Promedio Gmb Nini</b>	<b>2.128</b>		<b>2.131</b>	
<b>% Compact. Nini</b>	<b>86.8</b>		<b>87.2</b>	
Grav. Esp. Bulk briqueta (Gmb) Ndes	2.208	2.202	2.197	2.202
<b>Promedio (Gmb) Ndes</b>	<b>2.327</b>		<b>2.336</b>	

**Tabla 137***Volumetría de la mezcla asfáltica modificada parte 2*

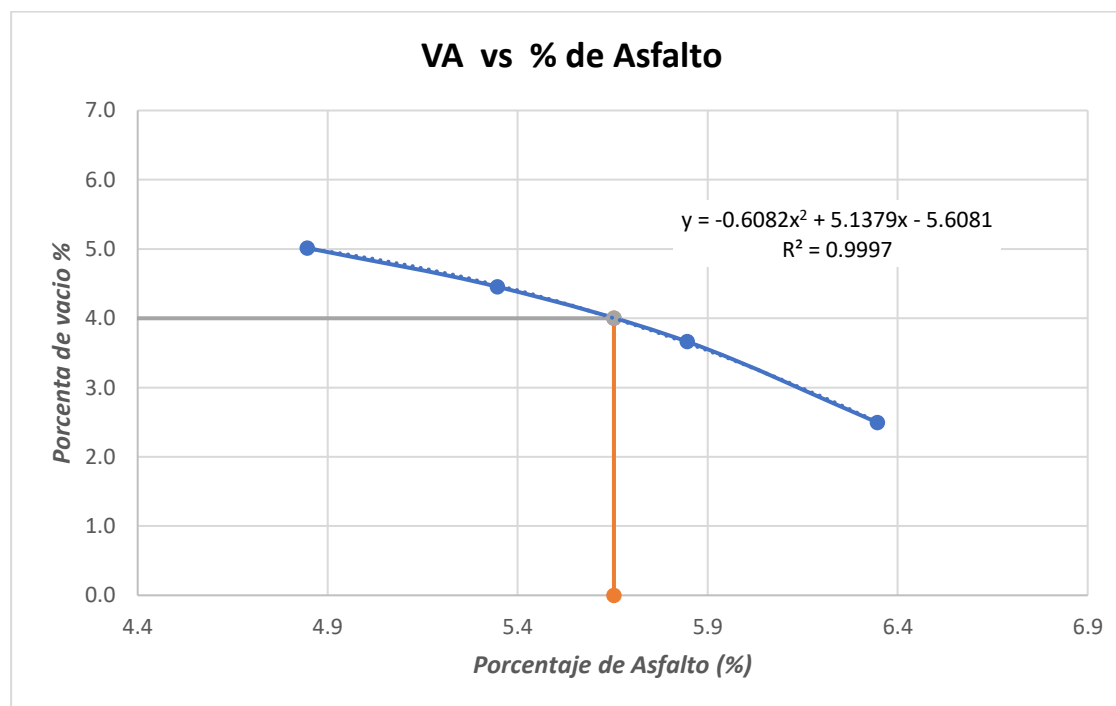
<b>Prueba de Mezcla</b>	<b>3A</b>	<b>3B</b>	<b>4A</b>	<b>4B</b>
<b>% Asfalto</b>	<b>5.9</b>	<b>5.9</b>	<b>6.4</b>	<b>6.4</b>
Grav. Esp. Bulk de la briqueta (Gmb) Nini	2.129	2.129	2.124	2.136
<b>Promedio Gmb Nini</b>	<b>2.129</b>		<b>2.130</b>	
<b>% Compact. Nini</b>	<b>87.5</b>		<b>88.2</b>	
Grav. Esp. Bulk briqueta (Gmb) Ndes	2.207	2.206	2.206	2.202
<b>Promedio (Gmb) Ndes</b>	<b>2.345</b>		<b>2.355</b>	

Datos volumétricos finales de la MAC modificada

**Tabla 138***Propiedades volumétricas de la MAC modificada*

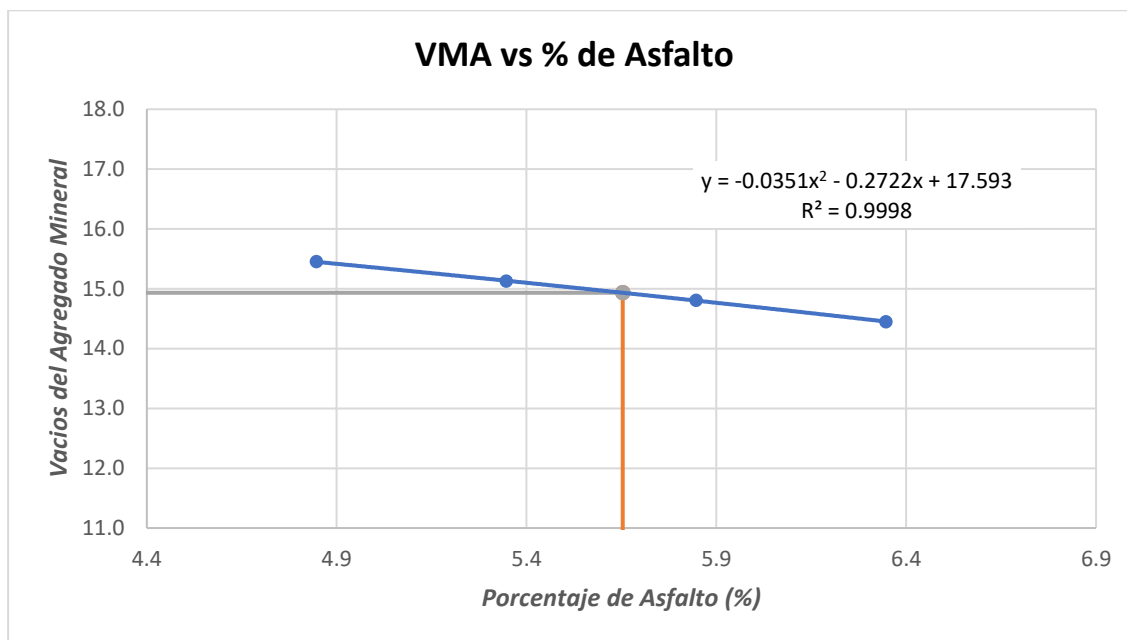
Prueba de Mezcla	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
% Asfalto	4.9	4.9	5.4	5.4	5.9	5.9	6.4	6.4
Rice Gmm	2.450		2.445		2.434		2.415	
% De vacíos (VA)	5.		4.5		3.7		2.5	
Vacíos del agregado mineral (VMA)	15.5		15.1		14.8		14.4	
Vacíos llenos de C.A. (VFA)	67.6		70.5		75.3		82.7	
% Asfalto efectivo (Pbe,est)	4.6		5.1		5.6		6.1	
Relación de Filler/asf. DP	0.91		0.82		0.75		0.69	
% Compact. N dis	95.0		95.5		96.3		97.5	

Resultados del diseño volumétrico Superpave para mezclas asfálticas modificadas.

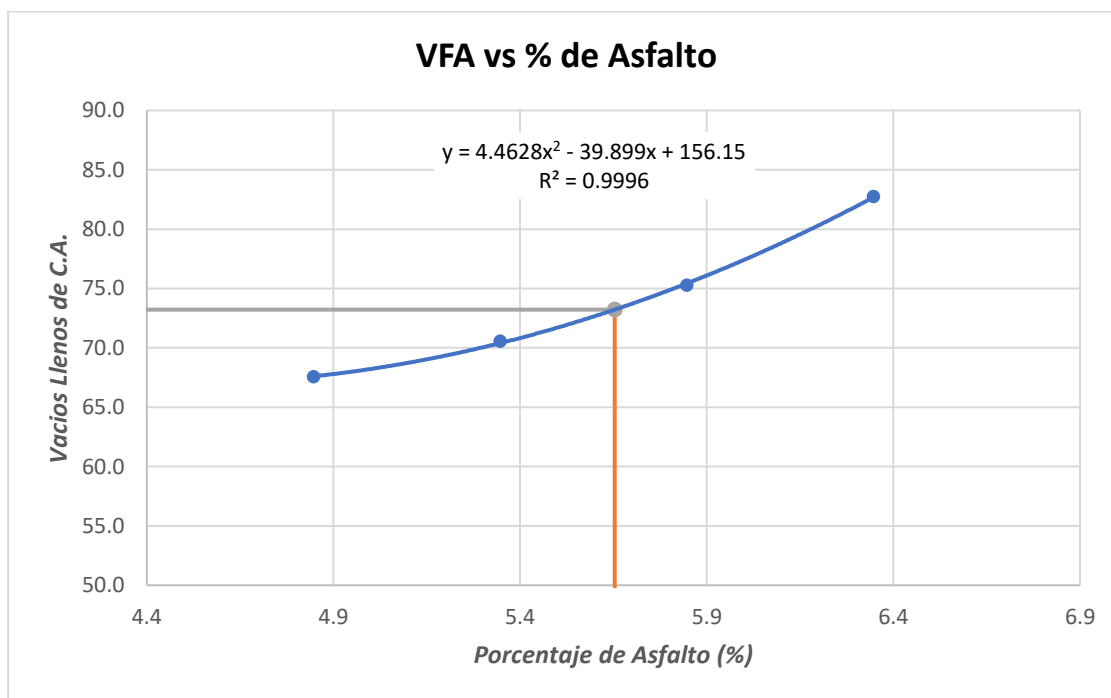
**Figura 67***Relación de porcentajes (vacío – asfalto) en mezclas modificadas*

**Figura 68**

*Relación (vacíos de agregado mineral – asfalto) en mezclas modificadas*

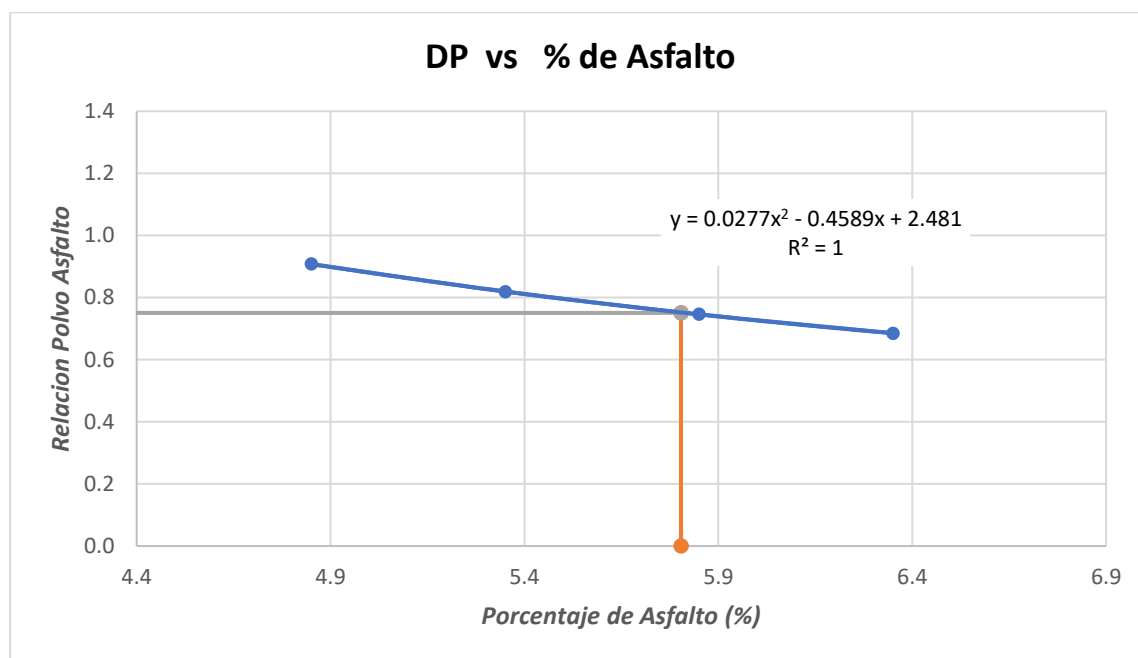
**Figura 69**

*Relación (vacíos llenos de C.A. – asfalto) en mezclas modificadas*

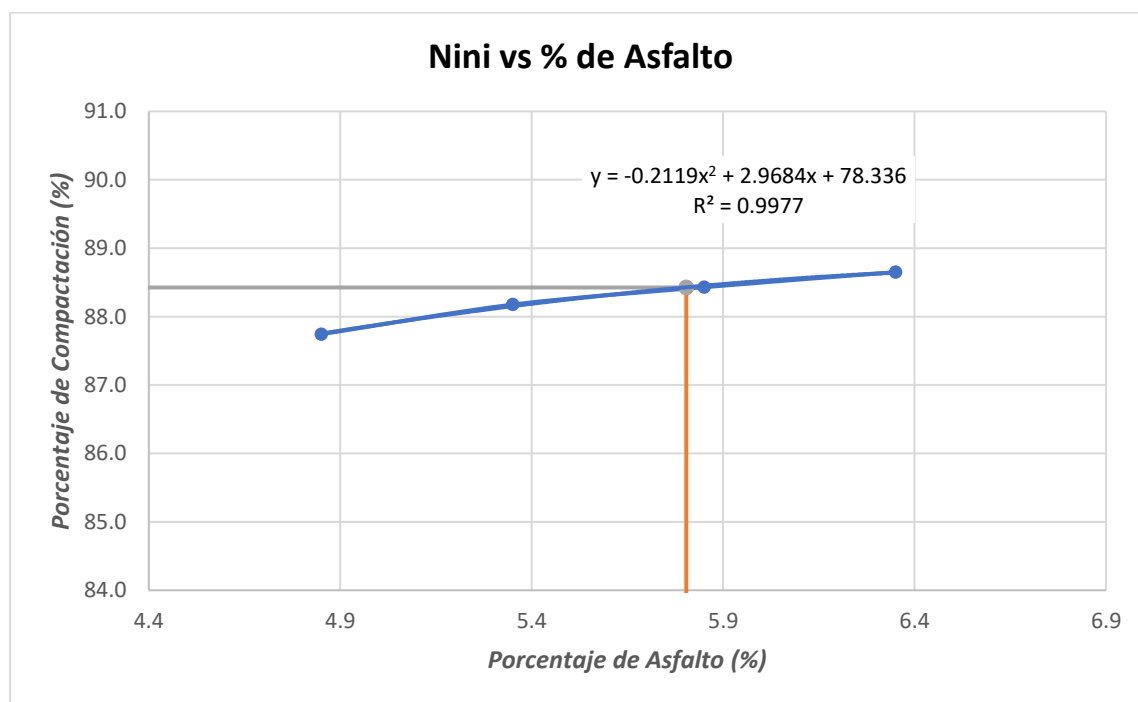


**Figura 70**

*Relación (polvo asfalto – asfalto) en mezclas modificadas*

**Figura 71**

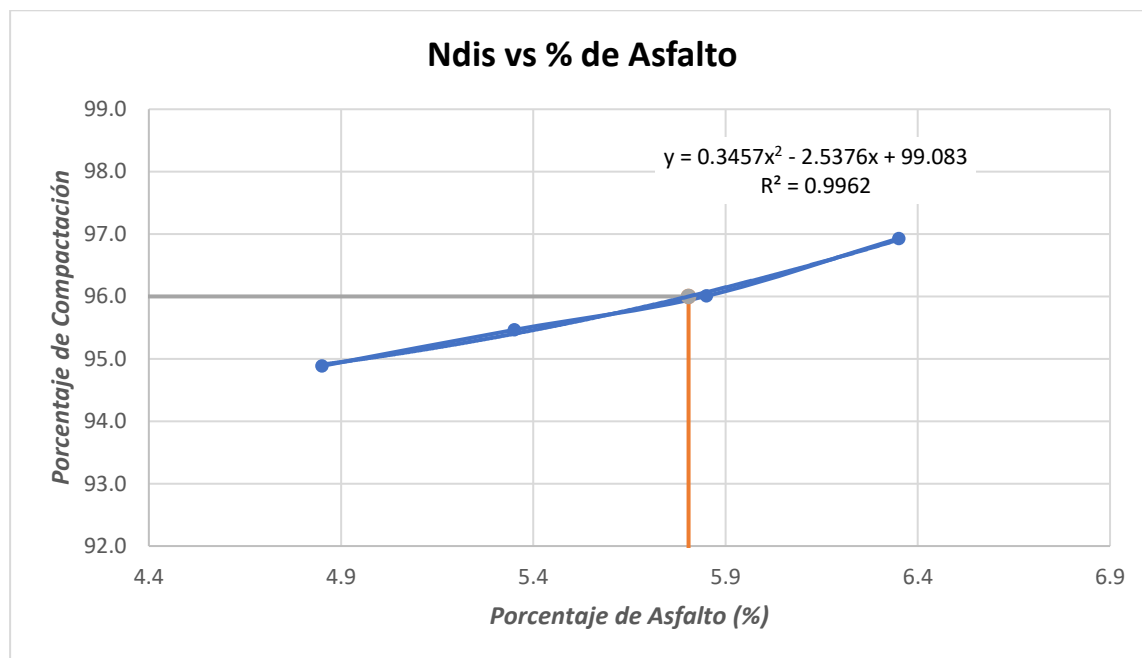
*Relación de porcentajes (compactación N inicial – asfalto) en mezclas modificadas*





**Figura 72**

*Relación de porcentajes (compactación N diseño – asfalto) en mezclas modificadas*



### 5.3.2 Daño Inducido por Humedad o Lottman Modificado

Dentro de la ejecución de la tesis se realizaron dos grupos de muestras, una con la finalidad de servir como control y otra siendo la muestra experimental; este procedimiento evalúa el daño inducido por la humedad hacia la MAC, en otras palabras, evalúa como es la adherencia que ocurre entre el agregado y el cemento asfáltico inducido por la humedad de lluvias o en zonas de altura a través de TSR; este ensayo se realiza bajo la normativa AASHTO T283.

**Tabla 139**

*Parámetros medidos ensayo de tracción indirecta Lottman modificado*

<b>Parámetros Determinados</b>	<b>MAC Convencional</b>	<b>MAC Modificada</b>
Densidad Máxima Teórica	2.437	2.437
Seco (STD) Psi	78.27	74.73
Húmedo Psi	85.73	82.50
<b>TSR (%)</b>	<b>78.40</b>	<b>83.00</b>

### 5.3.3 Modulo Dinámico

Dentro de la ejecución de la tesis se tomaron dos grupos de muestras; la primera se hizo un análisis para la mezcla asfáltica sin modificar y el otro grupo fue para las mezclas asfálticas modificadas con polímeros; se realizó y se trató de simular las mismas condiciones para cada uno de estos grupos; obteniéndose los siguientes resultados.

También se realizará un análisis estadístico donde se determinará el uso de pruebas descriptivas, así como la determinación de las pruebas de normalidad para el uso de pruebas estadísticas según los resultados, de donde se utilizarán pruebas paramétricas y no paramétricas según el caso y según se amerite, estas pruebas se realizarán en el software de SPSSv24 donde se subirán todos los datos obtenidos.

Se estimará también la presión ejercida sobre las muestras en consideración al ESAL y la presión de neumático donde se observará que tipo de carros según la normativa peruana estarán en el rango de estudio de las muestras ensayadas.

## Modulo Dinámico Para Mezcla Asfáltica Convencional

**Tabla 140**

*Parámetros medidos ensayo muestra 01 (10 Hz - 5°C) - mezcla convencional*

DESCRIPCIÓN	10 Hz
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	<b>13694</b>
ÁNGULO DE FASE (Grados)	<b>13.82</b>
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	<b>5.0</b>
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	<b>0</b>
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	<b>76</b>
CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	1.6
ERROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	10.9
PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	-90.0
PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	9.9
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	3.4
UNIFORMIDAD DE ÁNGULO DE FASE (Grados)	0.8

**Figura 73**

*Comportamiento gráfico ensayo muestra 01 (10 Hz - 5°C) - mezcla convencional*

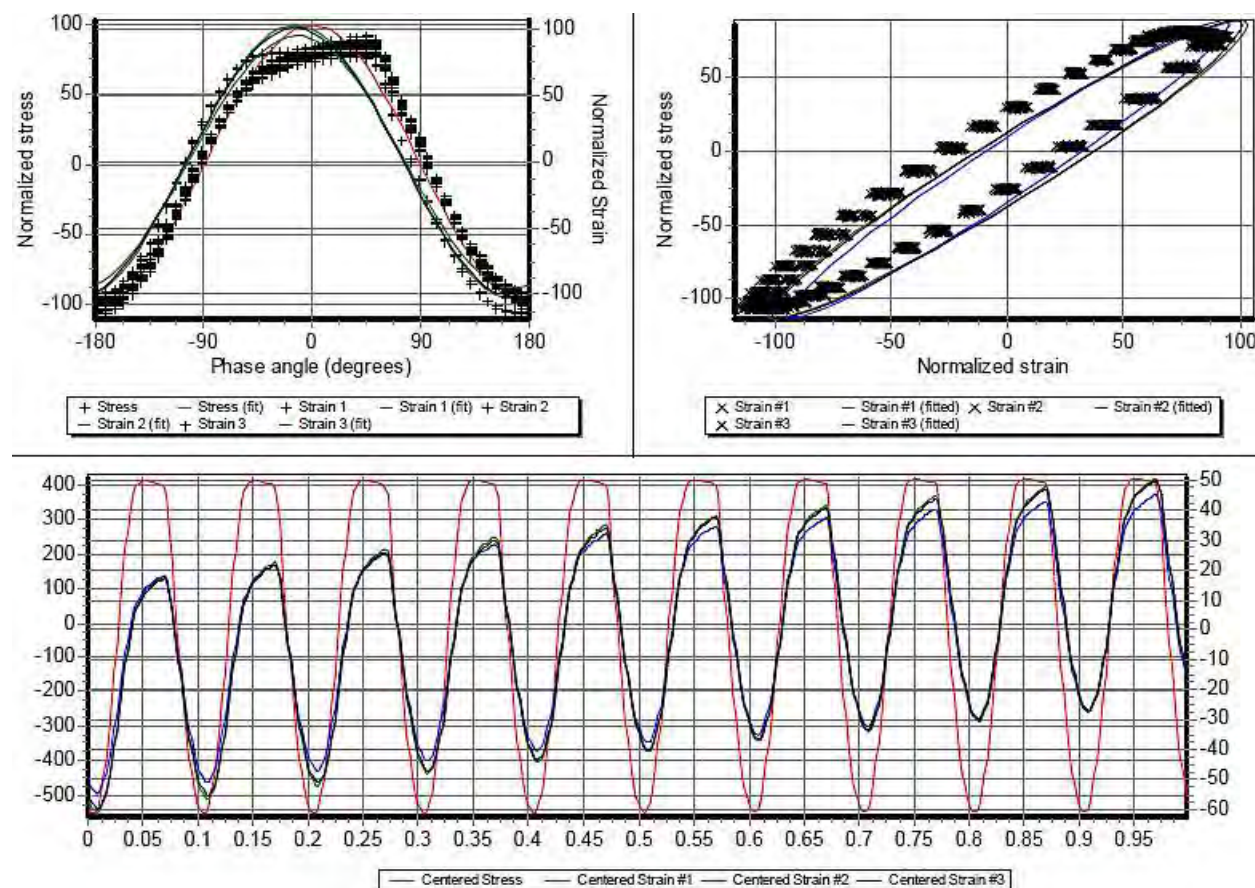


Tabla 141

*Parámetros medidos ensayo muestra 02 (1 Hz 5°C) - mezcla convencional*

DESCRIPCIÓN	1 Hz
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	9080
ÁNGULO DE FASE (Grados)	19.20
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	5.0
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	0
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	96
CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	0.1
ERROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	0.6
PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	-129.1
PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	1.6
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	4.1
UNIFORMIDAD DE ÁNGULO DE FASE (Grados)	0.7

Figura 74

*Comportamiento gráfico ensayo muestra 02 (1 Hz - 5°C) - mezcla convencional*

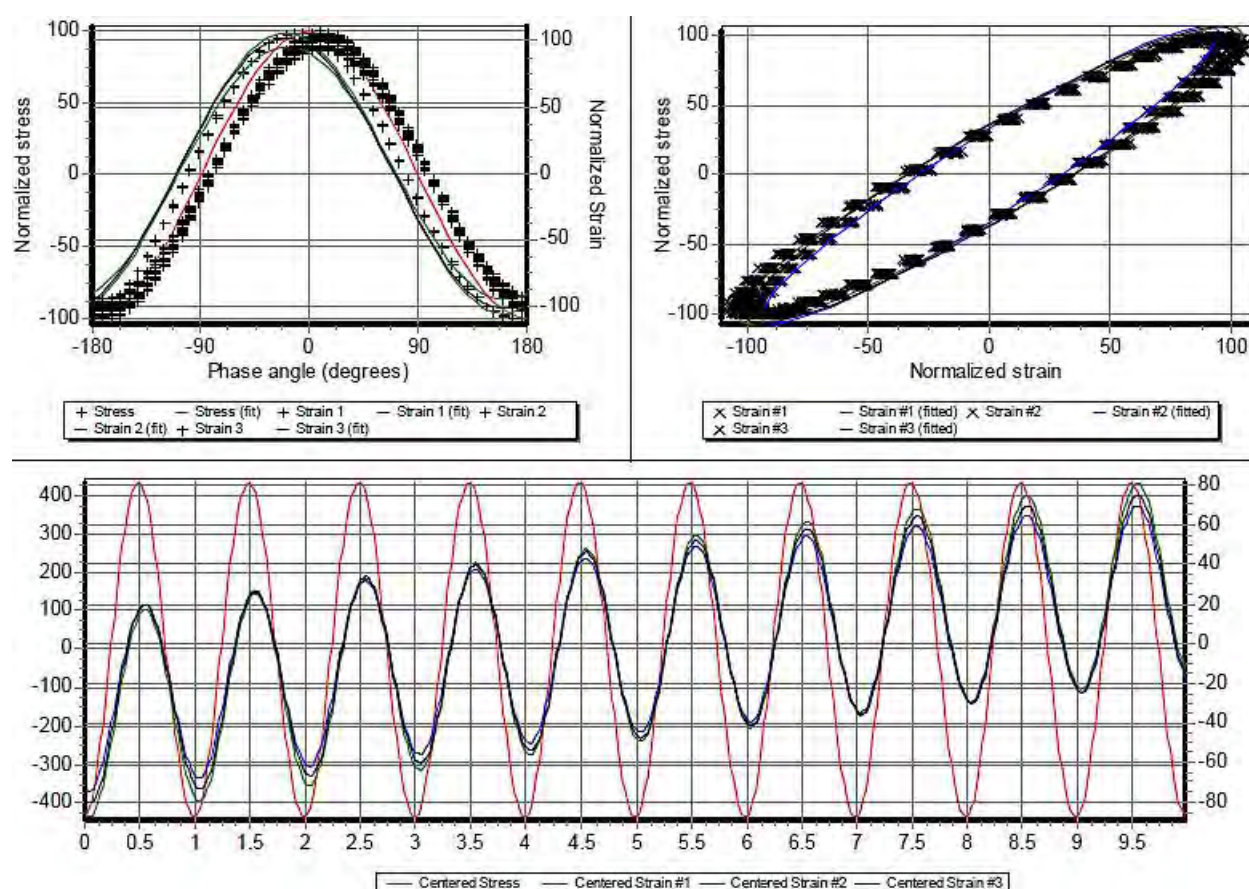




Tabla 142

*Parámetros medidos ensayo muestra 03 (0.1 Hz 5°C) - mezcla convencional*

DESCRIPCIÓN	0.1 Hz
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	5471
ÁNGULO DE FASE (Grados)	25.53
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	5.0
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	0
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	95
CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	-0.3
ERROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	0.4
PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	-245.3
PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	6.1
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	3.8
UNIFORMIDAD DE ÁNGULO DE FASE (Grados)	0.4

Figura 75

*Comportamiento gráfico ensayo muestra 03 (0.1 Hz - 5°C) - mezcla convencional*

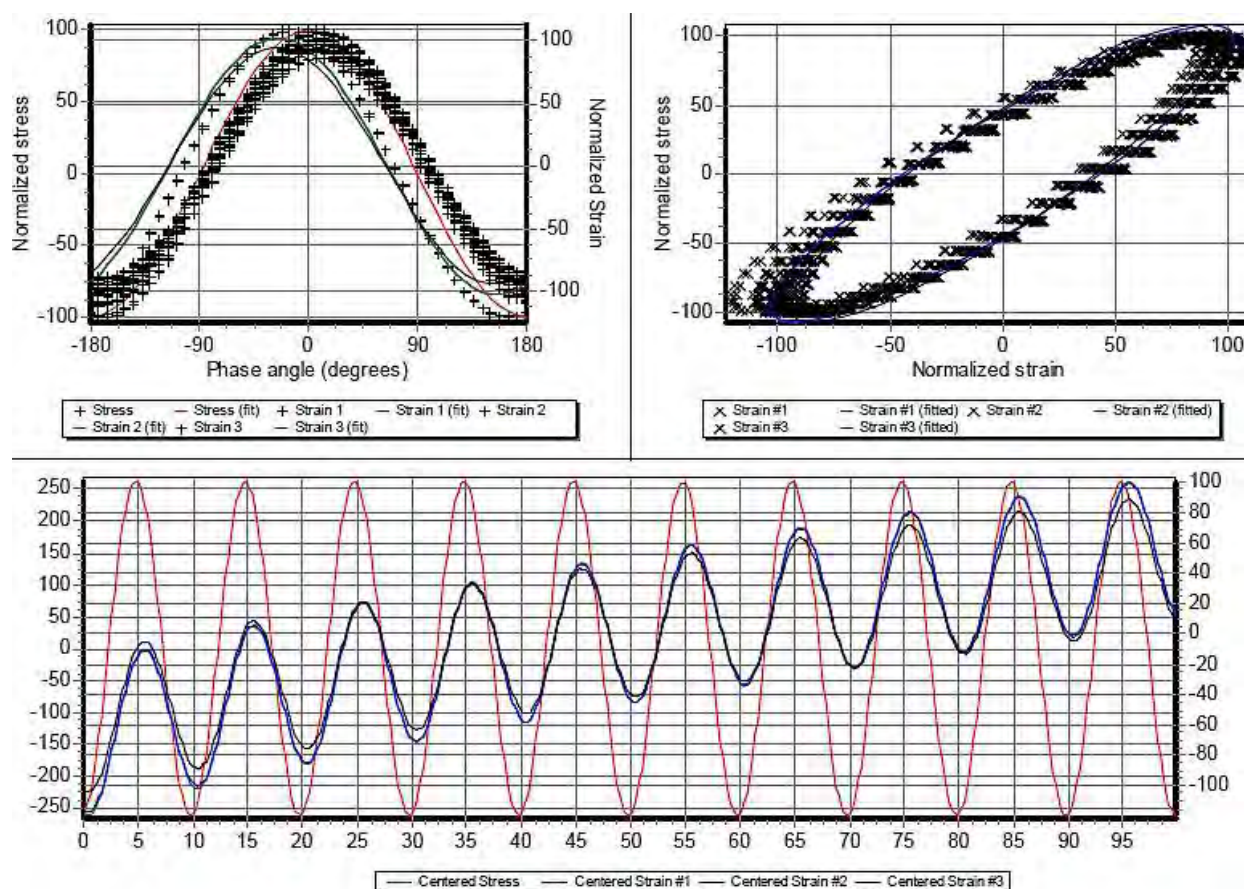


Tabla 143

*Parámetros medidos ensayo muestra 04 (10 Hz 20°C) - mezcla convencional*

DESCRIPCIÓN	10 Hz
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	5253
ÁNGULO DE FASE (Grados)	28.35
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	20.0
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	0
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	92
CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	0.4
ERROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	3.2
PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	-411.6
PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	6.8
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	8.0
UNIFORMIDAD DE ÁNGULO DE FASE (Grados)	1.3

Figura 76

*Comportamiento gráfico ensayo muestra 04 (10 Hz - 20°C) - mezcla convencional*

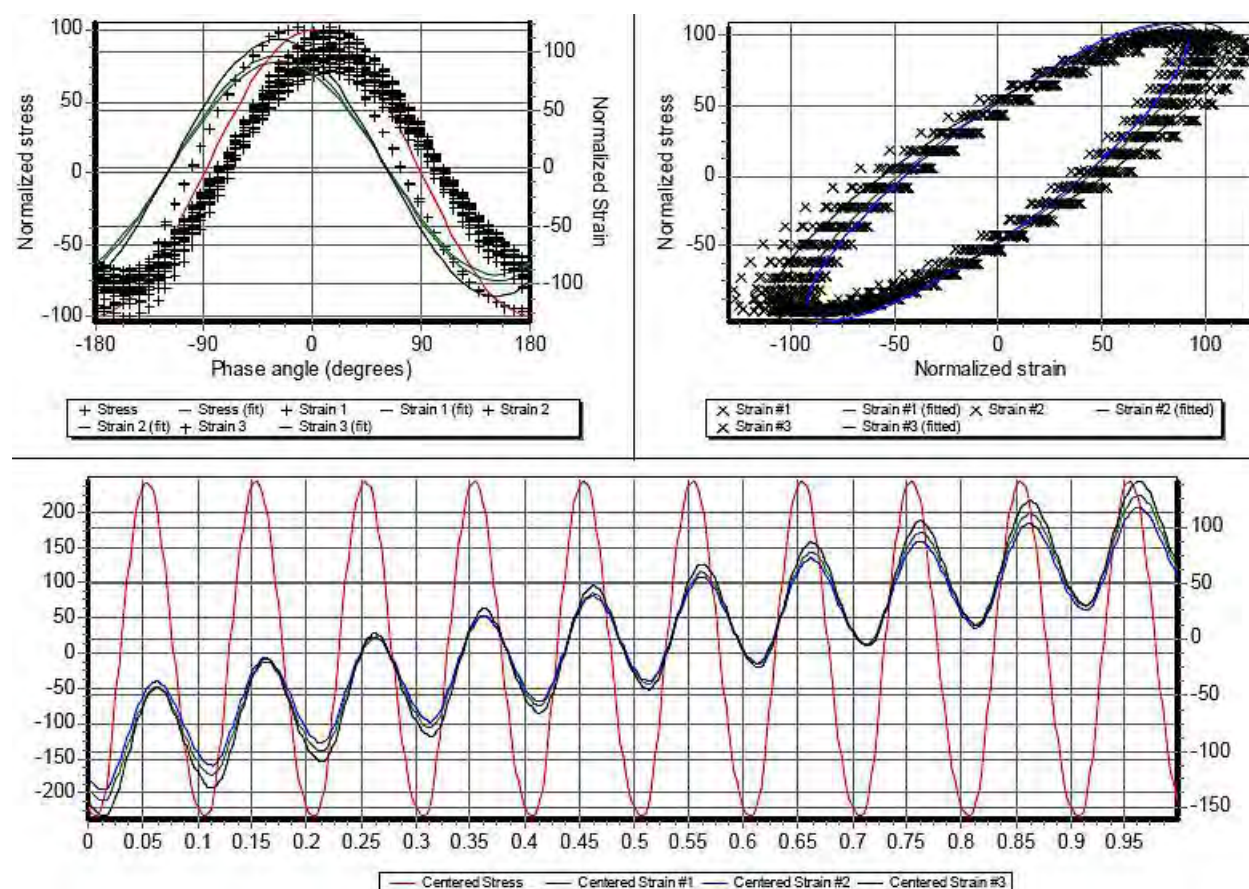




Tabla 144

*Parámetros medidos ensayo muestra 05 (1 Hz 20°C) - mezcla convencional*

DESCRIPCIÓN	1 Hz
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	2498
ÁNGULO DE FASE (Grados)	33.37
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	20.0
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	0
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	94
CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	0.2
ERROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	1.5
PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	-351.2
PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	3.3
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	6.5
UNIFORMIDAD DE ÁNGULO DE FASE (Grados)	0.8

Figura 77

*Comportamiento gráfico ensayo muestra 05 (1 Hz - 20°C) - mezcla convencional*

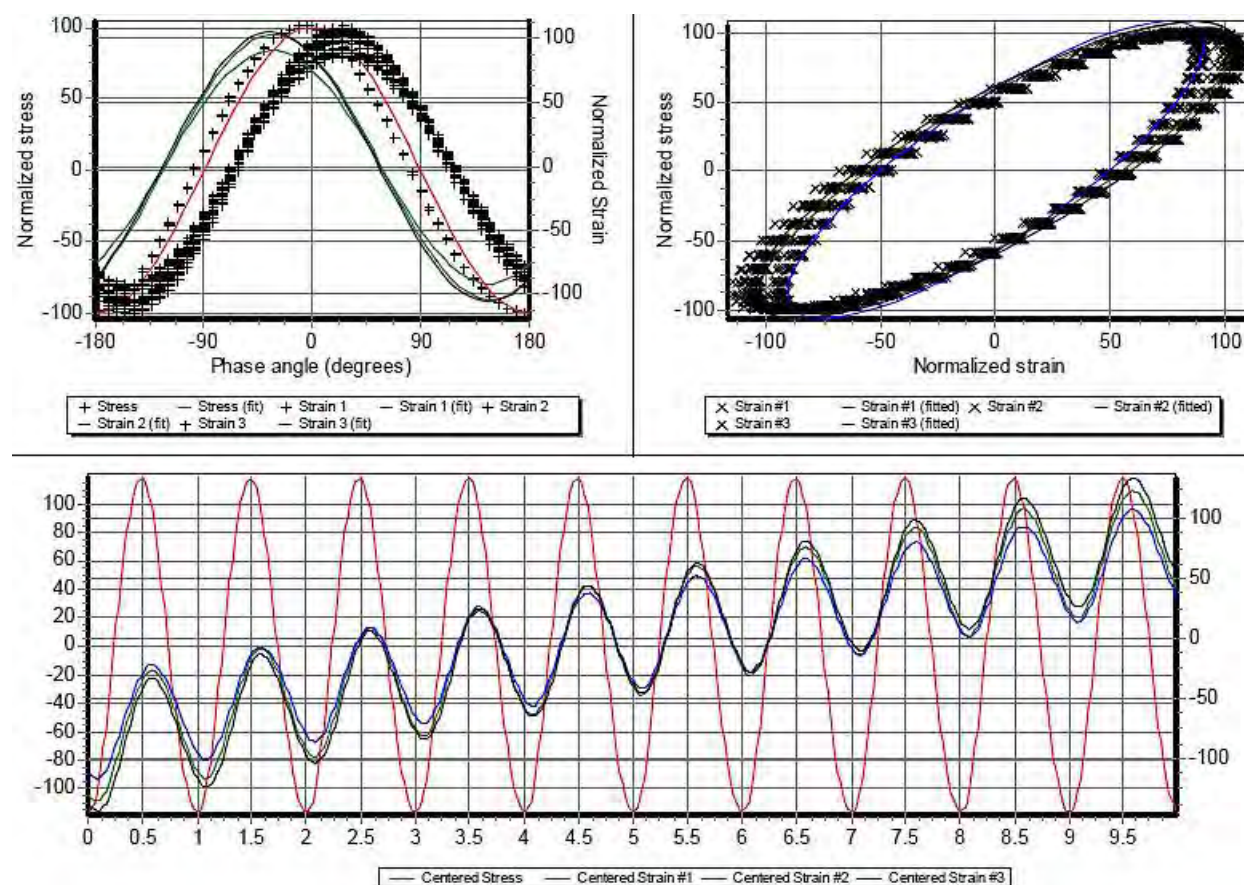


Tabla 145

*Parámetros medidos ensayo muestra 06 (0.1 Hz 20°C) - mezcla convencional*

DESCRIPCIÓN	0.1 Hz
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	1043
ÁNGULO DE FASE (Grados)	33.80
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	20.0
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	0
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	99
CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	0.3
ERROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	0.7
PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	-206.3
PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	2.8
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	5.3
UNIFORMIDAD DE ÁNGULO DE FASE (Grados)	1.7

Figura 78

*Comportamiento gráfico ensayo muestra 06 (0.1 Hz - 20°C) - mezcla convencional*

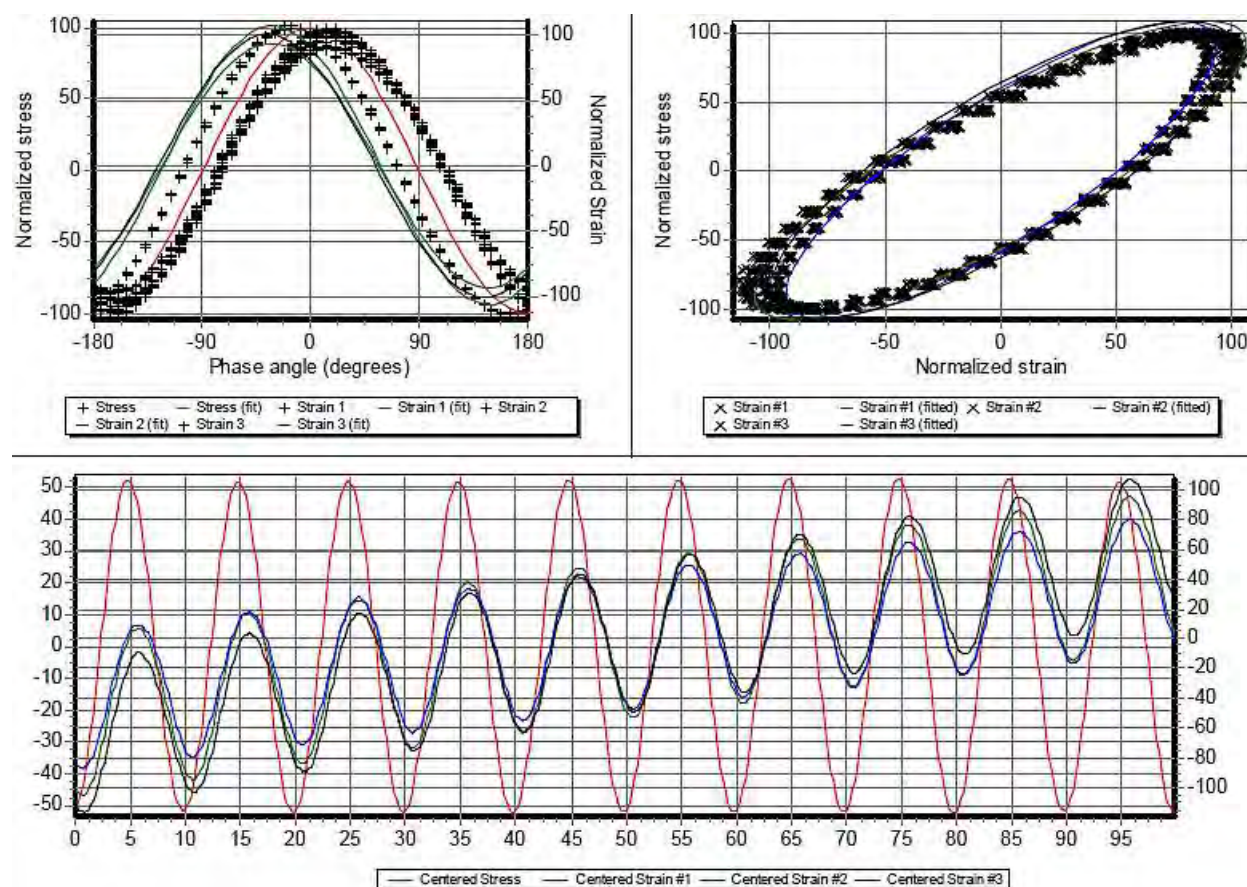




Tabla 146

*Parámetros medidos ensayo muestra 07 (10 Hz 40°C) - mezcla convencional*

DESCRIPCIÓN	10 Hz
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	934
ÁNGULO DE FASE (Grados)	38.92
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	40.0
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	0
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	68
CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	-2.3
ERROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	8.2
PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	-494.6
PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	11.8
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	8.6
UNIFORMIDAD DE ÁNGULO DE FASE (Grados)	1.1

Figura 79

*Comportamiento gráfico ensayo muestra 07 (10 Hz - 40°C) - mezcla convencional*

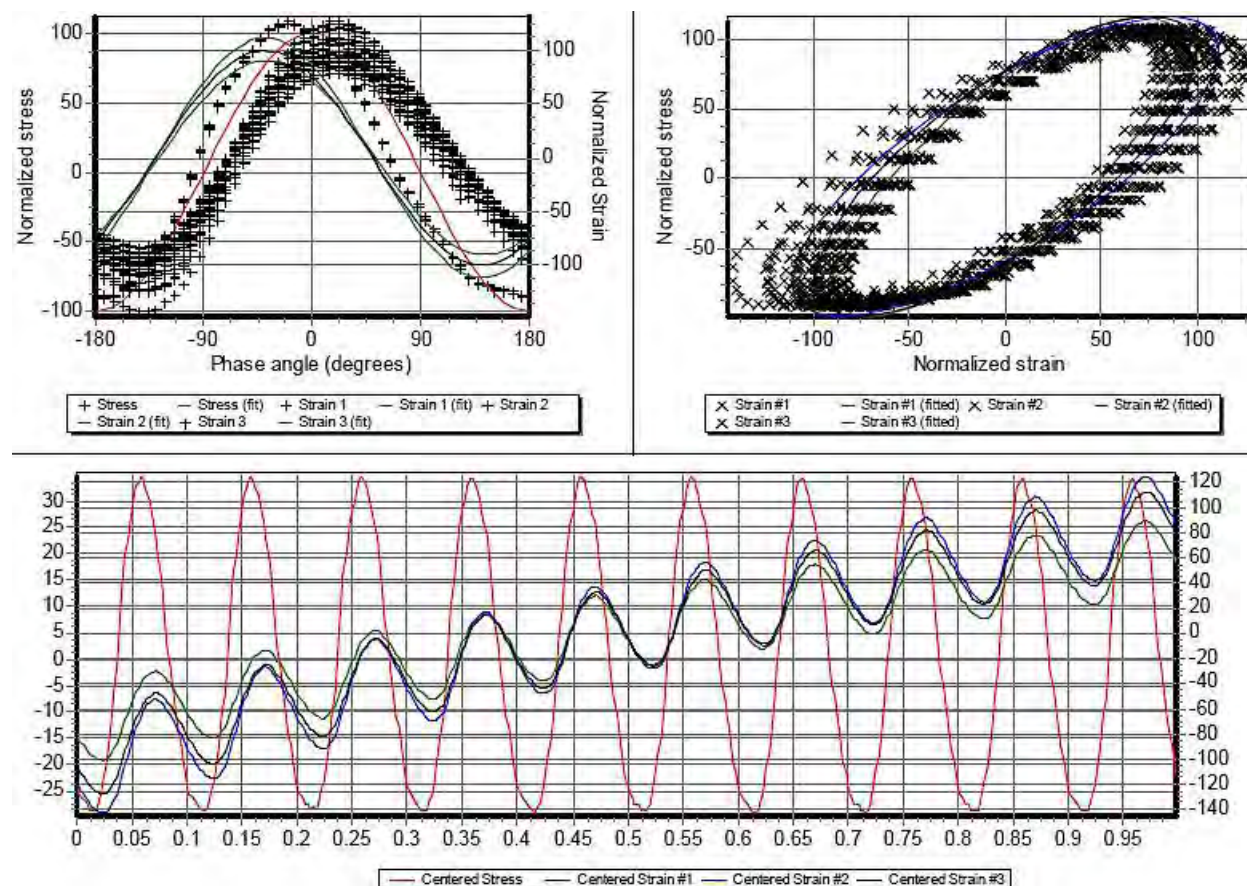


Tabla 147

*Parámetros medidos ensayo muestra 08 (1 Hz 40°C) - mezcla convencional*

DESCRIPCIÓN	1 Hz
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	277
ÁNGULO DE FASE (Grados)	37.51
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	40.0
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	0
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	108
CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	0.0
ERROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	10.8
PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	-58.3
PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	9.1
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	3.7
UNIFORMIDAD DE ÁNGULO DE FASE (Grados)	2.3

Figura 80

*Comportamiento gráfico ensayo muestra 08 (1 Hz - 40°C) - mezcla convencional*

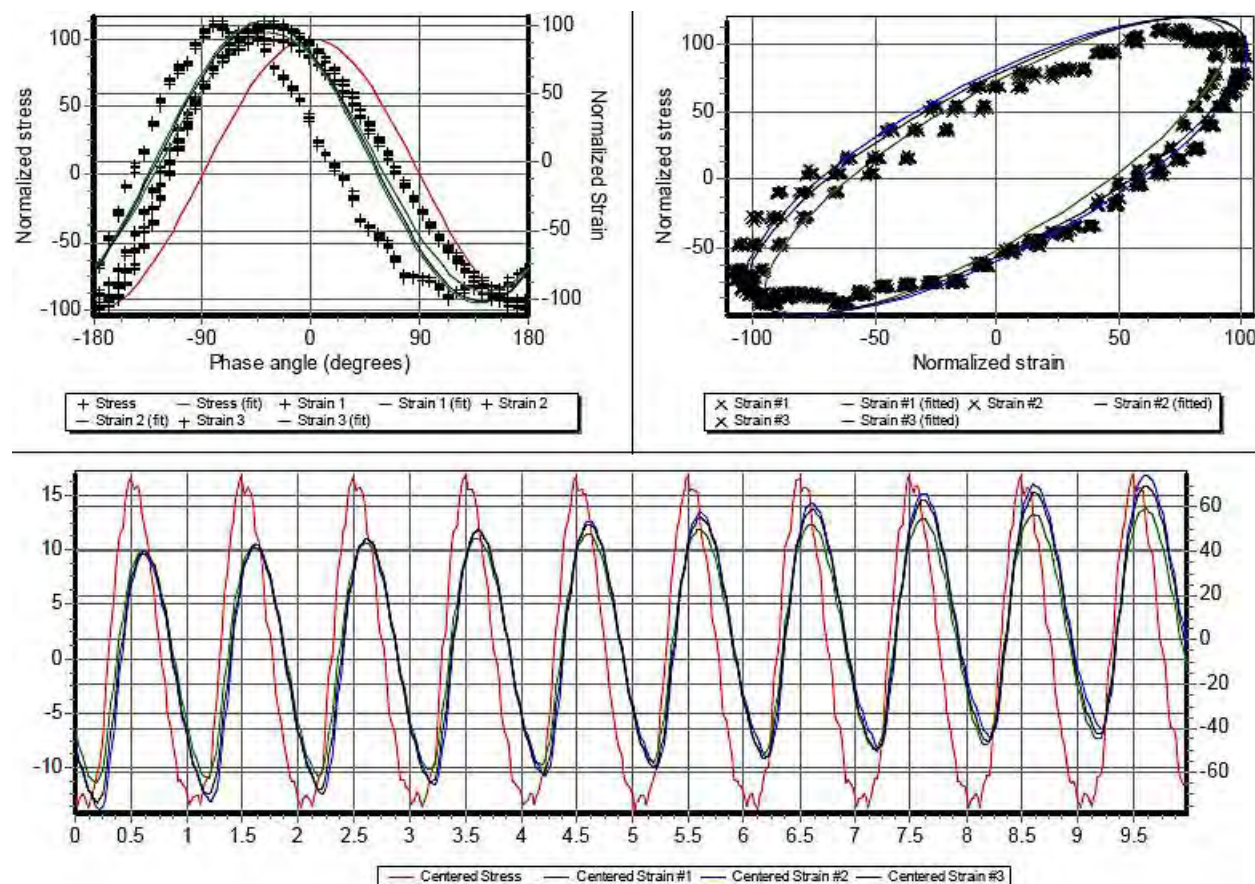




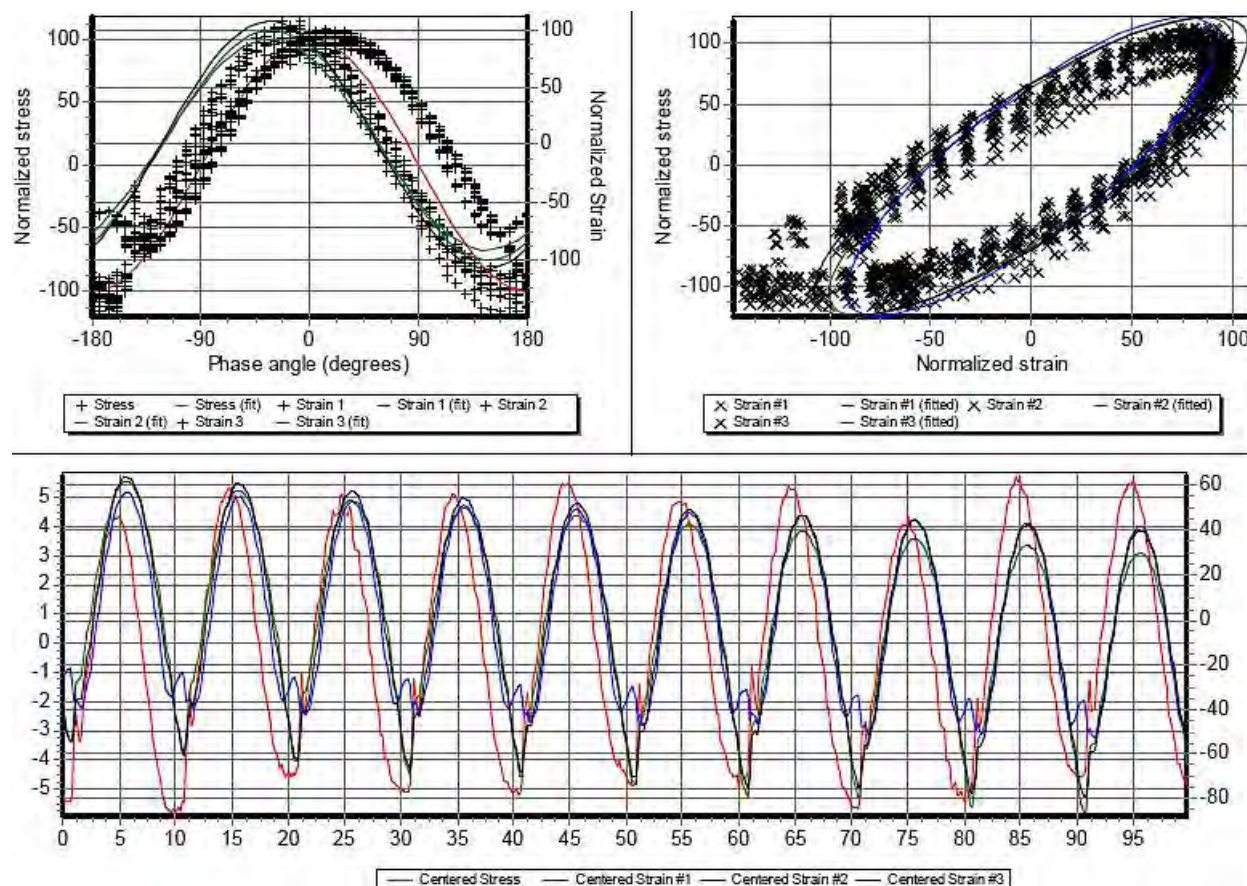
Tabla 148

*Parámetros medidos ensayo muestra 09 (0.1 Hz 40°C) - mezcla convencional*

DESCRIPCIÓN	0.1 Hz
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	96
ÁNGULO DE FASE (Grados)	32.88
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	40.0
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	0
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	105
CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	11.1
ERROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	10.5
PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	47.9
PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	11.9
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	6.4
UNIFORMIDAD DE ÁNGULO DE FASE (Grados)	0.9

Figura 81

*Comportamiento gráfico ensayo muestra 09 (0.1 Hz - 40°C) - mezcla convencional*



### – **Curvas Isotérmicas Modulo Dinámico Convencional**

El comportamiento de la MAC convencional muestra una clara susceptibilidad a la temperatura y a la frecuencia de carga. Se observa una relación directa entre la frecuencia y el módulo dinámico: al incrementarse la frecuencia, el material tiene menos tiempo para relajarse, mostrando un comportamiento más rígido y elástico, lo que se traduce en valores elevados del módulo dinámico. Por el contrario, a temperaturas altas, el módulo dinámico disminuye debido a que el asfalto se ablanda y pierde rigidez.

#### **Análisis por Temperaturas:**

- ISO "5°C" (Curva Azul): A esta temperatura baja, el módulo dinámico adquiere valores elevados en todo el rango de frecuencias ensayadas, indicando que la mezcla es rígida y elástica. La pendiente de la curva es suave, lo que sugiere baja sensibilidad a la frecuencia.

- ISO "20°C" (Curva Naranja): En esta temperatura intermedia, el módulo dinámico es menor que a 5 °C en todas las frecuencias. La pendiente de la curva es más pronunciada, evidenciando mayor sensibilidad a la frecuencia. Se observa un incremento notable del módulo al aumentar la frecuencia de 1 a 10 Hz.

- ISO "40°C" (Curva Gris): A esta temperatura alta, el módulo dinámico alcanza los valores más bajos de las tres curvas, mostrando que el material es más blando y susceptible a la deformación. La pendiente es especialmente pronunciada en frecuencias bajas (0.1–1 Hz), indicando alta dependencia de la frecuencia.

#### **Comportamiento General de la MAC Convencional:**

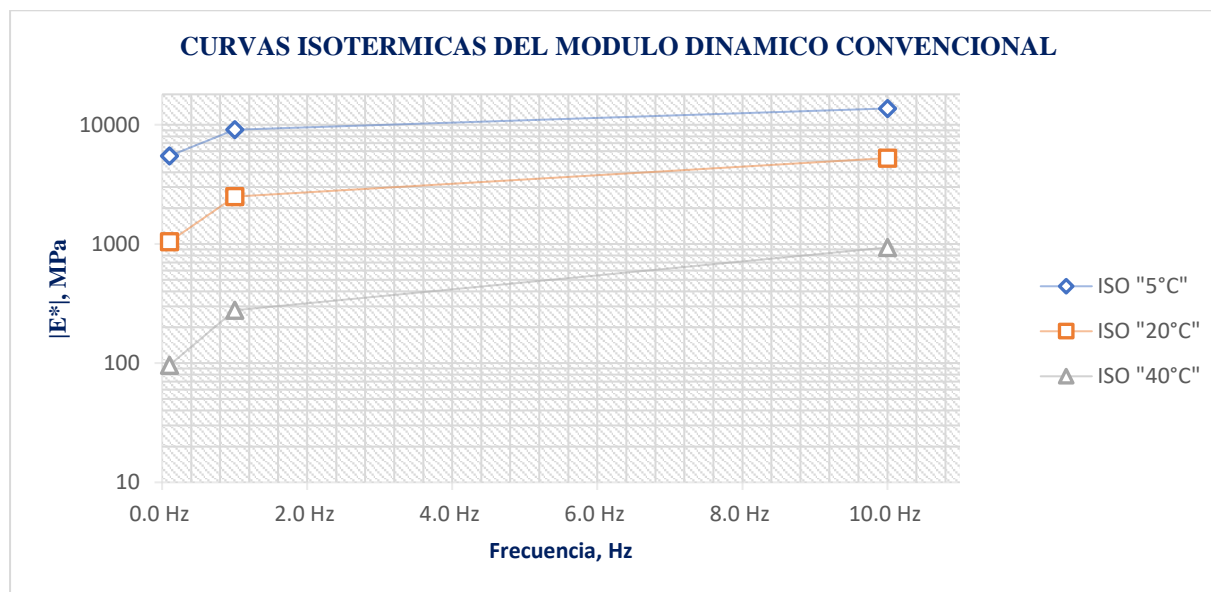
- A **bajas temperaturas y altas frecuencias**, la mezcla se comporta principalmente de manera **elástica y rígida**, resistiendo deformaciones. Este comportamiento es relevante para condiciones invernales o tráfico rápido.

- A **temperaturas intermedias y frecuencias medias**, el material muestra un comportamiento **viscoelástico significativo**, con contribuciones elásticas y viscosas equilibradas.

- A **altas temperaturas y bajas frecuencias**, predomina el comportamiento viscoso, aumentando la susceptibilidad a deformaciones permanentes bajo cargas lentas o sostenidas, situación crítica para verano y tráfico pesado.

**Figura 82**

*Curva isotérmica módulo (Mpa) vs. frecuencia (Hz) mezcla convencional*



#### – Curvas Black Space Modulo Dinámico Convencional

El gráfico Black Space muestra la relación entre el módulo dinámico y el ángulo de fase, reflejando un comportamiento viscoelástico coherente con la teoría. La curva presenta disminución del ángulo de fase a bajas temperaturas y reducción del módulo a temperaturas altas.

#### Análisis e Interpretación de la Curva:

- Forma de la Curva: la curva tiene una forma parabólica invertida, lo cual es típico para materiales asfálticos en un rango de temperaturas y frecuencias de servicio. Indica que **aumenta el ángulo de fase** hasta un punto máximo, y luego **disminuye** conforme crece el módulo dinámico.

- Extremo Izquierdo (Bajos valores de  $\text{Log}(|E^*|)$ ): estos puntos corresponden a condiciones de alta temperatura y/o baja frecuencia, donde el módulo dinámico es bajo (el material es más blando y menos rígido). En esta región, el ángulo de fase es relativamente alto (alrededor de 32-38 grados), lo que indica un comportamiento más viscoso y una mayor tendencia a la deformación permanente.

- Punto Máximo de la Curva: el pico de la parábola representa un punto donde el material exhibe un equilibrio entre el comportamiento elástico y viscoso para un valor específico del módulo dinámico. En este punto, el ángulo de fase alcanza su máximo (alrededor de 39 grados),

indicando la mayor contribución de la componente viscosa a la respuesta del material para esa rigidez particular.

- Extremo Derecho (Altos valores de  $\text{Log}(|E^*|)$ ): estos puntos corresponden a condiciones de baja temperatura y/o alta frecuencia, donde el módulo dinámico es alto (el material es más rígido y elástico). En esta región, el ángulo de fase disminuye significativamente (hasta alrededor de 14 grados), lo que indica un comportamiento más elástico y una mayor capacidad de recuperación de la deformación.

### **Análisis de Angulo de Fase vs. Rigidez**

A valores bajos de  $\text{log}(|E|)$  \* (~1.9 a 2.4): el ángulo de fase aumenta, lo que significa que la mezcla se comporta más **viscosamente** (más deformación retardada).

A **valores medios** (~2.6 a 3.0): se alcanza el **máximo ángulo de fase (~38-39°)**, indicando un equilibrio viscoelástico.

A valores altos de  $\text{log}(|E|)$  \* (~3.3 a 4.2): el ángulo de fase disminuye, lo que refleja un **comportamiento más elástico** (más rígido, menor disipación de energía).

A temperaturas bajas o frecuencias altas (donde  $|E^*|$  es mayor), la mezcla se comporta de forma más rígida y el ángulo de fase disminuye.

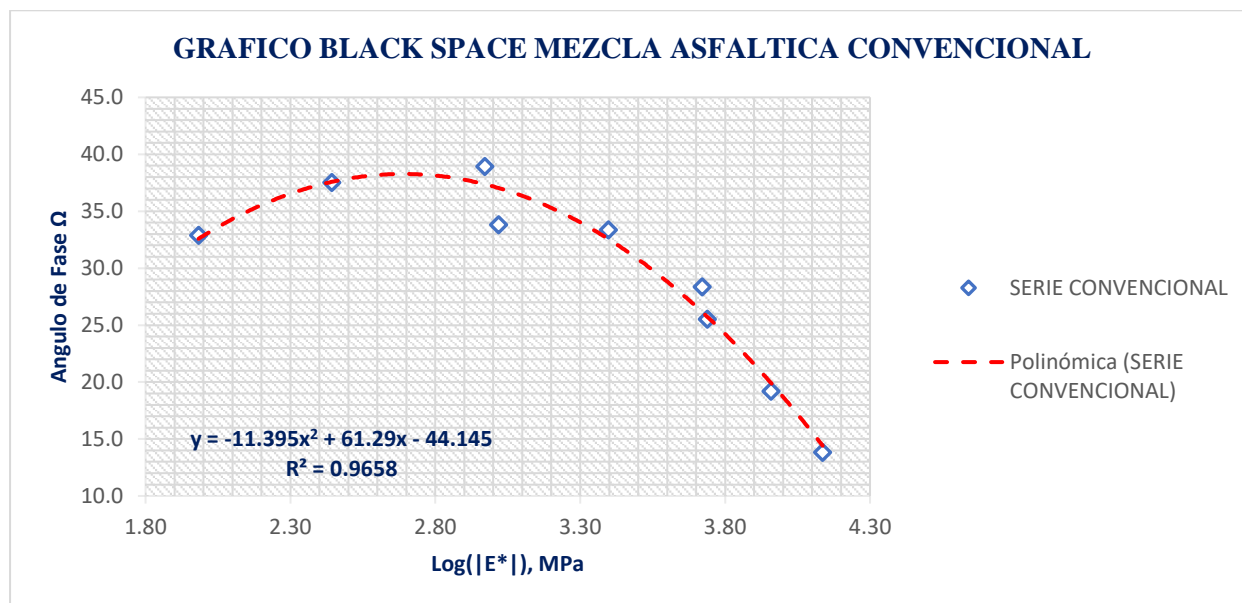
A temperaturas altas o frecuencias bajas (donde  $|E^*|$  es menor), la mezcla tiende a comportarse más viscosa (mayor ángulo de fase).

En resumen, se obtiene el siguiente comportamiento:

- $\text{Log}(|E^*|)$  bajos (~1.9–2.4): comportamiento viscoso predominante.
- $\text{Log}(|E^*|)$  medios (~2.6–3.0): equilibrio viscoelástico.
- $\text{Log}(|E^*|)$  altos (~3.3–4.2): comportamiento elástico predominante.

**Figura 83**

*Curva Black Space módulo (Mpa) vs. ángulo de fase (°) mezcla convencional*



#### – Curvas Cole-Cole Modulo Dinámico Convencional

Se observa en el gráfico una curva única que representa el comportamiento reológico de la mezcla que relaciona de buena manera el módulo de almacenamiento entre el módulo de pérdida dentro de las frecuencias estudiadas que refleja el comportamiento viscoelástico de la mezcla; a bajas partes elásticas hay bajas partes viscosas lo que representa un material viscoso; mientras aumenta el valor también incrementan sus valores lo cual indica un nivel bueno de disipación de energía que se interpreta como buena recuperación ante cargas.

#### **Análisis e Interpretación de la Curva:**

**Forma General:** La gráfica muestra una curva que se inicia cerca del origen (bajos valores de  $G'$  y  $G''$ ) y se extiende hacia valores más altos de  $G'$ , describiendo un arco que tiene su concavidad hacia abajo. Esta forma es típica del comportamiento viscoelástico de materiales poliméricos y asfaltos, indicando una combinación de respuestas elástica y viscosa que varían con la frecuencia (implícita en los puntos).

**Comportamiento a Bajas Frecuencias (Extremo Izquierdo del Arco):** Los puntos en el extremo izquierdo de la curva (cercanos al origen) corresponden a las frecuencias de ensayo más bajas. En esta región, tanto la parte elástica ( $G'$ ) como la parte viscosa ( $G''$ ) del módulo complejo

son relativamente bajas. A medida que la frecuencia aumenta (moviéndonos a lo largo del arco hacia la derecha), ambas componentes del módulo dinámico aumentan.

**Comportamiento a Frecuencias Intermedias (Punto de Máximo  $G''$ ):** El punto más alto del arco en el eje vertical (máximo valor de  $G''$ ) representa la frecuencia a la cual la contribución viscosa al comportamiento del material es máxima. En este punto, la mezcla exhibe un equilibrio significativo entre su capacidad para almacenar energía elásticamente y disiparla viscosamente. La posición de este máximo en el eje  $G'$  también es importante, ya que indica la rigidez del material en esta condición de máxima disipación.

**Comportamiento a Altas Frecuencias (Extremo Derecho del Arco):** Los puntos en el extremo derecho del arco corresponden a las frecuencias de ensayo más altas. En esta región, la parte elástica ( $G'$ ) del módulo complejo alcanza sus valores más altos, lo que indica que el material se comporta de manera más rígida y elástica a frecuencias elevadas (cargas aplicadas rápidamente). La parte imaginaria ( $G''$ ) también sigue aumentando, pero la tasa de aumento puede disminuir en comparación con la parte real.

**Desviación de un Semicírculo:** Como se mencionó anteriormente, la curva no traza un semicírculo perfecto centrado en el eje  $G'$ . La desviación observada sugiere la presencia de una **distribución de tiempos de relajación**. En contraste, un material con un único tiempo de relajación no presentaría esta característica, el gráfico Cole-Cole sería un semicírculo perfecto. La forma aplanada o de arco de círculo cuyo centro está deprimido por debajo del eje  $G'$  sugiere que existen múltiples procesos de relajación molecular o estructural que ocurren en diferentes escalas de tiempo.

**Ajuste Polinómico:** El ajuste polinómico de tercer grado con un  $R^2$  muy alto (0.9977) indica que la función describe muy bien la trayectoria de los datos experimentales. Sin embargo, aunque útil para representar los datos, un ajuste circular (modelo de Cole-Cole) tiene una base física más directa para la interpretación de las propiedades viscoelásticas.

### **Análisis De Parte Real vs Parte Imaginaria**

**A bajas rigideces ( $E' < 2000$  MPa):**  $E''$  crece rápidamente, lo que significa que **el componente viscoso domina** (mayor fluencia, comportamiento más blando).



A **medias rigideces (2000–6000 MPa)**:  $E''$  sigue aumentando, pero a un ritmo más lento. Se observa un **balance viscoelástico**.

A **altas rigideces (>6000 MPa)**:  $E''$  se estabiliza e incluso tiende a disminuir ligeramente, lo que indica que la mezcla **pierde capacidad de disipar energía** y actúa más como un **sólido elástico** (más frágil).

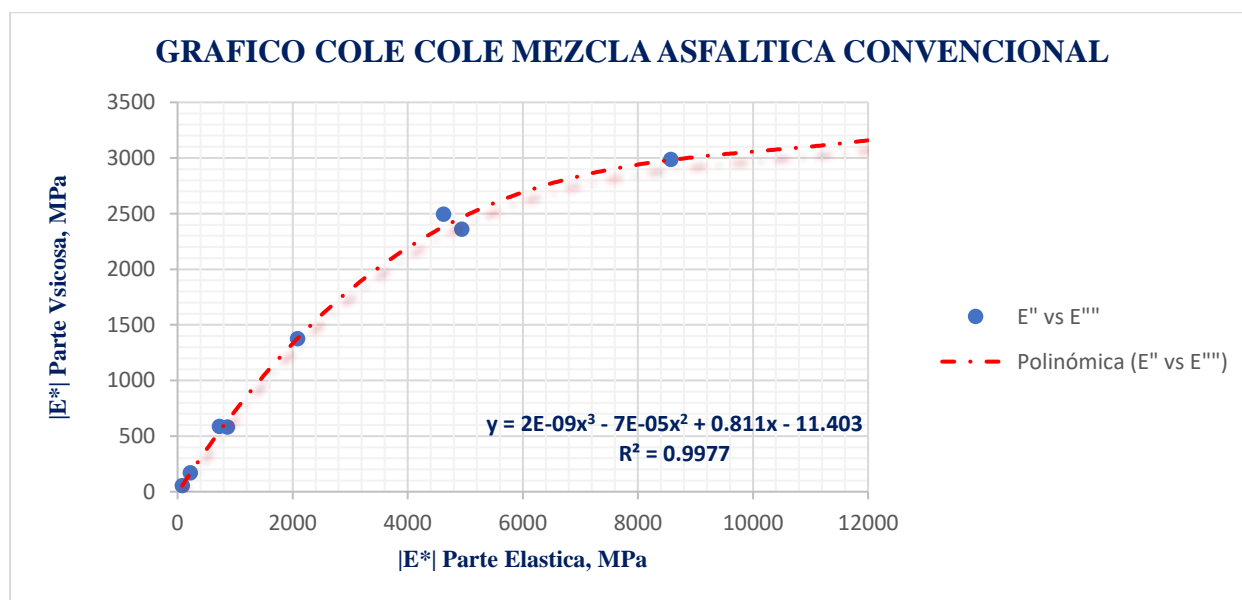
La mezcla asfáltica convencional presenta un **comportamiento viscoelástico esperado y saludable**, con un **buen equilibrio entre rigidez y disipación**. La forma de la curva y su excelente ajuste ( $R^2 > 0.99$ ) respaldan la calidad del diseño.

Si  $E''$  es alto en un cierto rango de  $E'$ , se infiere que la mezcla tendrá buena capacidad de **disipar esfuerzos** y evitar fisuras por fatiga.

La gráfica Cole-Cole para la mezcla asfáltica convencional revela un comportamiento viscoelástico con una distribución de tiempos de relajación. La forma del arco describe cómo la contribución relativa de las componentes elástica y viscosa del módulo dinámico varía con la frecuencia (implícita), mostrando un pico de disipación de energía a frecuencias intermedias y un predominio del comportamiento elástico a altas frecuencias.

**Figura 84**

*Curva Cole-Cole  $E^*$ (elástica) vs.  $E''$ (viscosa) mezcla convencional*

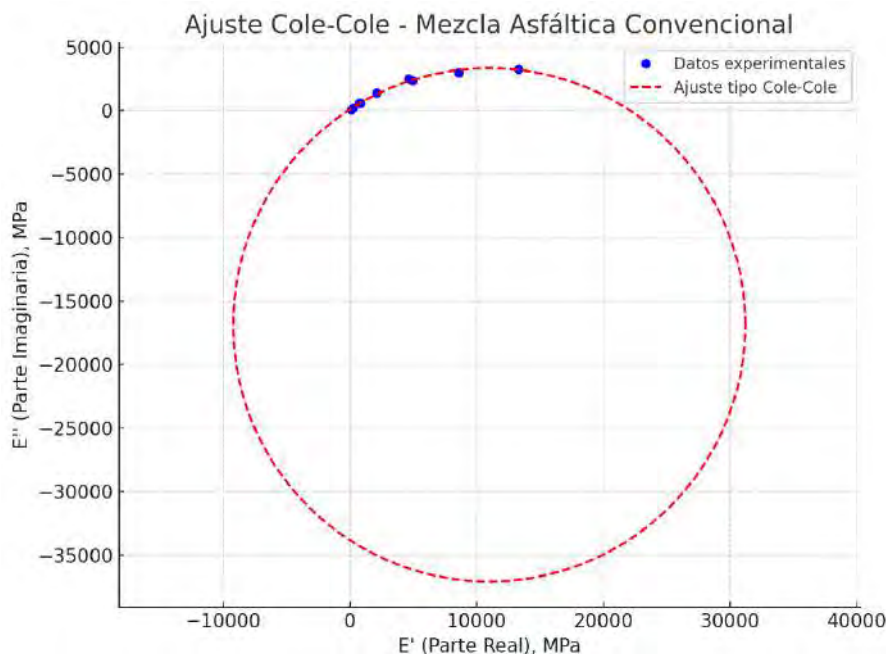


### Ajuste y calibración del modelo Cole-Cole:

La gráfica Cole-Cole de la mezcla asfáltica modificada, con un ajuste circular cuyo centro se encuentra significativamente desplazado por debajo del eje  $E'$  ( $x_c=10995.09$  MPa,  $y_c=-16879.74$  MPa) y un radio considerablemente mayor ( $R=20214.45$  MPa) en comparación con la mezcla convencional, revela una **distribución notablemente más amplia de los tiempos de relajación**. Este desplazamiento del centro indica que los mecanismos de relajación dentro de la mezcla modificada operan en un rango de escalas de tiempo mucho más extenso, sugiriendo una respuesta viscoelástica más compleja y una mayor heterogeneidad en la forma en que las tensiones se disipan y se almacenan a lo largo del tiempo. El radio aumentado implica una mayor dependencia de las propiedades mecánicas con la frecuencia de carga, lo que significa que la mezcla modificada experimentará cambios más pronunciados en su rigidez y capacidad de amortiguamiento en respuesta a variaciones en la velocidad de carga o la temperatura, en contraposición a la mezcla convencional con una distribución de tiempos de relajación más estrecha.

**Figura 85**

*Calibración y ajuste de Cole-Cole de mezcla asfáltica convencional*



## – Curva Maestra Del Módulo Dinámico Convencional

### Análisis de la Curva Maestra:

La curva maestra del módulo dinámico, construida a 20 °C como temperatura de referencia, integra el comportamiento de la mezcla convencional a diversas temperaturas y frecuencias de carga en una única representación. El eje de frecuencia reducida actúa como un eje maestro de tiempo y temperatura: **bajas frecuencias reducidas equivalen a condiciones de alta temperatura o tiempos de carga prolongados, mientras que altas frecuencias reducidas corresponden a bajas temperaturas o tiempos de carga breves.**

**Régimen de Bajas Frecuencias Reducidas (<10–3 Hz):** En esta zona, donde el módulo dinámico es bajo (1-100 MPa), la mezcla convencional, bajo **condiciones de altas temperaturas (simulando un día caluroso de verano, > 40 °C)** o **tráfico muy lento o detenido**, exhibe una **baja rigidez**. Esto se traduce en una **menor capacidad para resistir las deformaciones permanentes**, como el **ahuellamiento** causado por cargas de tráfico repetidas y prolongadas. La mezcla se comportaría de manera más fluida, cediendo fácilmente bajo el peso de los vehículos.

**Régimen de Frecuencias Reducidas Intermedias (10–3 a 103 Hz):** Este rango representa las **condiciones de servicio más comunes**, abarcando **temperaturas moderadas (cerca de la temperatura de referencia de 20 °C)** y **velocidades de tráfico típicas** (desde la marcha lenta de camiones hasta la circulación más rápida de automóviles). El aumento significativo del módulo dinámico (de 100 a 10,000 MPa) indica que la rigidez es altamente dependiente en función de la velocidad de carga y la temperatura en estas condiciones. Un comportamiento adecuado aquí es crucial: una **rigidez suficiente** es necesaria para **soportar las cargas del tráfico sin deformaciones excesivas**, mientras que una **flexibilidad adecuada** es esencial para **resistir el agrietamiento por fatiga** inducido por las cargas repetidas. La pendiente de esta zona influye directamente en qué tan sensible es la mezcla a las variaciones de temperatura y velocidad de carga en su vida útil principal.

**Régimen de Altas Frecuencias Reducidas (>103 Hz):** En esta región, con un módulo dinámico elevado (10,000-36,000 MPa), la mezcla simula el comportamiento bajo **condiciones de bajas temperaturas (típicas de invierno, < 5 °C)** o **cargas de impacto muy rápidas**. La **alta rigidez** proporciona una excelente resistencia a la deformación inmediata, pero puede ser **perjudicial para la resistencia al agrietamiento**. A bajas temperaturas, la mezcla se vuelve más

**frágil** y puede no ser capaz de deformarse lo suficiente para aliviar las tensiones inducidas por la contracción térmica o las cargas de tráfico, lo que aumenta el riesgo de **agrietamiento térmico** y **agrietamiento por fatiga**.

#### **Análisis del Ajuste Sigmodial:**

**$\delta=-0.29$  (Módulo  $\approx 0.51$  MPa):** Representa una rigidez muy baja a altas temperaturas/cargas lentas, lo que indica una alta susceptibilidad al ahuellamiento.

**Max=4.56 (Módulo  $\approx 36,308$  MPa):** Representa una rigidez muy alta a bajas temperaturas/cargas rápidas, lo que sugiere fragilidad y riesgo de agrietamiento.

**$\beta=-1.19$ :** Posiciona la zona de transición de la curva en el eje de frecuencia reducida, indicando las condiciones donde el comportamiento cambia de viscoso a elástico.

**$\gamma=-0.40$ :** Define una pendiente moderada en la zona de transición, lo que implica una sensibilidad gradual de la rigidez a los cambios de temperatura y velocidad de carga en las condiciones típicas de servicio.

Los parámetros derivados del ajuste sigmoideal permiten cuantificar la significativa variación de la rigidez en la mezcla convencional, influenciada por la temperatura y la velocidad de carga, prediciendo un mal desempeño ante el ahuellamiento en climas cálidos y un riesgo elevado de agrietamiento en climas fríos o bajo cargas impulsivas, con una transición gradual en su comportamiento en las condiciones intermedias de servicio.

#### **Análisis Final De La Curva Maestra:**

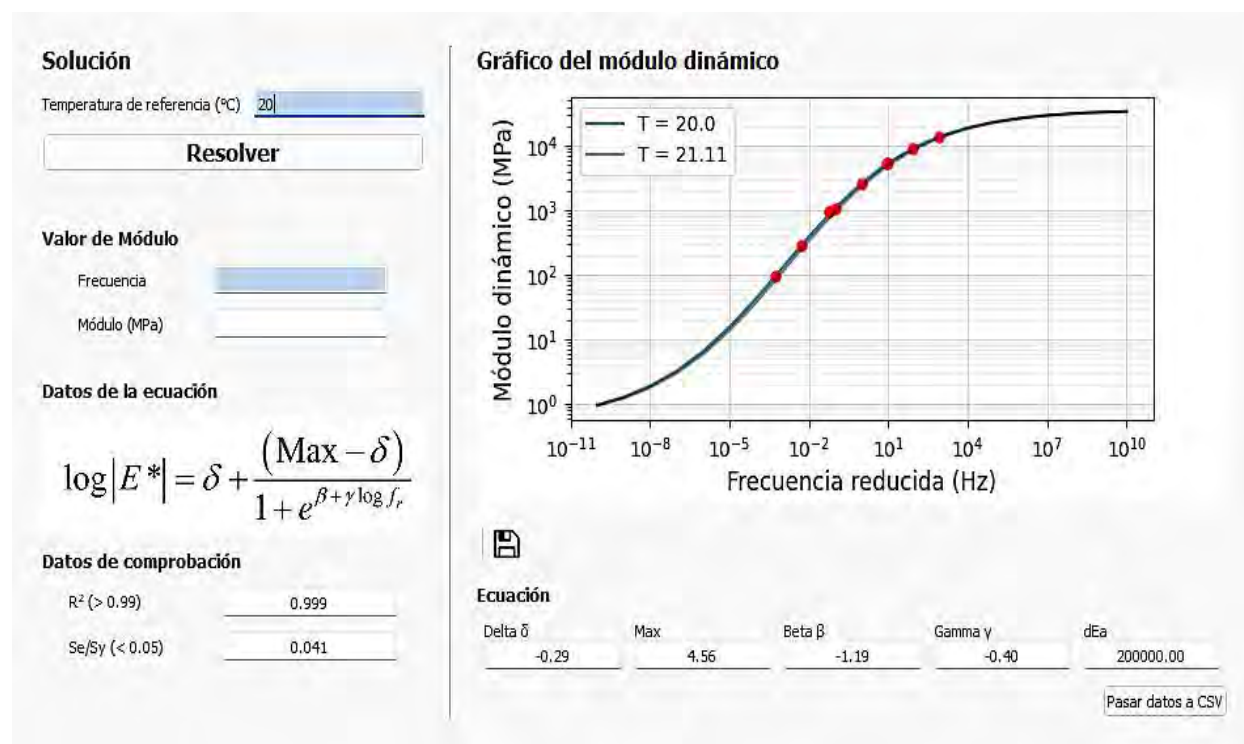
Bajo **altas temperaturas y tráfico lento**, la **baja rigidez** la hace susceptible al **ahuellamiento**.

En el rango de **temperaturas y velocidades de tráfico moderadas**, la **sensibilidad a las condiciones** requiere un equilibrio entre rigidez y flexibilidad para un buen desempeño general.

A **bajas temperaturas y cargas rápidas**, la **alta rigidez** puede comprometer la **resistencia al agrietamiento**.

**Figura 86**

*Curva maestra de mezcla asfáltica convencional – F. sigmoidal Pitra ImoDin*



## Modulo Dinámico Para Mezcla Asfáltica Modificada Con Polímero

**Tabla 149**

*Parámetros medidos ensayo muestra 01 (10 Hz 5°C) - mezcla modificada*

DESCRIPCIÓN	10 Hz
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	10864
ÁNGULO DE FASE (Grados)	17.29
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	5.0
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	0
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	90
CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	0.7
ERROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	3.4
PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	-108.7
PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	3.7
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	4.2
UNIFORMIDAD DE ÁNGULO DE FASE (Grados)	0.2

**Figura 87**

*Comportamiento gráfico ensayo muestra 01 (10 Hz - 5°C) - mezcla modificada*

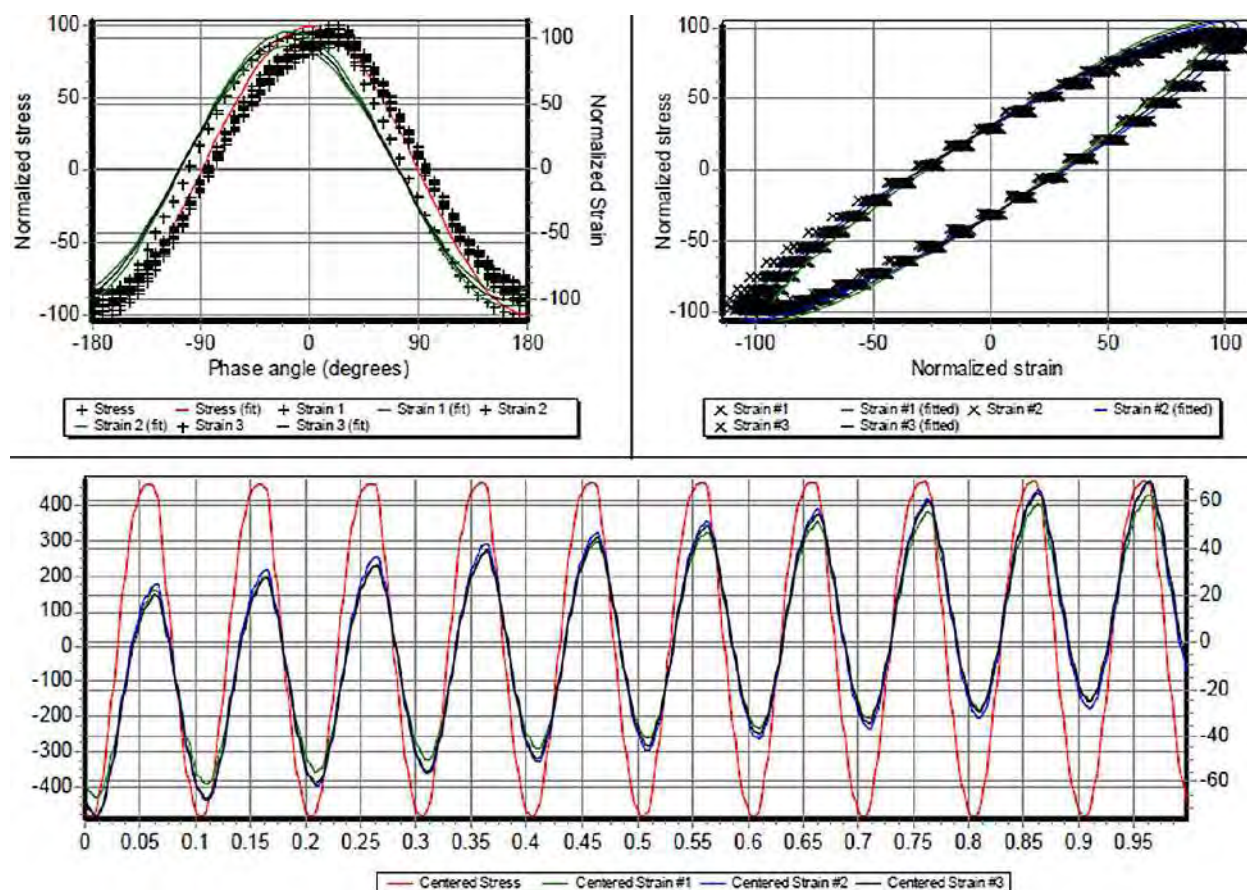




Tabla 150

*Parámetros medidos ensayo muestra 02 (1 Hz 5°C) - mezcla modificada*

DESCRIPCIÓN	1 Hz
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	6786
ÁNGULO DE FASE (Grados)	21.89
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	5.0
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	0
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	95
CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	0.1
ERROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	0.6
PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	-112.3
PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	1.9
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	3.8
UNIFORMIDAD DE ÁNGULO DE FASE (Grados)	0.2

Figura 88

*Comportamiento gráfico ensayo muestra 02 (1 Hz - 5°C) - mezcla modificada*

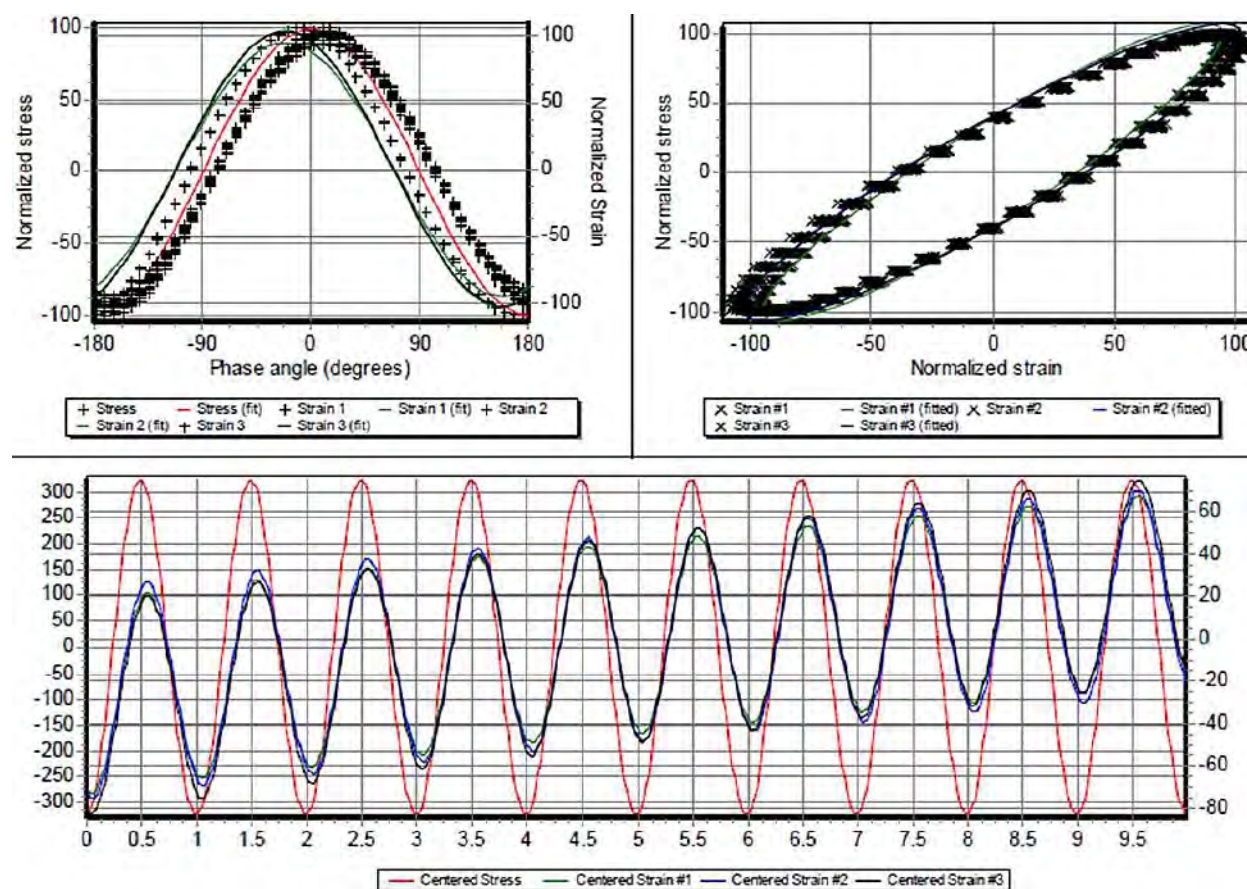


Tabla 151

*Parámetros medidos ensayo muestra 03 (0.1 Hz 5°C) - mezcla modificada*

DESCRIPCIÓN	0.1 Hz
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	3765
ÁNGULO DE FASE (Grados)	26.04
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	5.0
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	0
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	100
CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	-0.2
ERROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	0.4
PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	-101.7
PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	2.0
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	4.6
UNIFORMIDAD DE ÁNGULO DE FASE (Grados)	0.9

Figura 89

*Comportamiento gráfico ensayo muestra 03 (0.1 Hz - 5°C) - mezcla modificada*

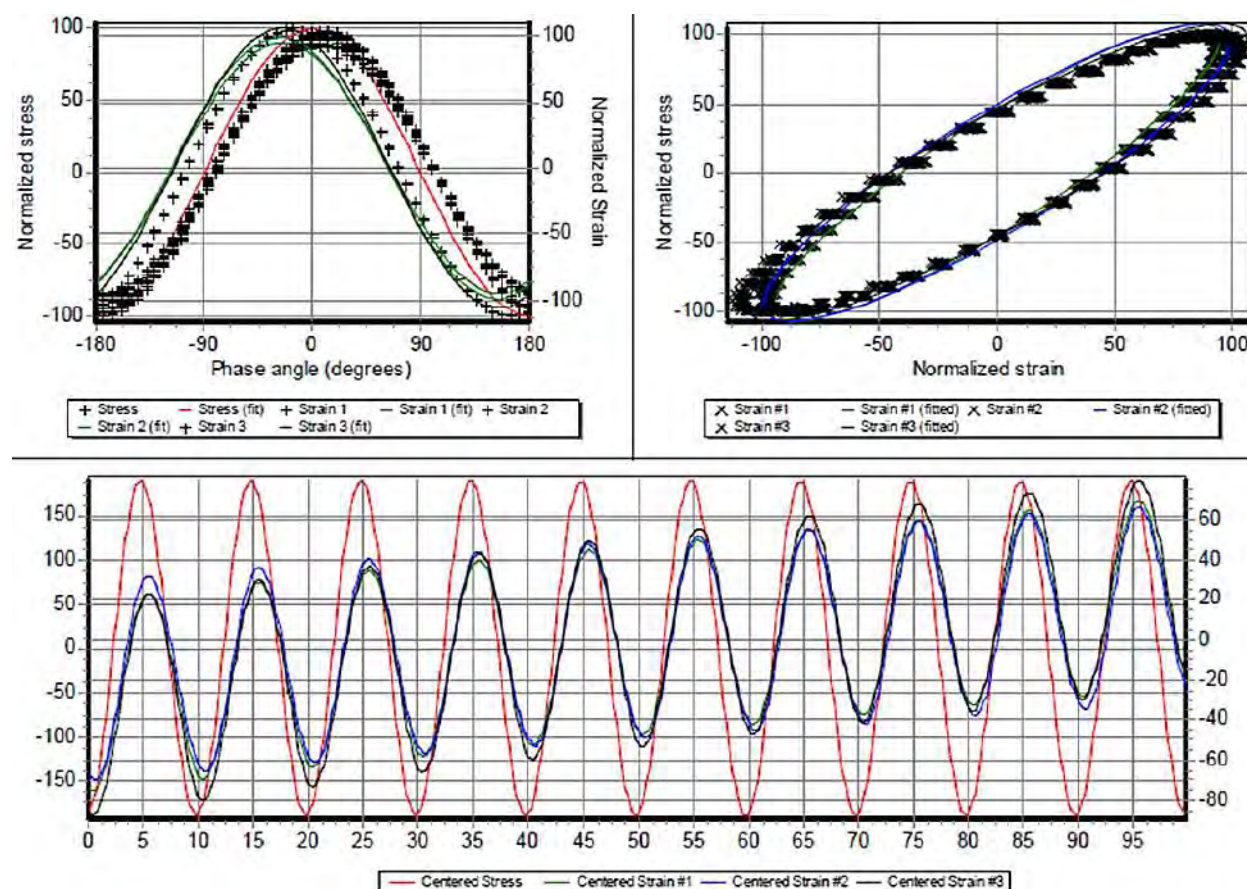




Tabla 152

*Parámetros medidos ensayo muestra 04 (10 Hz 20°C) - mezcla modificada*

DESCRIPCIÓN	10 Hz
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	3149
ÁNGULO DE FASE (Grados)	32.28
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	20.0
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	0
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	84
CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	0.0
ERROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	5.3
PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	-317.7
PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	9.9
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	9.2
UNIFORMIDAD DE ÁNGULO DE FASE (Grados)	1.4

Figura 90

*Comportamiento gráfico ensayo muestra 04 (10 Hz - 20°C) - mezcla modificada*

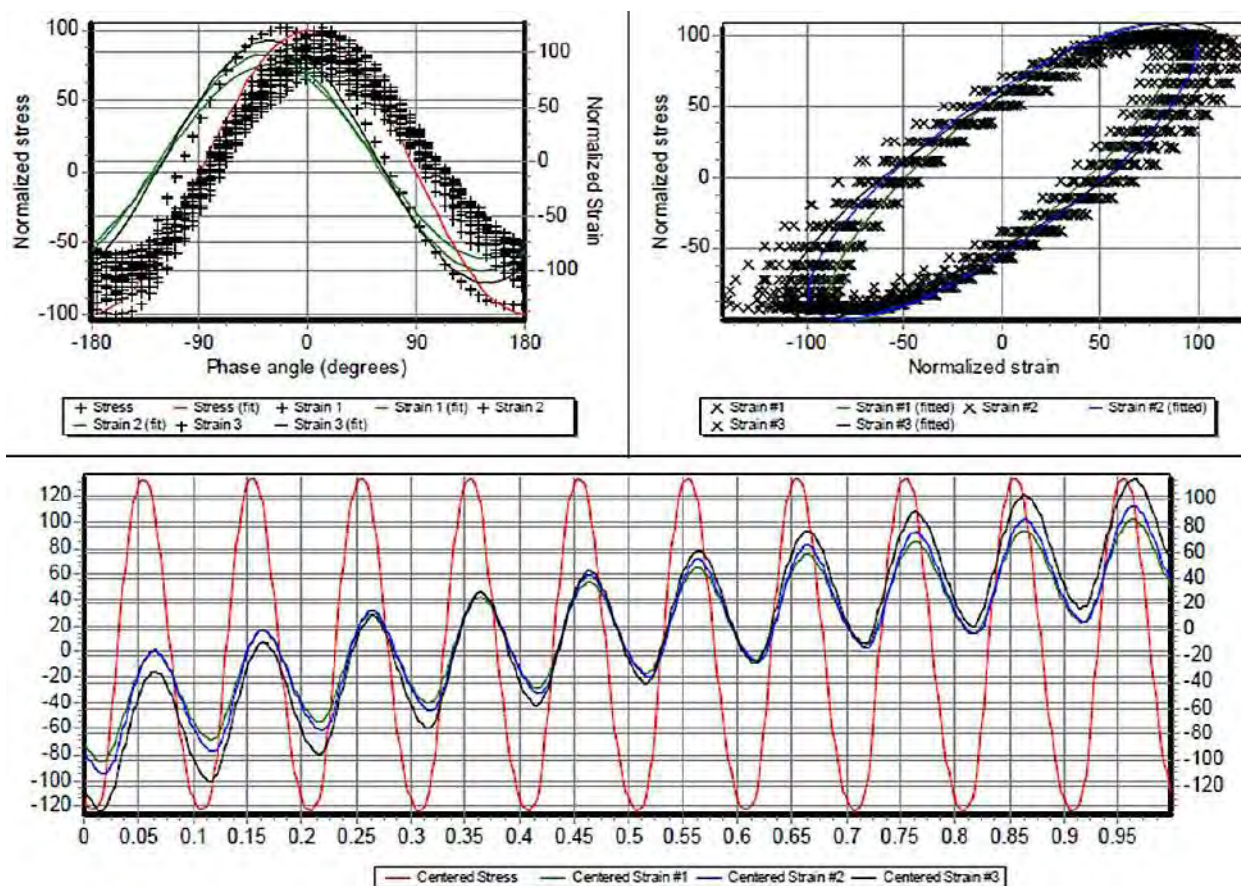


Tabla 153

*Parámetros medidos ensayo muestra 05 (1 Hz 20°C) - mezcla modificada*

DESCRIPCIÓN	1 Hz
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	1384
ÁNGULO DE FASE (Grados)	33.64
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	20.0
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	0
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	94
CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	0.3
ERROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	3.9
PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	-81.6
PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	5.4
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	11.1
UNIFORMIDAD DE ÁNGULO DE FASE (Grados)	3.2

Figura 91

*Comportamiento gráfico ensayo muestra 05 (1 Hz - 20°C) - mezcla modificada*

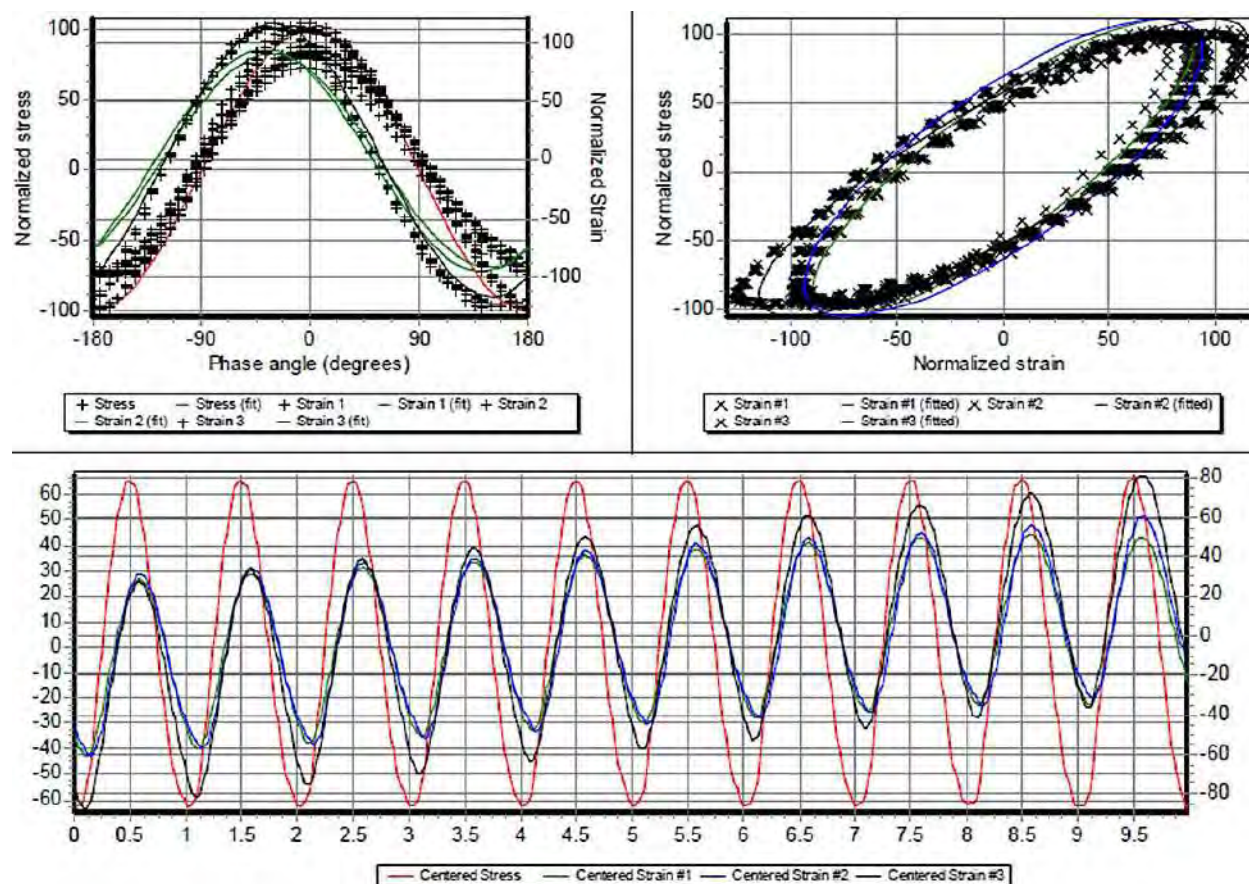




Tabla 154

*Parámetros medidos ensayo muestra 06 (0.1 Hz 20°C) - mezcla modificada*

DESCRIPCIÓN	0.1 Hz
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	595
ÁNGULO DE FASE (Grados)	32.16
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	20.0
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	0
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	99
CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	1.3
ERROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	2.8
PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	-32.7
PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	4.9
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	10.4
UNIFORMIDAD DE ÁNGULO DE FASE (Grados)	4.7

Figura 92

*Comportamiento gráfico ensayo muestra 06 (0.1 Hz - 20°C) - mezcla modificada*

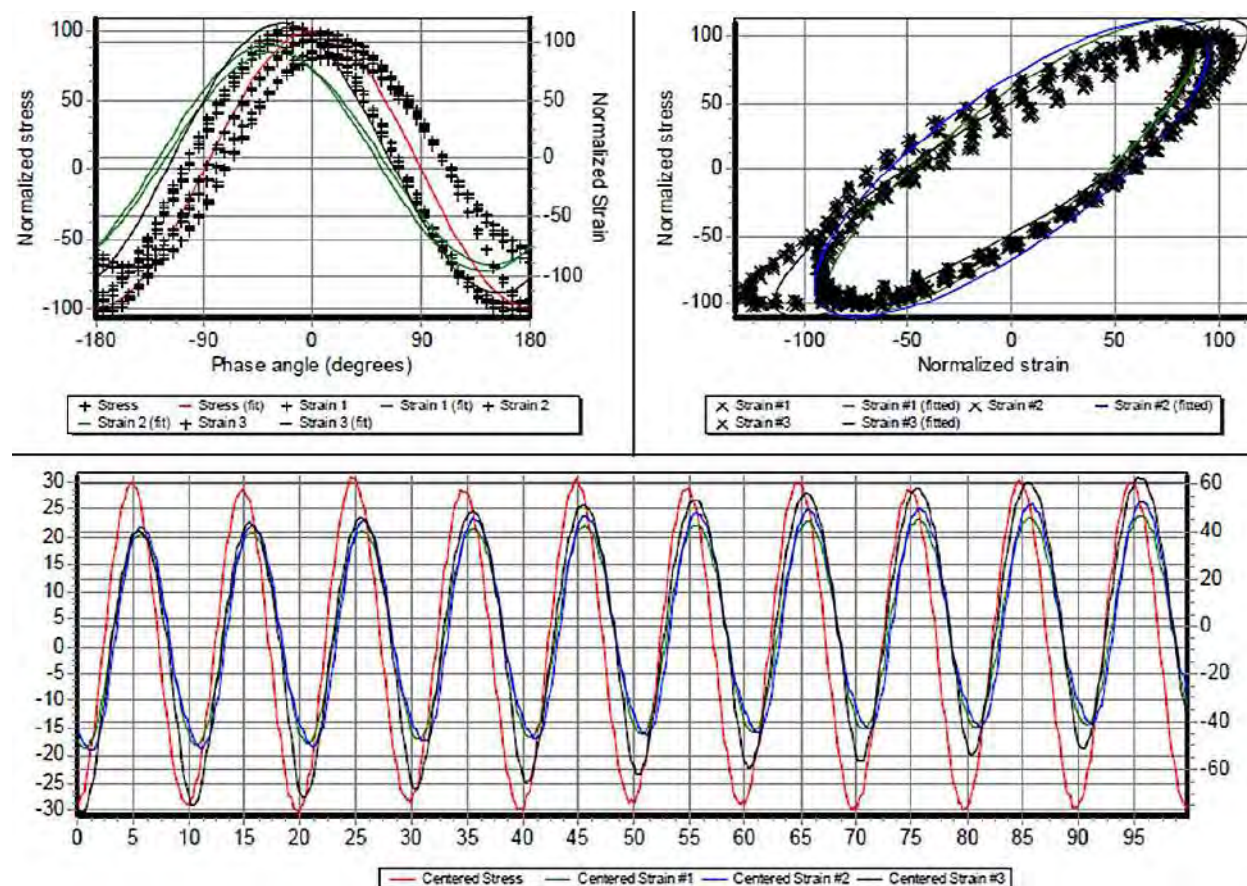


Tabla 155

*Parámetros medidos ensayo muestra 07 (10 Hz 40°C) - mezcla modificada*

DESCRIPCIÓN	10 Hz
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	657
ÁNGULO DE FASE (Grados)	33.52
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	40.0
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	0
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	66
CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	-3.7
ERROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	7.8
PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	-186.1
PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	8.3
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	11.3
UNIFORMIDAD DE ÁNGULO DE FASE (Grados)	1.9

Figura 93

*Comportamiento gráfico ensayo muestra 07 (10 Hz - 40°C) - mezcla modificada*

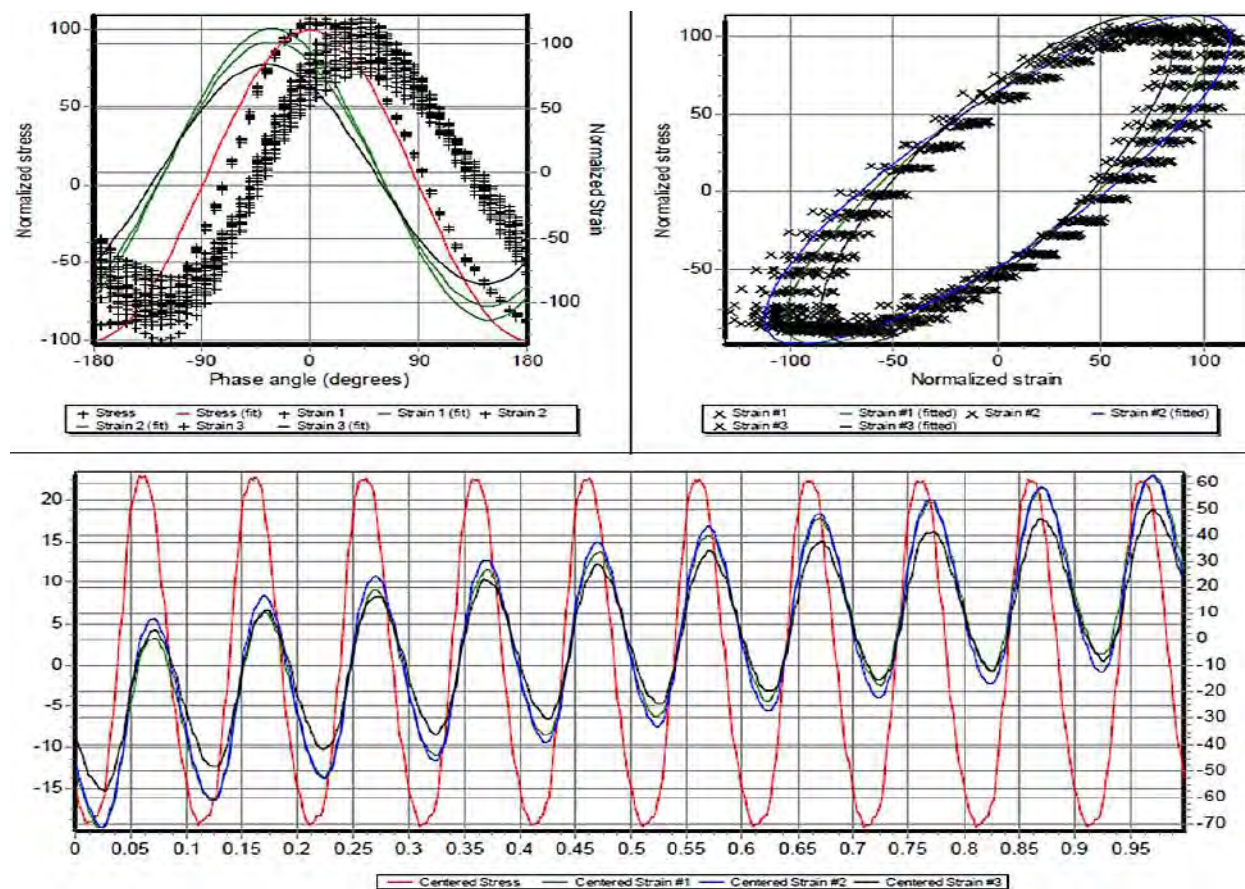




Tabla 156

*Parámetros medidos ensayo muestra 08 (1 Hz 40°C) - mezcla modificada*

DESCRIPCIÓN	1 Hz
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	232
ÁNGULO DE FASE (Grados)	31.57
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	40.0
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	0
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	109
CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	0.3
ERROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	10.1
PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	-3.1
PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	8.8
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	8.4
UNIFORMIDAD DE ÁNGULO DE FASE (Grados)	1.9

Figura 94

*Comportamiento gráfico ensayo muestra 08 (1 Hz - 40°C) - mezcla modificada*

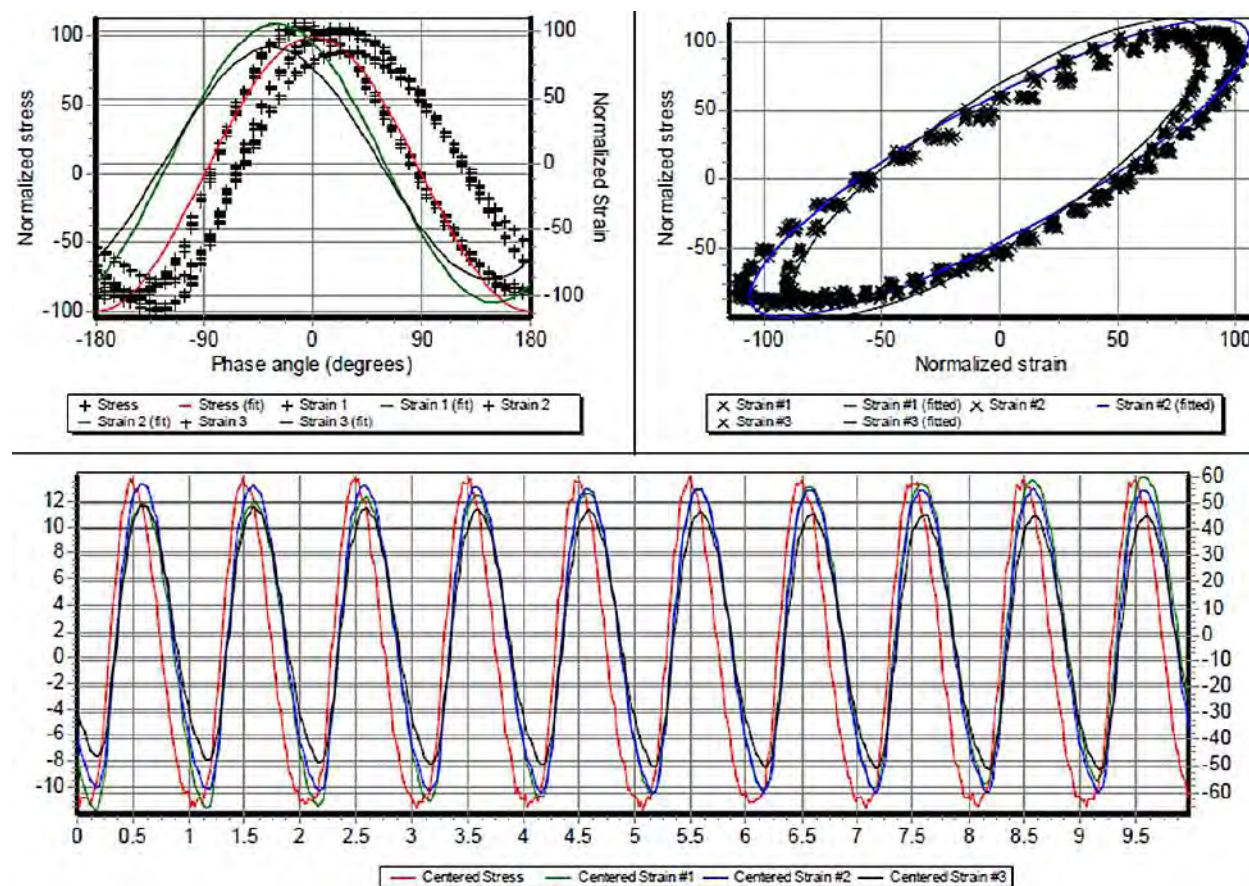


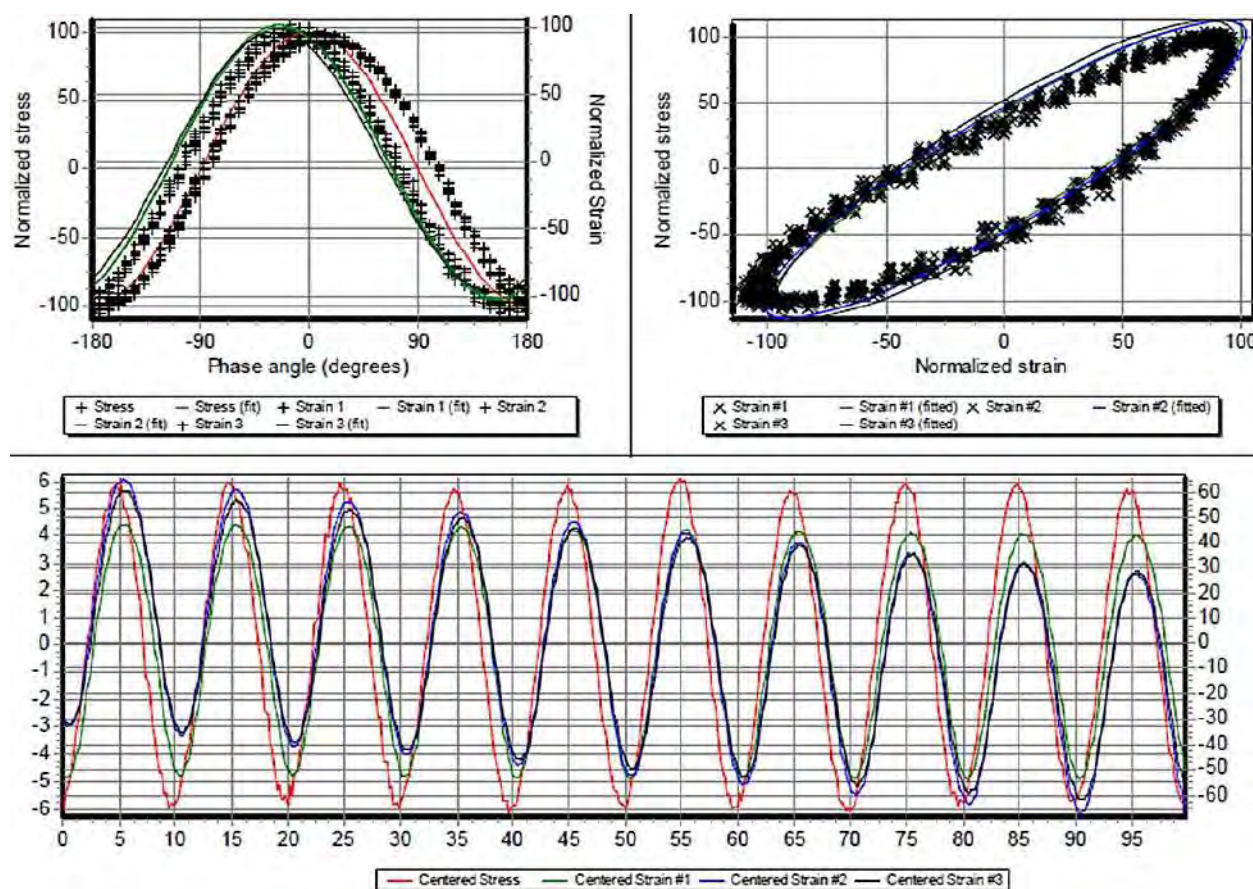
Tabla 157

*Parámetros medidos ensayo muestra 09 (0.1 Hz 40°C) - mezcla modificada*

DESCRIPCIÓN	0.1 Hz
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	119
ÁNGULO DE FASE (Grados)	25.55
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	40.0
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	0
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	98
CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	-0.5
ERROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	3.8
PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	53.2
PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	4.7
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	2.1
UNIFORMIDAD DE ÁNGULO DE FASE (Grados)	1.8

Figura 95

*Comportamiento gráfico ensayo muestra 09 (0.1 Hz - 40°C) - mezcla modificada*



### – **Curvas Isotérmicas Modulo Dinámico Modificado**

Se observa un gráfico similar al de la mezcla convencional que también tiene una tendencia creciente en aumento de la frecuencia para cada una de las temperaturas lo cual indica que la modificación con polímero no elimina la naturaleza viscoelástica por lo cual a frecuencias altas también se comporta de manera más rígida; respecto a los cambios de temperatura el módulo dinámico disminuye con el aumento de temperatura por lo cual la mezcla también se vuelve más blanda a temperaturas más elevadas.

#### **Análisis Por Temperaturas:**

**ISO "5°C" (Curva Azul):** A esta temperatura baja, el módulo dinámico de la mezcla modificada es generalmente alto, comparable a la mezcla convencional. Sin embargo, parece haber un aumento más pronunciado del módulo al aumentar la frecuencia de 0.1 Hz a 1 Hz en comparación con la mezcla convencional. La pendiente general de la curva a frecuencias más altas parece ser suave.

**ISO "20°C" (Curva Naranja):** A la temperatura intermedia de 20°C, el módulo dinámico de la mezcla modificada también muestra una tendencia creciente con la frecuencia. Los valores del módulo parecen ser generalmente más altos que los de la mezcla convencional a esta temperatura, especialmente en el rango de frecuencias más bajas (0.1 Hz a 1 Hz). La pendiente de la curva sugiere una sensibilidad significativa a la frecuencia.

**ISO "40°C" (Curva Gris):** A la temperatura alta de 40°C, el módulo dinámico de la mezcla modificada es el más bajo de las tres curvas, como se esperaba. Sin embargo, los valores del módulo dinámico para la mezcla modificada a esta temperatura parecen ser considerablemente más altos que los de la MAC convencional para todo rango de frecuencias. La pendiente de la curva indica una fuerte dependencia de la frecuencia, especialmente a bajas frecuencias.

#### **Comportamiento General De La Mezcla Asfáltica Convencional:**

A **bajas temperaturas (5°C) y altas frecuencias**, la mezcla asfáltica modificada también tiende a comportarse de manera **elástica y rígida**, similar a la mezcla convencional, aunque podría presentar una mayor sensibilidad a la frecuencia en el rango más bajo. Esto sugiere que el modificador no altera fundamentalmente la rigidez a bajas temperaturas y cargas rápidas.

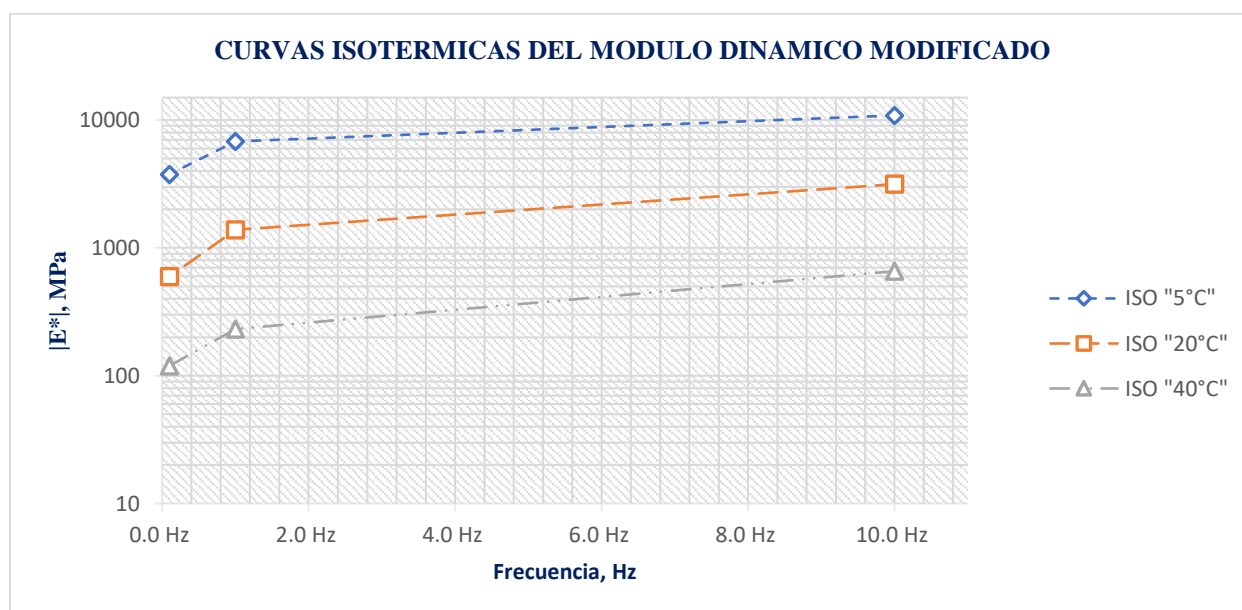
A **temperaturas intermedias (20°C) y frecuencias medias**, la mezcla modificada exhibe un **comportamiento viscoelástico**, pero con una tendencia hacia **mayor rigidez** (módulo dinámico más alto) en comparación con la mezcla convencional. Esto indica que el modificador podría estar mejorando la resistencia a la deformación a temperaturas típicas de operación.

A **altas temperaturas (40°C) y bajas frecuencias**, la mezcla modificada muestra un comportamiento más **rígido** (módulo dinámico significativamente más alto) en comparación con la mezcla convencional, aunque sigue siendo más blanda que a temperaturas más bajas. Esta es una observación importante, esto indica que el modificador tiene el potencial de incrementar la resistencia al ahuellamiento y a la deformación permanente, especialmente bajo altas temperaturas y con cargas aplicadas lentamente o de manera sostenida.

El análisis de la curva isotérmica de la mezcla modificada sugiere que el modificador tiene un impacto notable en el comportamiento viscoelástico, especialmente a temperaturas intermedias y altas, donde incrementa la rigidez del material en comparación con la mezcla convencional. A bajas temperaturas, el efecto del modificador en el módulo dinámico no parece ser tan pronunciado.

### Figura 96

*Curva isotérmica módulo (Mpa) vs. frecuencia (Hz) mezcla modificada*





### – Curvas Black Space Modulo Dinámico Modificado

Se observa en el gráfico una curva única que representa el comportamiento único de la mezcla; en el grafico se observa una curva donde se aprecia la disminución del ángulo de fase a menores temperaturas, así como también disminuye el módulo dinámico para temperaturas altas, demostrando resultados consistentes con la parte teórica.

### Análisis E Interpretación De La Curva:

**Forma de la Curva:** la curva ajustada (línea roja discontinua) presenta una forma parabólica invertida, similar a la de la mezcla convencional, aunque con algunas diferencias en su amplitud y posición. La ecuación del polinomio de segundo grado es  $y = -12.677x^2 + 73.145x - 71.545$ , con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9349$ , lo que indica un buen ajuste a los datos experimentales.

**Extremo Izquierdo (Bajos valores de  $\text{Log}(|E^*|)$ ):** estos puntos corresponden a condiciones de alta temperatura y/o baja frecuencia, donde el módulo dinámico es bajo (material blando). En esta región ( $\text{Log}(|E^*|)$  alrededor de 2.0 - 2.5), el ángulo de fase se sitúa entre aproximadamente  $25^\circ$  y  $31^\circ$ . Esto sugiere un comportamiento más viscoso en comparación con la mezcla convencional en el extremo de baja rigidez, lo que podría indicar una mayor susceptibilidad a la deformación permanente bajo cargas lentas y altas temperaturas.

**Punto Máximo de la Curva:** el pico de la parábola para la mezcla modificada se alcanza alrededor de un valor de  $\text{Log}(|E^*|)$  de aproximadamente 2.9. En este punto, el ángulo de fase alcanza un valor máximo de alrededor de  $33.5^\circ$ . Este pico, aunque presente, es más bajo que el observado en la mezcla convencional (aproximadamente  $39^\circ$ ). Esto podría indicar que la mezcla modificada presenta una menor contribución de la componente puramente viscosa en su punto de equilibrio viscoelástico.

**Extremo Derecho (Altos valores de  $\text{Log}(|E^*|)$ ):** estos puntos corresponden a condiciones de baja temperatura y/o alta frecuencia, donde el módulo dinámico es alto (material rígido). En esta región ( $\text{Log}(|E^*|)$  alrededor de 3.8 - 4.0), el ángulo de fase disminuye significativamente, alcanzando valores entre aproximadamente  $17^\circ$  y  $22^\circ$ . Estos valores son ligeramente más altos que los observados en la mezcla convencional en el extremo de alta rigidez (alrededor de  $14^\circ$  -  $25^\circ$ ). Esto podría sugerir que la mezcla modificada retiene una mayor componente viscosa a bajas

temperaturas y altas frecuencias, lo que podría influir en su comportamiento frente al agrietamiento.

### Análisis De Angulo De Fase Vs Rigidez

*Región izquierda* ( $\log|E| < 2.7$ ): Ángulo de fase más bajo ( $\sim 25^\circ$ – $31^\circ$ ) → **Dominio elástico**, el material es más rígido y almacena más energía.

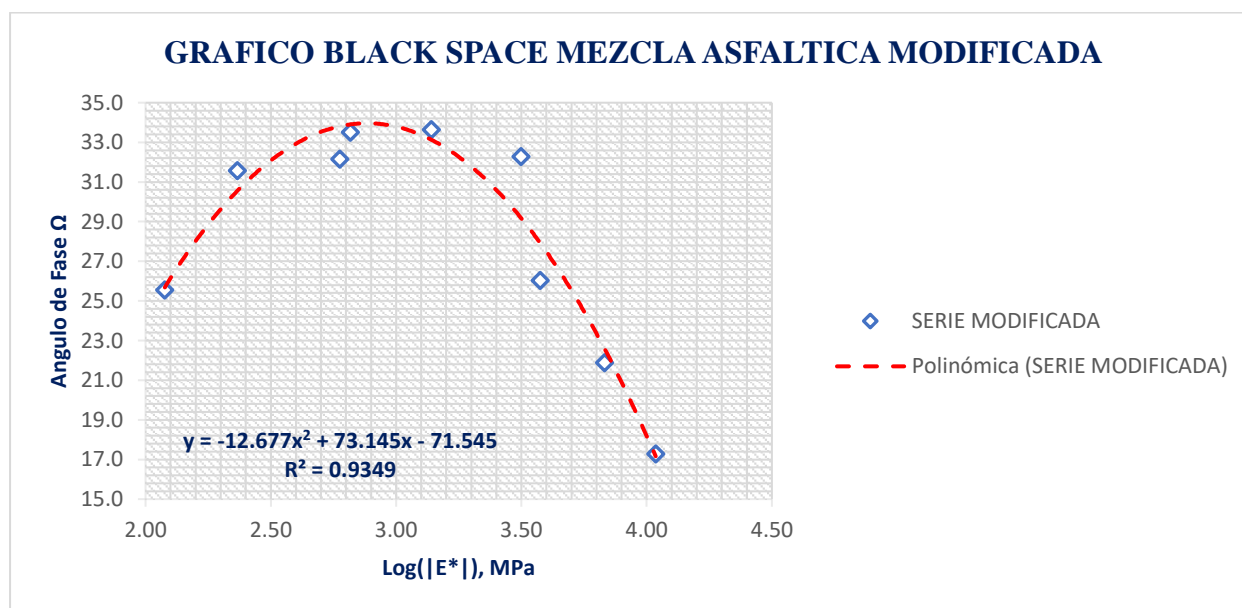
*Región central* ( $\log|E| \approx 3.0$ ): Máximo ángulo de fase ( $\sim 33.5^\circ$ ) → **Máxima disipación de energía**, comportamiento **más viscoelástico**.

*Región derecha* ( $\log|E| > 3.5$ ): El ángulo de fase cae drásticamente hasta  $\sim 17^\circ$  → La mezcla se vuelve **más elástica nuevamente**, posible endurecimiento o pérdida de fluidez a alta rigidez.

La mezcla modificada presenta un comportamiento viscoelástico bien definido con un máximo del ángulo de fase mayor al de muchas mezclas convencionales, lo cual indica que el polímero ha mejorado la capacidad de disipación de energía, aumentando su resistencia a agrietamientos por fatiga y deformaciones plásticas. Este gráfico sugiere que la modificación ha sido efectiva para mejorar el desempeño mecánico del material frente a sollicitaciones cíclicas.

### Figura 97

*Curva Black Space módulo (Mpa) vs. ángulo de fase ( $^\circ$ ) mezcla modificada*



### – Curvas Cole Cole Modulo Dinámico Modificado

Se observa en el gráfico una curva única que representa el comportamiento reológico de la mezcla que relaciona de buena manera el módulo de almacenamiento entre el módulo de pérdida dentro de las frecuencias estudiadas que refleja el comportamiento viscoelástico de la mezcla; a bajas partes elásticas hay bajas partes viscosas lo que representa un material viscoso; mientras aumenta el valor también incrementan sus valores lo cual indica un nivel bueno de disipación de energía que se interpreta como buena recuperación ante cargas.

#### **Análisis E Interpretación De La Curva:**

**Forma General:** La gráfica muestra la relación entre la parte elástica ( $|E|$  Parte Elástica,  $E'$ ) en el eje horizontal y la parte viscosa ( $|E|$  Parte Viscosa,  $E''$ ) en el eje vertical del módulo complejo. Los puntos azules describen una curva que se inicia cerca del origen y se extiende hacia valores más altos de  $E'$ , con una concavidad hacia abajo, similar a la mezcla convencional. Esta forma indica un comportamiento viscoelástico donde la proporción entre las componentes elástica y viscosa varía con la frecuencia (implícita en los puntos).

**Comportamiento a Bajas Frecuencias (Extremo Izquierdo del Arco):** Los puntos en la región cercana al origen representan el comportamiento de la mezcla modificada a bajas frecuencias de carga. En estas condiciones, tanto la componente elástica ( $E'$ ) como la componente viscosa ( $E''$ ) los valores son inicialmente bajos, pero se incrementan progresivamente al avanzar hacia la derecha en la curva (frecuencias más altas).

**Comportamiento a Frecuencias Intermedias (Punto de Máximo  $E''$ ):** A medida que la frecuencia aumenta, la parte viscosa ( $E''$ ) alcanza un valor máximo en algún punto a lo largo de la curva. Este pico representa la frecuencia donde la disipación de energía es más significativa, indicando una transición importante en el comportamiento viscoelástico de la mezcla modificada. La magnitud de este pico y su ubicación en el eje  $E'$  son características importantes de la respuesta del material.

**Comportamiento a Altas Frecuencias (Extremo Derecho del Arco):** En el extremo derecho de la curva, correspondiente a las frecuencias de ensayo más altas, la parte elástica ( $E'$ ) alcanza sus valores máximos, lo que sugiere que la mezcla modificada se comporta de manera

más rígida y elástica bajo cargas rápidas. La parte viscosa ( $E''$ ) también sigue aumentando, pero la tasa de incremento puede cambiar.

**Desviación de un Semicírculo:** Al igual que la mezcla convencional, la curva para la mezcla modificada tampoco traza un semicírculo perfecto centrado en el eje  $E'$ . Esta desviación indica una **distribución de tiempos de relajación**, sugiriendo que existen múltiples procesos moleculares o estructurales que contribuyen a la respuesta viscoelástica en diferentes escalas de tiempo. La forma específica de la curva (el grado de aplanamiento o la posición del centro del círculo al que pertenece el arco) puede proporcionar información sobre el ancho de esta distribución.

**Ajuste Polinómico:** La curva de ajuste polinómico de tercer grado (línea roja discontinua) con un coeficiente de determinación  $R^2=0.9955$  muestra un excelente ajuste a los datos experimentales. Si bien esta curva describe la tendencia general, un ajuste a un modelo viscoelástico fundamental (como el modelo de Cole-Cole, que implica un arco de círculo) permitiría una interpretación más física en términos de tiempos de relajación y módulos límite.

La gráfica Cole-Cole para la mezcla asfáltica modificada revela un comportamiento viscoelástico con una distribución de tiempos de relajación, similar a la mezcla convencional. La curva describe la evolución de las componentes elástica y viscosa del módulo complejo con la frecuencia implícita, mostrando una región de máxima disipación de energía. La forma del arco sugiere la naturaleza de la distribución de los tiempos de relajación, que podremos analizar con mayor detalle una vez que tengamos el ajuste circular.

### **Análisis de Parte Real ( $E'$ ) vs. Parte Imaginaria ( $E''$ ):**

A bajas rigideces ( $E' < \sim 2000$  MPa): Se observa un incremento significativo de la parte imaginaria ( $E''$ ) a medida que aumenta la parte real ( $E'$ ). Esto indica que, en condiciones de menor rigidez, el comportamiento de la mezcla modificada está dominado por su componente viscoso. La mezcla presenta una mayor capacidad para fluir y disipar energía en forma de calor, comportándose de manera más blanda.

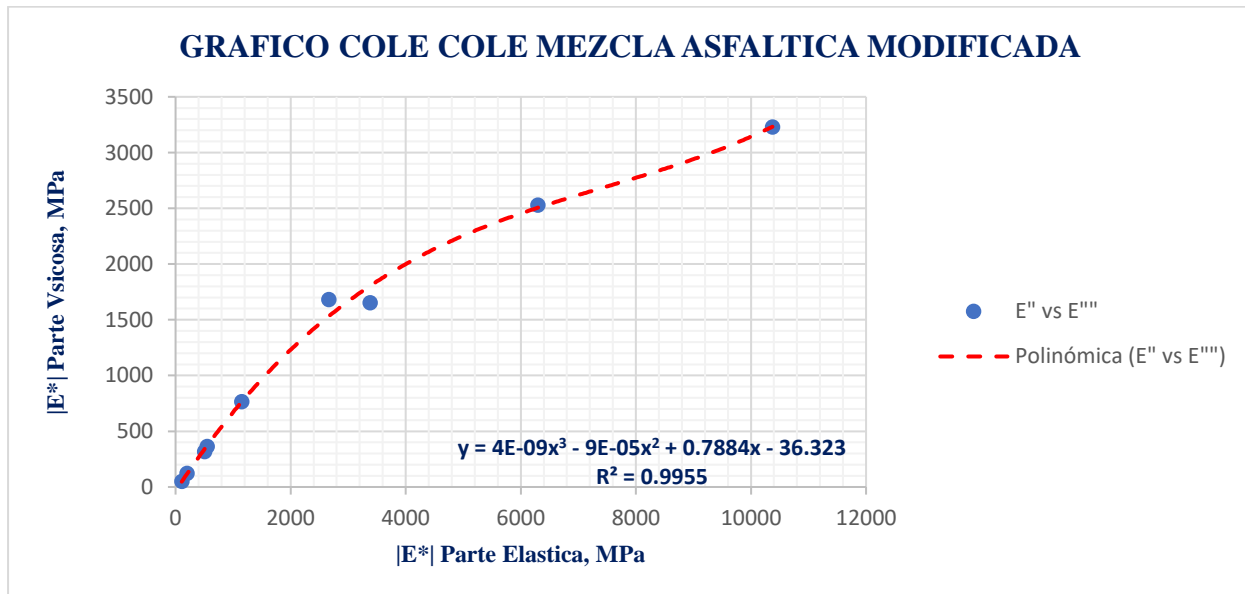
A rigideces intermedias ( $\sim 2000 - \sim 8000$  MPa): En este rango, la parte imaginaria ( $E''$ ) continúa aumentando con la parte real ( $E'$ ), pero a una tasa menor en comparación con la zona de bajas rigideces. Esto sugiere que la mezcla experimenta un equilibrio más pronunciado entre su

capacidad para almacenar energía elásticamente y su habilidad para disipar energía viscosamente. El comportamiento viscoelástico es más evidente.

A altas rigideces ( $E' > \sim 8000$  MPa): Se aprecia una tendencia a la estabilización o incluso una ligera disminución en la tasa de aumento de la parte imaginaria ( $E''$ ) con el incremento de la parte real ( $E'$ ). Esto podría interpretarse como una indicación de que, a medida que la mezcla se vuelve más rígida, su capacidad adicional para disipar energía no crece proporcionalmente. En estas condiciones, la mezcla tiende a comportarse más como un sólido elástico, con una menor capacidad de amortiguación.

**Figura 98**

*Curva Cole-Cole  $E^*$  (elástica) vs.  $E^{**}$  (viscosa) mezcla modificada*



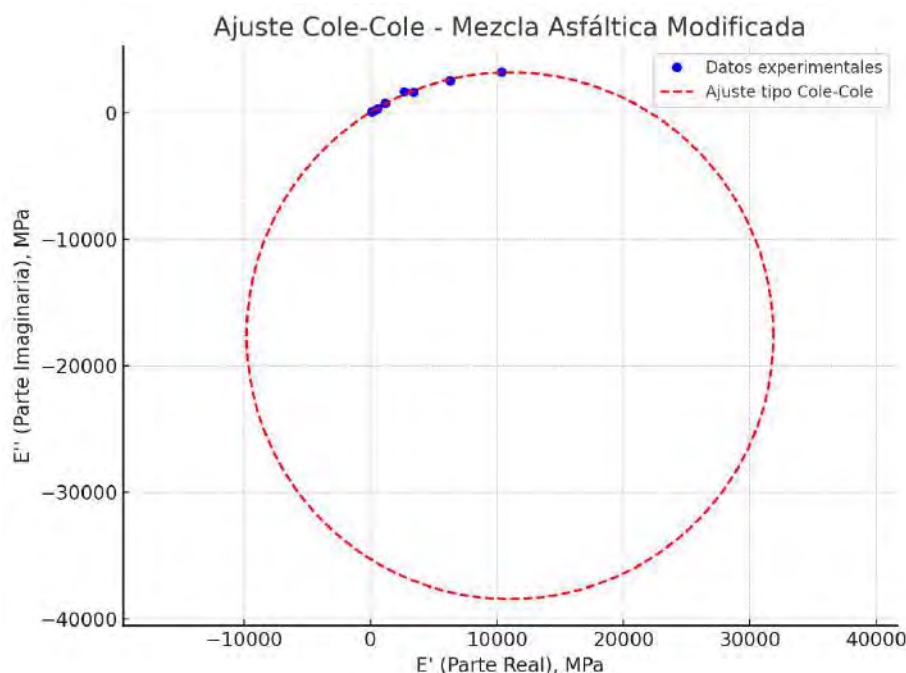
### Ajuste y calibración del modelo Cole-Cole:

El gráfico Cole-Cole de la mezcla asfáltica modificada muestra un arco de círculo ajustado a los datos experimentales, donde la posición del centro por debajo del eje  $E'$  indica una distribución de tiempos de relajación. La extensión del arco, definida por el radio del círculo, sugiere el rango de rigidez que experimenta el material en las frecuencias de ensayo. Las desviaciones de los puntos experimentales con respecto al círculo ideal revelan la complejidad de los mecanismos de relajación presentes en la mezcla modificada, implicando que diferentes componentes estructurales responden a la deformación a diferentes velocidades, lo cual es

característico de materiales poliméricos con interacciones moleculares diversas. La forma y los parámetros del círculo (centro y radio) encapsulan la respuesta viscoelástica global y la distribución de los tiempos característicos asociados con los procesos de relajación a nivel molecular y estructural dentro de la mezcla modificada.

### Figura 99

*Calibración y ajuste de Cole-Cole de mezcla asfáltica modificada*



#### – Curva Maestra Del Módulo Dinámico Modificado

##### Análisis De La Curva Maestra:

La curva maestra del módulo dinámico, construida a 20 °C como temperatura de referencia, integra el comportamiento de la mezcla modificada a diversas temperaturas y frecuencias de carga en una única representación. El eje de frecuencia reducida actúa como un eje maestro de tiempo y temperatura: **bajas frecuencias reducidas equivalen a condiciones de alta temperatura o tiempos de carga prolongados, mientras que altas frecuencias reducidas corresponden a bajas temperaturas o tiempos de carga breves.**

**Régimen de Bajas Frecuencias Reducidas (<10–3 Hz):** En esta zona, donde el módulo dinámico es relativamente bajo (alrededor de 18 MPa), la mezcla modificada, bajo **condiciones**

de altas temperaturas (simulando un día caluroso de verano,  $> 40^{\circ}\text{C}$ ) o tráfico muy lento o detenido, exhibe una **rigidez mayor** que la mezcla convencional en esta región. Esto sugiere una **mejor resistencia potencial al ahuellamiento** bajo estas condiciones críticas en comparación con la mezcla convencional.

**Régimen de Frecuencias Reducidas Intermedias (10–3 a 103 Hz):** Este rango representa las **condiciones de servicio más comunes**, abarcando **temperaturas moderadas (cercanas a la temperatura de referencia de  $20^{\circ}\text{C}$ )** y **velocidades de tráfico típicas** (desde la marcha lenta de camiones hasta la circulación más rápida de automóviles). El aumento significativo del módulo dinámico (de aproximadamente 18 MPa a 41,879 MPa) indica que la rigidez de la mezcla modificada también es dependiente de la velocidad de carga y la temperatura. La **pendiente ligeramente más pronunciada** en esta zona, en comparación con la mezcla convencional, sugiere una **mayor sensibilidad a las variaciones de temperatura y velocidad de carga** en este rango de servicio.

**Régimen de Altas Frecuencias Reducidas ( $>103\text{ Hz}$ ):** En esta región, con un módulo dinámico elevado (cercano a 41,879 MPa), la mezcla simula el comportamiento bajo **condiciones de bajas temperaturas (típicas de invierno,  $< 5^{\circ}\text{C}$ )** o **cargas de impacto muy rápidas**. La **alta rigidez**, similar a la mezcla convencional, proporciona una buena resistencia a la deformación inmediata, pero podría implicar una **susceptibilidad al agrietamiento** si la mezcla no puede relajarse adecuadamente bajo carga a bajas temperaturas.

#### **Análisis Del Ajuste Sigmodial:**

$\delta=1.26$  (Módulo  $\approx 18.2\text{ MPa}$ ): Representa una rigidez mayor a altas temperaturas/cargas lentas en comparación con la mezcla convencional, lo que indica una menor susceptibilidad al ahuellamiento.

$\text{Max}=4.62$  (Módulo  $\approx 41,879\text{ MPa}$ ): Representa una rigidez ligeramente mayor a bajas temperaturas/cargas rápidas en comparación con la mezcla convencional, lo que sugiere una fragilidad y riesgo de agrietamiento similar o ligeramente mayor.

$\beta=-0.30$ : Posiciona la zona de transición de la curva a frecuencias reducidas más altas en comparación con la mezcla convencional, indicando que la transición del comportamiento viscoso a elástico ocurre a temperaturas equivalentes más bajas o velocidades de carga más rápidas.

$\gamma = -0.44$ : Define una pendiente ligeramente más pronunciada en la zona de transición en comparación con la mezcla convencional, lo que implica una mayor sensibilidad de la rigidez a los cambios de temperatura y velocidad de carga en las condiciones típicas de servicio.

### Análisis Final De La Curva Maestra:

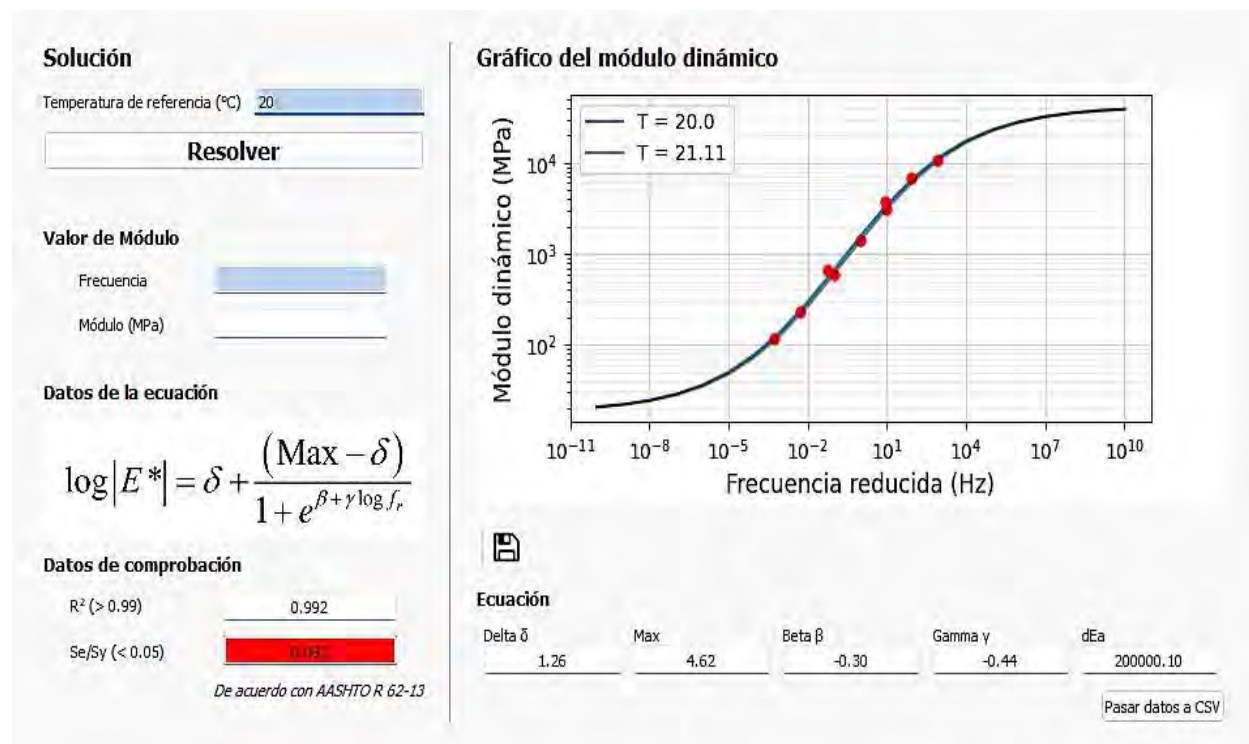
Bajo **altas temperaturas y tráfico lento**, la **mayor rigidez** sugiere una **mejor resistencia al ahuellamiento** en comparativa con la MAC convencional.

Dentro de las **temperaturas y velocidades de tráfico moderadas**, la **mayor sensibilidad a las condiciones** requiere una consideración cuidadosa del equilibrio entre rigidez y flexibilidad para un buen desempeño general.

A **bajas temperaturas y cargas rápidas**, la **alta rigidez** podría también comprometer la **resistencia al agrietamiento**, similar a la mezcla convencional.

**Figura 100**

*Curva maestra de mezcla asfáltica modificada – F. sigmoidal Pitra ImoDin*





### 5.4 Resultados del Análisis Estadístico

A partir de la malla 3×3 (tres temperaturas: 5, 20 y 40 °C; y tres frecuencias: 0.1, 1 y 10 Hz) aplicada a cada probeta de ambas mezclas —convencional y modificada con SBS 4 %— transformamos el módulo dinámico  $E^*$  a  $\log_{10}(E^*)$  para trabajar en escala estabilizada y cumplir supuestos. Sobre esta variable verificamos normalidad (Shapiro–Wilk por tipo) y describimos tendencia y dispersión por grupo. Luego evaluamos los factores térmicos y de frecuencia mediante ANOVA de Welch con Games–Howell (y su respaldo no paramétrico con Kruskal–Wallis), y finalmente estimamos el efecto del polímero con un modelo UNIANOVA:  $\log_{10}(E^*) \sim \text{Tipo} + \text{Temperatura} + \text{Frecuencia} (+ \text{interacciones})$ , reportando intervalos de confianza, tamaños de efecto ( $\eta^2$  parcial) y comparaciones de medias marginales.

Con este enfoque, los resultados muestran que la temperatura ejerce un efecto marcado (5 °C > 20 °C > 40 °C), mientras que la frecuencia no presenta diferencias concluyentes en los análisis simples. Lo central es que, controlando temperatura y frecuencia, el Tipo de mezcla resulta significativo: la mezcla Modificada (SBS 4 %) presenta mayor  $\log_{10}(E^*)$  que la Convencional (UNIANOVA,  $p \approx 0.041$ ;  $\eta^2$  parcial  $\approx 0.42$ ). La comparación de medias marginales indica una diferencia  $\approx 0.139$  en  $\log_{10}(E^*)$ , que corresponde a un incremento aproximado de +38 % del módulo en escala original, evidenciando que el polímero SBS eleva de forma estadísticamente significativa la rigidez dinámica de la mezcla modificada bajo las condiciones ensayadas.

**Tabla 158**

*Resumen de parámetros obtenidos de mezcla modificada y convencional*

MODIFICADO			CONVENCIONAL		
T (°C)	Fr (Hz)	E (Mpa)	T (°C)	Fr (Hz)	E (Mpa)
5	0.1	3765.00	5	0.1	5471.00
5	1.0	6786.00	5	1.0	9080.00
5	10	10864.00	5	10	13694.00
20	0.1	595.00	20	0.1	1043.00
20	1.0	1384.00	20	1.0	2498.00
20	10	3149.00	20	10	5253.00
40	0.1	119.00	40	0.1	96.00
40	1.0	232.00	40	1.0	277.00
40	10	657.00	40	10	934.00

### 5.4.1 Estadística Descriptiva

Este cuadro resume la distribución del  $\log_{10}(\text{Módulo dinámico } E^*)$  por tipo de mezcla (Convencional vs Modificada con SBS 4 %). Incluye media, mediana, varianza, desviación estándar, rango e IC95% de la media. Usamos  $\log_{10}(E^*)$  para estabilizar la varianza y aproximar la normalidad antes de aplicar pruebas inferenciales.

**Tabla 159**

*Parámetros estadísticos descriptivos para mezcla convencional y modificada*

Descriptivos			
Tipo de mezcla (0 Convencional, 1 Modificado)		Estadístico	Error estándar
Log10 (Módulo dinámico $E^*$ )	Convencional	Media	3,262
		95% de intervalo de confianza para la media	
		Límite inferior	2,708
		Límite superior	3,816
		Media recortada al 5%	3,285
		Mediana	3,397
		Varianza	,520
		Desviación estándar	,720
		Mínimo	1,982
		Máximo	4,136
		Rango	2,154
		Rango intercuartil	1,141
		Asimetría	-,635
		Curtosis	-,543
			1,400
	Modificado	Media	3,123
		95% de intervalo de confianza para la media	
		Límite inferior	2,610
		Límite superior	3,637
		Media recortada al 5%	3,131
		Mediana	3,141
		Varianza	,446
		Desviación estándar	,667
		Mínimo	2,075
		Máximo	4,036
		Rango	1,960
		Rango intercuartil	1,133
		Asimetría	-,217
		Curtosis	-1,114
			1,400

- Las medias del módulo dinámico decrecen al aumentar la temperatura, patrón esperado en ambas mezclas (comportamiento viscoelástico típico).
- La mezcla Modificada (SBS 4 %) muestra mayor rigidez respecto a la Convencional: en el análisis ajustado (UNIANOVA) la diferencia de medias marginales es +0.139 en  $\log_{10}(E^*)$  ( $p \approx 0.041$ ), equivalente a  $\approx +38\%$  de  $E^*$  en escala original  $\rightarrow$  el polímero incrementa el módulo dinámico.
- La desviación estándar/varianza es baja y similar entre tipos (Convencional  $\approx 0.520$ ; Modificada  $\approx 0.446$ ), lo que indica buena precisión y resultados ligeramente más estables en la mezcla modificada.
- Asimetría y curtosis dentro de rangos razonables y Shapiro–Wilk no significativo por tipo  $\rightarrow$  la distribución de  $\log_{10}(E^*)$  es compatible con normalidad, por lo que proceden pruebas paramétricas; se reportan no paramétricas como respaldo por el tamaño muestral.

#### 5.4.2 Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk

Contrasta si la variable  $\log_{10}(\text{Módulo dinámico } E^*)$  en cada tipo de mezcla se comporta como normal. Si  $p > 0.05$  no se rechaza normalidad. La normalidad permite aplicar pruebas paramétricas (ANOVA/UNIANOVA, t-tests) y comparar de forma válida el efecto del SBS 4 %.

**Tabla 160**

*Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk ( $p < 0.05$ )*

		Pruebas de normalidad						
		Tipo de mezcla (0 Convencional, 1 Modificado)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
			Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
log10 (Módulo dinámico E*)	Convencional	,182	9	,200*	,941	9	,597	
	Modificado	,157	9	,200*	,962	9	,824	

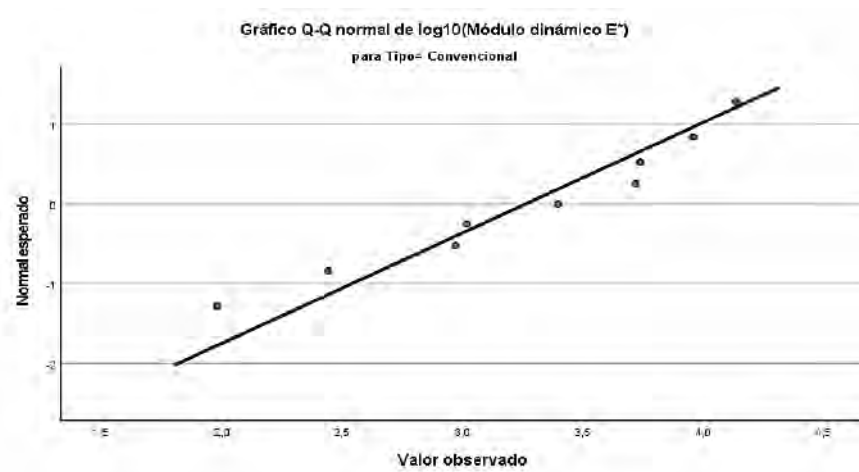
\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

- Normalidad aceptada en ambos grupos: Shapiro–Wilk  $p = 0.597$  (Convencional) y  $p = 0.824$  (Modificado)  $\Rightarrow$  no se rechaza normalidad en  $\log_{10}(E^*)$ .
- Transformación correcta: trabajar en  $\log_{10}(E^*)$  estabiliza la variabilidad y cumple supuestos; los resultados del UNIANOVA que demuestran el incremento del módulo por el SBS 4 % serán estadísticamente válidos.

**Figura 101**

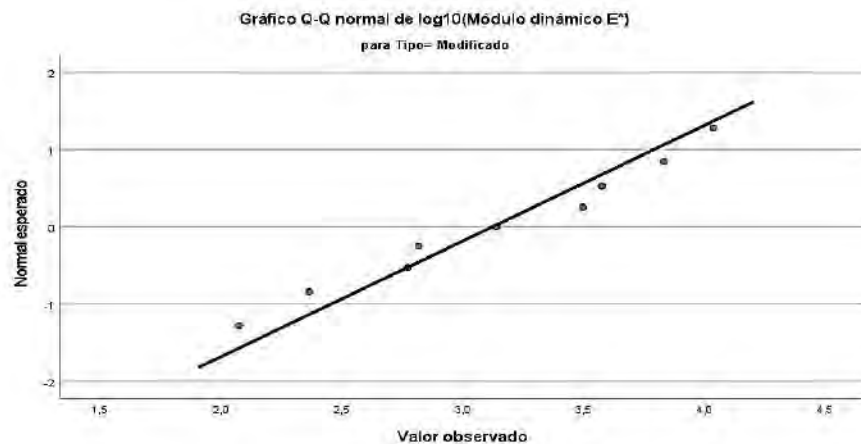
*Gráficas de normalidad mezcla convencional*



- Los puntos siguen de forma razonable la línea de referencia; se observa solo una leve desviación en las colas, esperable con  $n=9$ . Esto respalda que  $\log_{10}(E^*)$  en el grupo Convencional es compatible con normalidad, coherente con Shapiro–Wilk  $p=0.597$ ; por tanto, proceden las pruebas paramétricas en este grupo.

**Figura 102**

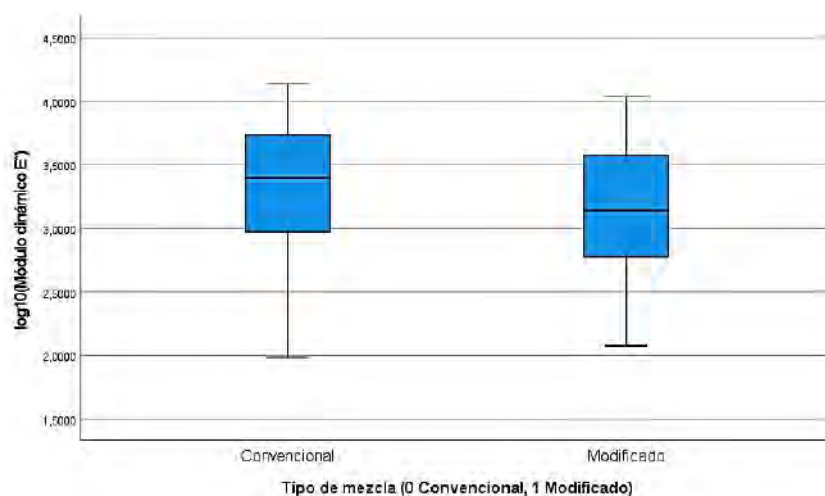
*Gráficas de normalidad mezcla modificada*



- La nube de puntos se alinea bien con la diagonal, con pequeñas separaciones en los extremos. En conjunto, el ajuste visual es bueno y consistente con Shapiro–Wilk  $p=0.824$ , confirmando normalidad aceptable en el Modificado y la validez del análisis paramétrico sobre  $\log_{10}(E^*)$ .

**Figura 103**

*Gráficas de boxplot mezcla convencional y modificada*



#### 5.4.3 Prueba de ANOVA de Welch

Evaluamos si el módulo dinámico (en  $\log_{10}(E^*)$ ) cambia entre 5, 20 y 40 °C. Primero se presentan descriptivos (medias e IC95%) por temperatura. Luego se contrasta la igualdad de varianzas con Levene; si la homogeneidad es dudosa, se reporta el ANOVA de Welch, que es robusto a varianzas desiguales. Esta prueba nos indica si la temperatura explica diferencias en el módulo; después, ese efecto térmico se controla en el UNIANOVA para aislar el impacto del SBS 4 %.

**Tabla 161**

*Prueba ANOVA de Welch para temperaturas*

Descriptivos								
log10(Módulo dinámico E*)								
	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% de intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
5,00	6	3,879	,205	,083	3,663	4,095	3,575	4,136
20,00	6	3,258	,345	,140	2,896	3,620	2,774	3,720
40,00	6	2,442	,392	,160	2,030	2,854	1,982	2,970
Total	18	3,193	,677	,159	2,856	3,530	1,982	4,136

**Pruebas de homogeneidad de varianzas**

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Log10 (Módulo dinámico E*)	Se basa en la media	1,223	2	15	,322
	Se basa en la mediana	1,190	2	15	,331
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	1,190	2	11	,339
	Se basa en la media recortada	1,222	2	15	,322

**ANOVA**

log10(Módulo dinámico E*)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	6,233	2	3,117	29,611	,000
Dentro de grupos	1,579	15	,105		
Total	7,812	17			

**Pruebas robustas de igualdad de medias**

log10(Módulo dinámico E*)				
	Estadístico <sup>a</sup>	gl1	gl2	Sig.
Welch	31,168	2	9,178	,000

a. F distribuida de forma asintótica

- Las medias a 5 °C la media de log10(E\*) es 3.879; a 20 °C baja a 3.259; y a 40 °C cae a 2.443. Es decir, a mayor temperatura, menor módulo. Exactamente lo que esperamos en un material viscoelástico: al calentarse, se ablanda.
- Las varianzas se comparan con Levene p=0.322 indica que las dispersiones entre 5–20–40 °C no difieren de forma relevante. Igual mostramos Welch para ir sobre seguro.
- Welch nos da la diferencia de temperaturas, F=31.168, p<0.001 confirma que las tres temperaturas no tienen el mismo promedio: el orden es 5 °C > 20 °C > 40 °C.
- La temperatura es un factor fuerte sobre el módulo. Si mezcláramos datos de distintas T sin controlarlas, podríamos esconder o confundir el efecto del polímero.

Repetimos el esquema, ahora por frecuencia (0.1, 1 y 10 Hz): primero vemos descriptivos y probamos homogeneidad con Levene; luego usamos ANOVA y su versión robusta de Welch para decidir si existen diferencias globales. Si el contraste global no es significativo, los post-hoc (Games–Howell) sirven solo como referencia, ya que no esperamos diferencias firmes entre pares.

**Tabla 162***Prueba ANOVA de Welch para frecuencias*

<b>Descriptivos</b>								
log10(Módulo dinámico E*)								
	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% de intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
,100	6	2,860	,735	,300	2,089	3,632	1,982	3,738
1,000	6	3,189	,676	,276	2,479	3,898	2,365	3,958
10,000	6	3,529	,544	,222	2,958	4,101	2,817	4,136
Total	18	3,193	,677	,159	2,856	3,530	1,982	4,136

Pruebas de homogeneidad de varianzas						
			Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
log10 (Módulo dinámico E*)	Se basa en la media		,340	2	15	,717
	Se basa en la mediana		,323	2	15	,729
	Se basa en la mediana y con gl ajustado		,323	2	14	,729
	Se basa en la media recortada		,340	2	15	,717

<b>ANOVA</b>					
log10(Módulo dinámico E*)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1,343	2	,672	1,557	,243
Dentro de grupos	6,469	15	,431		
Total	7,812	17			

<b>Pruebas robustas de igualdad de medias</b>				
log10 (Módulo dinámico E*)				
	Estadístico <sup>a</sup>	gl1	gl2	Sig.
Welch	1,550	2	9,828	,260

a. F distribuida de forma asintótica

- Descriptivos: las medias suben con la frecuencia ( $\approx 2.861$  a 0.1 Hz, 3.184 a 1 Hz, 3.530 a 10 Hz), pero los IC95% se solapan bastante.
- Levene ( $p \approx 0.717$ ): las varianzas entre 0.1–1–10 Hz son comparables.
- ANOVA/Welch: F de Welch = 1.550,  $p = 0.260 \Rightarrow$  no hay evidencia suficiente de diferencias globales por frecuencia en  $\log_{10}(E^*)$  con este tamaño muestral.

#### 5.4.4 Prueba de Post Hoc de Games-Howell

Tras confirmar con ANOVA/Welch que hay diferencias entre 5, 20 y 40 °C, aplicamos Games–Howell para saber entre qué pares se encuentran esas diferencias. Este Post-Hoc es apropiado cuando las varianzas pueden no ser iguales y cuando los tamaños de muestra por grupo son pequeños/iguales, como en nuestra malla 3×3.

**Tabla 163**

*Prueba Post Hoc para temperaturas (comparación)*

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Log10(Módulo dinámico E*) Games-Howell						
(I) Temperatura (°C)	(J) Temperatura (°C)	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
5,00	20,00	,620	,164	,013	,154094	1,087887
	40,00	1,437	,181	,000	,913248	1,960870
20,00	5,00	-,620	,164	,013	-1,087887	-,154094
	40,00	,816	,213	,009	,229191	1,402946
40,00	5,00	-1,437	,181	,000	-1,960870	-,913248
	20,00	-,816	,213	,009	-1,402946	-,229191

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

- 5 °C vs 20 °C: diferencia de medias +0.621 en log10(E\*) (p=0.013) ⇒ a 5 °C el módulo es notablemente mayor que a 20 °C.
- 5 °C vs 40 °C: diferencia +1.438 (p<0.001) ⇒ el salto térmico es muy marcado; el material se ablanda al subir a 40 °C.
- 20 °C vs 40 °C: diferencia +0.817 (p=0.009) ⇒ aun entre 20 y 40 °C hay pérdida clara de rigidez.
- La temperatura ordena los resultados en el sentido esperado (5>20>40 °C). Por eso, cuando queramos aislar el efecto del polímero, debemos controlar la temperatura (y la frecuencia) en el modelo UNIANOVA.



**Tabla 164***Prueba Post Hoc para frecuencias (comparación)*

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: log10(Módulo dinámico E*) Games-Howell						
(I) Frecuencia (Hz)	(J) Frecuencia (Hz)	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
,100	1,000	-,328	,407	,708	-1,447	,790
	10,000	-,669	,373	,225	-1,707	,369
1,000	,100	,328	,407	,708	-,790	1,447
	10,000	-,340	,354	,617	-1,319	,638
10,000	,100	,669	,373	,225	-,369	1,707
	1,000	,340	,354	,617	-,638	1,319

- La frecuencia influye menos que la temperatura en estos ensayos. En el informe, este resultado respalda que el efecto del polímero debe evaluarse ajustando por T y f, y que el peso fuerte lo tiene T; al hacer ese ajuste en UNIANOVA, se observa que la mezcla modificada (SBS 4%) presenta módulo superior al de la convencional a la misma T y f.

#### 5.4.5 Prueba de Kruskal-Wallis

Kruskal–Wallis compara medianas entre 5, 20 y 40 °C usando rangos (no exige normalidad). Sirve como respaldo del ANOVA/Welch: si el resultado es significativo, confirma que la temperatura cambia el módulo (en log10(E\*)). Después, ese efecto se controla en el UNIANOVA para evaluar limpiamente el aporte del SBS 4 %.

**Tabla 165***Prueba Kruskal-Wallis para temperaturas (comparación)*

Rangos			
Grupo de Temperatura (5,20,40 °C)		N	Rango promedio
log10 (Módulo dinámico E*)	5 °C	6	15,33
	20 °C	6	9,33
	40 °C	6	3,83
	Total	18	

**Estadísticos de prueba<sup>a,b</sup>**

	log10(Módulo dinámico E*)
H de Kruskal-Wallis	13,930
gl	2
Sig. asin.	,001

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: Grupo de Temperatura (5,20,40 °C)

- Los rangos promedio siguen el orden 5 °C = 15.33 > 20 °C = 9.33 > 40 °C = 3.83, mostrando que el módulo es más alto a menor temperatura.
- La prueba arroja  $H = 13.930$ ,  $p < 0.001$ , por lo que hay diferencias significativas entre las tres temperaturas.
- El material pierde rigidez al calentarse, tal como se vio con Welch. Por eso, para demostrar el efecto del polímero, debemos ajustar por temperatura (y frecuencia) en el UNIANOVA; allí se evidencia que la mezcla modificada (SBS 4 %) mantiene un módulo mayor que la convencional a igual T y f.

Kruskal–Wallis contrasta las medianas de  $\log_{10}(E^*)$  entre 0.1, 1 y 10 Hz usando rangos.

Es el análogo no paramétrico del ANOVA: si no resulta significativo, no hay evidencia.

**Tabla 166***Prueba Kruskal-Wallis para frecuencias (comparación)*

		Rangos	
Grupo de Frecuencia (1=0.1 Hz, 2=1 Hz, 3=10 Hz)		N	Rango promedio
log10 (Módulo dinámico E*)	0.1 Hz	6	7,00
	1 Hz	6	9,50
	10 Hz	6	12,00
	Total	18	

**Estadísticos de prueba<sup>a,b</sup>**

	log10(Módulo dinámico E*)
H de Kruskal-Wallis	2,632
gl	2
Sig. asin.	,268

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: Grupo de Frecuencia  
(1=0.1 Hz, 2=1 Hz, 3=10 Hz)

- Los rangos promedio aumentan con la frecuencia ( $0.1 \text{ Hz} = 7.00 < 1 \text{ Hz} = 9.50 < 10 \text{ Hz} = 12.00$ ), lo que sugiere un módulo algo mayor a frecuencias altas.
- Sin embargo, la prueba da  $H = 2.632$ ,  $p = 0.268$ , por lo que no hay evidencia estadística suficiente para afirmar diferencias entre 0.1, 1 y 10 Hz en  $\log_{10}(E^*)$ .
- Con estos datos, la frecuencia tiene un efecto menor/no concluyente frente al impacto fuerte de la temperatura. Por eso, para demostrar el efecto del polímero (SBS 4 %), mantenemos T y f controladas en el UNIANOVA, donde se observa que la mezcla modificada alcanza mayor módulo que la convencional a la misma T y f.

#### 5.4.6 Prueba de UNIANOVA

El UNIANOVA permite estimar el efecto del Tipo de mezcla (Convencional vs Modificada con SBS 4 %) sobre  $\log_{10}(E^*)$  controlando a la vez la Temperatura (5, 20, 40 °C) y la Frecuencia (0.1, 1, 10 Hz). Este modelo entrega pruebas F, p-valor y  $\eta^2$  parcial (tamaño de efecto) para cada factor e interacción, y reporta Medias Marginales Estimadas (EMMEANS) para comparar los tipos a la misma T y f. Es la evidencia central del informe porque elimina el sesgo de mezclar condiciones y muestra el impacto propio del polímero.

**Tabla 167**

*Prueba UNIANOVA mezcla modificada y convencional*

Factores inter-sujetos			
		Etiqueta de valor	N
Tipo de mezcla	0	Convencional	9
	1	Modificado	9
Temperatura (°C)	5,00		6
	20,00		6
	40,00		6
Frecuencia (Hz)	,100		6
	1,000		6
	10,000		6

**Estadísticos descriptivos**Variable dependiente:  $\log_{10}(\text{Módulo dinámico } E^*)$ 

Tipo de mezcla	Temperatura (°C)	Frecuencia (Hz)	Media	Desv. Desviación	N
Convencional	5,00	,100	3,738	.	1
		1,000	3,958	.	1
		10,000	4,136	.	1
		Total	3,944	,199	3
	20,00	,100	3,018	.	1
		1,000	3,397	.	1
		10,000	3,720	.	1
		Total	3,378	,351	3
	40,00	,100	1,982	.	1
		1,000	2,442	.	1
		10,000	2,970	.	1
		Total	2,465	,494	3
	Total	,100	2,912	,882	3
		1,000	3,266	,766	3
		10,000	3,609	,591	3
		Total	3,262	,720	9
Modificado	5,00	,100	3,575	.	1
		1,000	3,831	.	1
		10,000	4,035	.	1
		Total	3,814	,230	3
	20,00	,100	2,774	.	1
		1,000	3,141	.	1
		10,000	3,498	.	1
		Total	3,137	,361	3
	40,00	,100	2,075	.	1
		1,000	2,365	.	1
		10,000	2,817	.	1
		Total	2,419	,373	3
	Total	,100	2,808	,750	3
		1,000	3,112	,733	3
		10,000	3,450	,610	3
		Total	3,123	,667	9

**Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error<sup>a</sup>**

Variable dependiente: log10(Módulo dinámico E\*)

F	gl1	gl2	Sig.
.	17	0	.

Prueba la hipótesis nula de que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos.

a. Diseño: Intersección + Tipo + TempC + FreqHz + Tipo \* TempC + Tipo \* FreqHz

**Pruebas de efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: log10(Módulo dinámico E\*)

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado
Modelo corregido	7,695 <sup>a</sup>	9	,855	58,163	,000	,985
Intersección	183,552	1	183,552	12486,983	,000	,999
Tipo	,087	1	,087	5,889	,041	,424
TempC	6,233	2	3,117	212,031	,000	,981
FreqHz	1,343	2	,672	45,689	,000	,919
Tipo * TempC	,029	2	,014	,979	,416	,197
Tipo * FreqHz	,003	2	,001	,091	,914	,022
Error	,118	8	,015			
Total	191,364	18				
Total, corregido	7,812	17				

a. R al cuadrado = ,985 (R al cuadrado ajustada = ,968)

**Estimaciones**

Variable dependiente: log10(Módulo dinámico E\*)

Tipo de mezcla	Media	Desv. Error	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Convencional	3,263	,040	3,169	3,356
Modificado	3,124	,040	3,031	3,217

### Comparaciones por parejas

Variable dependiente:  $\log_{10}(\text{Módulo dinámico } E^*)$

(I) Tipo de mezcla (0 Convencional, 1 Modificado)	(J) Tipo de mezcla (0 Convencional, 1 Modificado)	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig. <sup>b</sup>	95% de intervalo de confianza para diferencia <sup>b</sup>	
					Límite inferior	Límite superior
Convencional	Modificado	,139*	,057	,041	,007	,270
Modificado	Convencional	-,139*	,057	,041	-,270	-,007

Se basa en medias marginales estimadas

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

b. Ajuste para varias comparaciones: Bonferroni.

### Pruebas univariadas

Variable dependiente:  $\log_{10}(\text{Módulo dinámico } E^*)$

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado
Contraste	,087	1	,087	5,889	,041	,424
Error	,118	8	,015			

F prueba el efecto de Tipo de mezcla (0 Convencional, 1 Modificado). Esta prueba se basa en las comparaciones por parejas linealmente independientes entre las medias marginales estimadas.

- Efecto del Tipo (SBS 4 %). En las Pruebas de efectos inter-sujetos, el Tipo resulta significativo:  $F=5.889$ ,  $p=0.041$ ,  $\eta^2 \text{ parcial} \approx 0.424$ . Qué significa: a igual temperatura y frecuencia, la mezcla Modificada presenta mayor módulo dinámico que la Convencional. La diferencia de EMMEANS es  $+0.139$  en  $\log_{10}(E^*)$  (Bonferroni  $p=0.041$ , IC95% 0.007 a 0.270), equivalente a  $\sim +38\%$  en  $E^*$  en escala original.
- Temperatura. Efecto muy fuerte ( $F \approx 212$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2 \approx 0.981$ ): el módulo disminuye al aumentar T (patrón  $5^\circ\text{C} > 20^\circ\text{C} > 40^\circ\text{C}$ ), coherente con el comportamiento viscoelástico.
- Frecuencia. Efecto menor pero presente en el modelo ( $F \approx 45.689$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2 \approx 0.913$ ), inferior al de la temperatura y sin cambiar la conclusión sobre el Tipo.
- Interacciones Tipo $\times$ T y Tipo $\times$ f. No significativas ( $p \approx 0.416$  y  $p \approx 0.914$ ): el efecto del SBS es principal, es decir, beneficia el módulo de manera consistente en todas las temperaturas y frecuencias evaluadas.
- Lectura final para tu informe. El UNIANOVA es la prueba que demuestra la influencia del polímero: SBS 4 %  $\rightarrow$  mayor  $E^*$  en la mezcla modificada ajustando por T y f. Usa como

cuadros centrales la tabla de Pruebas de efectos inter-sujetos (para F, p y  $\eta^2$ ) y la de EMMEANS por Tipo (para la diferencia ajustada con IC95%).

#### 5.4.7 Prueba de Correlación entre Frecuencia, Temperatura y Log(E)

Las correlaciones de Pearson cuantifican la relación lineal entre Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), Frecuencia (Hz) y  $\log_{10}(E^*)$ . Se reporta el coeficiente r ( $-1$  a  $+1$ ) y su p-valor. Dado que trabajamos con  $\log_{10}(E^*)$  y ya validamos normalidad, Pearson es adecuado; añadimos Spearman como respaldo no paramétrico.

**Tabla 168**

*Prueba de la correlación de Pearson global*

		Correlaciones		
		Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Frecuencia (Hz)	$\log_{10}(E^*)$
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Correlación de Pearson	1	,000	-,893
	Sig. (bilateral)		1,000	,000
	N	18	18	18
Frecuencia (Hz)	Correlación de Pearson	,000	1	,377
	Sig. (bilateral)	1,000		,123
	N	18	18	18
log10 (Módulo dinámico $E^*$ )	Correlación de Pearson	-,893	,377	1
	Sig. (bilateral)	,000	,123	
	N	18	18	18

– Global (Pearson):

- Temperatura vs  $\log_{10}(E^*)$ :  $r = -0.893$ ,  $p < 0.001$ . Relación negativa y muy fuerte: al subir la temperatura, el módulo disminuye (material más blando), coherente con los ANOVA/Welch y con el UNIANOVA.
- Frecuencia vs  $\log_{10}(E^*)$ :  $r = +0.377$ ,  $p = 0.123$ . Asociación positiva moderada pero no significativa con este n; su efecto es menor que el de la temperatura.

– Por tipo (Pearson):

- Convencional:  $r = -0.895$ ,  $p = 0.001$  entre T y  $\log_{10}(E^*)$ .
- Modificado:  $r = -0.903$ ,  $p < 0.001$  entre T y  $\log_{10}(E^*)$ . El mismo patrón aparece en ambas mezclas: la temperatura domina el comportamiento del módulo.

**Tabla 169***Prueba de la correlación de Pearson por tipo de mezcla*

		Correlaciones			
Tipo de mezcla (0 Convencional, 1 Modificado)			Temperatura (°C)	Frecuencia (Hz)	log10 (E*)
Convencional	Temperatura (°C)	Correlación de Pearson	1	,000	-,895
		Sig. (bilateral)		1,000	,001
		N	9	9	9
	Frecuencia (Hz)	Correlación de Pearson	,000	1	,377
		Sig. (bilateral)	1,000		,318
		N	9	9	9
	log10 (Módulo dinámico E*)	Correlación de Pearson	-,895	,377	1
		Sig. (bilateral)	,001	,318	
		N	9	9	9
Modificado	Temperatura (°C)	Correlación de Pearson	1	,000	-,903
		Sig. (bilateral)		1,000	,001
		N	9	9	9
	Frecuencia (Hz)	Correlación de Pearson	,000	1	,382
		Sig. (bilateral)	1,000		,311
		N	9	9	9
	log10 (Módulo dinámico E*)	Correlación de Pearson	-,903	,382	1
		Sig. (bilateral)	,001	,311	
		N	9	9	9

Estas correlaciones explican por qué es imprescindible controlar T y f cuando comparamos mezclas. Una vez que el UNIANOVA mantiene constantes temperatura y frecuencia, se observa el efecto propio del polímero: la mezcla Modificada (SBS 4 %) logra un log10(E\*) mayor que la Convencional (diferencia ajustada  $\approx +0.139$ ;  $p \approx 0.041$ ), es decir,  $\approx +38$  % de módulo en escala original.

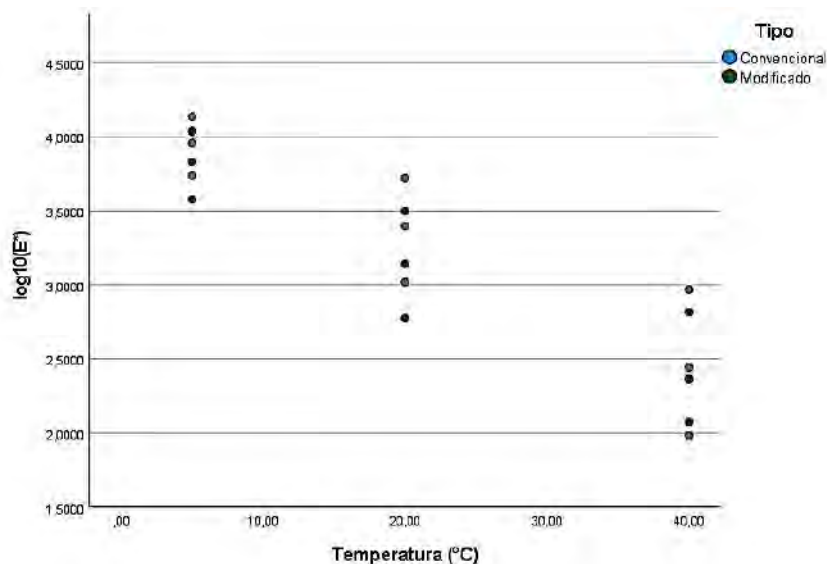
Este gráfico concentra la relación dominante del experimento: se observa una caída monótona del módulo al pasar de  $5 \rightarrow 20 \rightarrow 40$  °C, coherente con el comportamiento viscoelástico esperado. A una misma temperatura, los puntos de la mezcla modificada (SBS 4 %) tienden a ubicarse ligeramente por encima (o muy próximos) de los de la convencional, lo que sugiere un



aumento del módulo asociado al polímero. Sin embargo, el solapamiento entre ambos tipos dentro de cada temperatura recuerda que la evidencia definitiva debe venir del análisis ajustado: en el UNIANOVA, al controlar T y f, la diferencia se vuelve estadísticamente significativa y cuantificable.

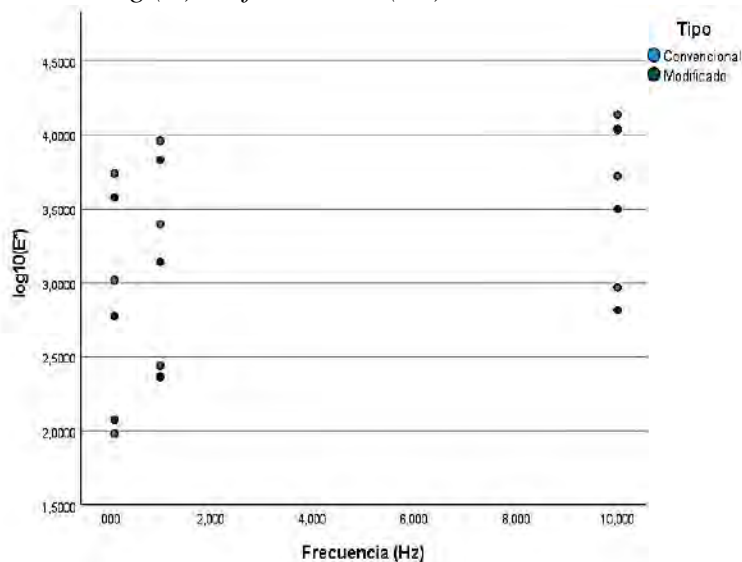
**Figura 104**

*Gráficas de dispersión Log (E) vs. temperatura (C°)*



**Figura 105**

*Gráficas de dispersión Log (E) vs. frecuencia (C°)*



Al comparar 0,1, 1 y 10 Hz se aprecia una tendencia ascendente moderada: el módulo tiende a crecer con la frecuencia, aunque con intervalos de dispersión que se superponen entre niveles. Esto es consecuente con los resultados inferenciales, donde el contraste global por

frecuencia no alcanza significación con el tamaño muestral disponible. Entre tipos, a una misma  $f$ , las nubes muestran proximidad y cierta ventaja puntual del modificado, pero no lo bastante separada de forma visual para concluir por sí sola. De nuevo, el **UNIANOVA** —que integra simultáneamente  $T$  y  $f$ — es el que confirma que el **SBS 4 %** se traduce en un  **$\log_{10}(E^*)$  superior** para la mezcla modificada respecto de la convencional.

## 5.5 Resultados de Análisis de Presión por Tipo de Neumático

### 5.5.1 Cálculo de Presión por Tipo de Neumático

Se tomarán datos promedio de área de contacto de las llantas y se tendrá en cuenta los tipos de ejes y la clasificación vehicular de la norma técnica peruana para el cálculo de presión sobre el pavimento que estos ejerzan; para ello utilizaremos la siguiente formula:

$$Presion\ (psi) = \frac{Carga\ por\ neumático\ (lb)}{Área\ de\ contacto\ (in^2)}$$

**Tabla 170**

*Cálculo de presión de neumático por tipo de eje*

Tipo de Eje	Neumáticos	Peso máx (kg)	Carga por neumático (kg)	Carga (lb)	Área (in <sup>2</sup> )	Presión (psi)	Tipo Vehículo Perú	Ejemplos comunes
<b>Eje Simple</b>	2	7,000	3,500	7716	25	<b>308.6</b>	<b>B2</b>	Autos, camionetas, minivans
<b>Eje Simple</b>	4	11,000	2,750	6063	50	<b>121.3</b>	<b>B3</b>	Buses interprovinciales, camiones rígidos
<b>Eje Doble (Tándem)</b>	4	12,000	3,000	6614	50	<b>132.3</b>	<b>B3-1</b>	Camión con eje tándem trasero
<b>Eje Doble (Tándem)</b>	6	16,000	2,667	5882	50	<b>117.6</b>	<b>C2</b>	Tracto + semirremolque de 2 ejes
<b>Eje Doble (Tándem)</b>	8	18,000	2,250	4960	50	<b>99.2</b>	<b>C3</b>	Tracto + semirremolque de 3 ejes
<b>Eje Triple (Trídem)</b>	6	16,000	2,667	5882	50	<b>117.6</b>	<b>B3-2</b>	Camión rígido con eje trídem trasero
<b>Eje Triple (Trídem)</b>	10	23,000	2,300	5071	50	<b>101.4</b>	<b>C3-2</b>	Tracto + semirremolque con eje trídem
<b>Eje Triple (Trídem)</b>	12	25,000	2,083	4594	50	<b>91.9</b>	<b>C3-3</b>	Tracto con 3 ejes + semirremolque trídem

### ***5.5.2 Interpretación de Resultados***

Durante el ensayo de modulo dinámico se ajusta la carga aplicada en función de la deformación que esta produzca, manteniendo esta deformación en un rango de valores de 50 a 150 micro-strain lo que nos permite mantener el comportamiento viscoelástico del material.

Se obtiene que todos los ensayos del módulo dinámico fueron realizados dentro de este rango lo que supone cargas aplicadas entre 40 y 400 psi; las cuales comparando con las presiones ejercidas de cada tipo de eje que transcurrió por la vía dentro del estudio de tráfico seria representativo ya que incluye a todos los tipos de carros.

## Capítulo VI: Análisis y Discusión de Resultados

### 6.1 Análisis de Agregados

La metodología Superpave establece valores mínimos como máximos para la evaluación y caracterización de los agregados; estos valores se comparan con los obtenidos en laboratorio bajo las normativas vigentes y se analizan considerando los parámetros establecidos por Superpave.

**Figura 106**

*Requerimiento de propiedades de consenso Superpave*

20-Year Design ESALs <sup>a</sup> (in millions)	Coarse Aggregate Angularity (Percent), minimum <sup>c</sup> AASHTO T 335 (CAA)		Uncompacted Void Content of Fine Aggregate Angularity (Percent), minimum AASHTO T 304 (FAA)		Sand Equivalent (Percent), minimum AASHTO T 176 (SE)	Flat and Elongated <sup>c</sup> (Percent), maximum ASTM D4791 (F&E)
	≤ 100 mm <sup>f</sup>	> 100 mm <sup>f</sup>	≤ 100 mm	> 100 mm <sup>f</sup>		
< 0.3	55/-	-/-	- <sup>d</sup>	-	40	-
0.3 to < 3	75/-	50/-	40 <sup>e</sup>	40	40	10
3 to < 10	85/80 <sup>b</sup>	60/-	45	40	45	10
10 to < 30	95/90	80/75	45	40	45	10
≥ 30	100/100	100/100	45	45	50	10

*Nota: Imagen tomada Superpave Asphalt Mixture Design (2002)*

**Figura 107**

*Requerimiento de propiedades de origen Superpave*

20-Year Design Equivalent Single Axle Loads (ESALs in millions)	Los Angeles Abrasion (Max. %) AASHTO T 96	Sodium or Magnesium Sulfate Soundness (Max. %) AASHTO T 104	Deleterious materials*	
			Clay Lumps/ Friable Particles AASHTO T 112	Lightweight Particles AASHTO T 113
< 0.3	45	25	<5	<5
0.3 to < 3	40	20	<4	<4
3 to < 10	30	15	<3	<3
10 to < 30	30	15	<2	<2
≥ 30	25	<10	<1	<1

*Nota: Imagen tomada Superpave Asphalt Mixture Design (2002)*

**Tabla 171***Análisis de parámetros de control de calidad cantera Amaru*

ENSAYOS	NORMA	REQUISITOS	RESULTADOS	VALIDACION
Gravedad Especifica Aparente En Finos	MTC E 205	NP	2.79	SI CUMPLE
% Porcentaje de Absorción En Finos	MTC E 205	2% máx.	1.30%	SI CUMPLE
Gravedad Especifica Aparente En Gruesos	MTC E 206	NP	2.69	SI CUMPLE
% Porcentaje de Absorción En Gruesos	MTC E 206	2% máx.	1.13%	SI CUMPLE
Abrasión De Los Ángeles	MTC E 207	30% máx.	18.91%	SI CUMPLE
Durabilidad Del Agregado Fino En Solución De Magnesio	MTC E 209	15% máx.	2.42%	SI CUMPLE
Durabilidad Del Agregado Grueso En Solución De Magnesio	MTC E 209	15% máx.	5.10%	SI CUMPLE
Arcilla en Terrones En Finos	MTC E 210	3% máx.	2.37%	SI CUMPLE
Partículas Desmenuzables En Gruesos	MTC E 212	2% máx.	1.20%	SI CUMPLE
% Porcentaje De Partículas Fracturadas En Gruesos	MTC E 210	90% min	100.00%	SI CUMPLE
% Porcentaje De Equivalente De Arena	MTC E 114	45% min	97.18%	SI CUMPLE
% Porcentaje De Angularidad De Fino	MTC E 222	45% máx.	21.45%	SI CUMPLE

**Tabla 172***Análisis de parámetros de control de calidad cantera Carmen Bonita*

ENSAYOS	NORMA	REQUISITOS	RESULTADOS	VALIDACION
Gravedad Especifica Aparente En Finos	MTC E 205	NP	2.37	SI CUMPLE
% Porcentaje de absorción En Finos	MTC E 205	2% máx.	2.28%	NO CUMPLE
Gravedad Especifica Aparente En Gruesos	MTC E 206	NP	2.84	SI CUMPLE
% Porcentaje de absorción En Gruesos	MTC E 206	2% máx.	1.17%	SI CUMPLE
Abrasión De Los Ángeles	MTC E 207	30% máx.	25.11%	SI CUMPLE
Arcilla en Terrones En Finos	MTC E 210	3% máx.	3.23%	NO CUMPLE
Partículas Desmenuzables En Gruesos	MTC E 212	2% máx.	5.53%	NO CUMPLE
% Porcentaje De Partículas Fracturadas En Gruesos	MTC E 210	90% min	93.15%	SI CUMPLE
% Porcentaje De Equivalente De Arena	MTC E 114	45% min	74.09%	SI CUMPLE
% Porcentaje De Angularidad De Fino	MTC E 222	45% máx.	37.87%	SI CUMPLE

**Tabla 173***Análisis de parámetros de control de calidad cantera Vicho*

ENSAYOS	NORMA	REQUISITOS	RESULTADOS	VALIDACION
Gravedad Especifica Aparente En Finos	MTC E 205	NP	3.09	SI CUMPLE
% Porcentaje de Absorción En Finos	MTC E 205	2% máx.	2.09%	NO CUMPLE
Gravedad Especifica Aparente En Gruesos	MTC E 206	NP	2.62	SI CUMPLE
% Porcentaje de absorción En Gruesos	MTC E 206	2% máx.	0.57%	SI CUMPLE
Abrasión De Los Ángeles	MTC E 207	30% máx.	22.01%	SI CUMPLE
% Porcentaje De Partículas Fracturadas En Gruesos	MTC E 210	90% min	91.94%	SI CUMPLE
% Porcentaje De Equivalente De Arena	MTC E 114	45% min	97.40%	SI CUMPLE

### ***Análisis del caso:***

Se evaluaron tres canteras obteniendo muestras de agregado grueso (piedra chancada y piedra de río) y agregado fino (arena, arena triturada y arena lavada); posteriormente realizándose los ensayos correspondientes bajo las normativas vigentes.

#### **– Cantera Amaru San Salvador:**

Se cumplen con todos los parámetros establecidos por la metodología Superpave para las propiedades de origen y de consenso.

Ensayos como el equivalente de arena donde se obtienen valores significativamente superiores respecto al requerimiento, indicando una baja presencia de arcillas y limos, mientras que los valores de angularidad tanto para el agregado fino presentan un valor más que óptimo a lo requerido y angularidad para el grueso cumple con un 100% de partículas fracturadas lo cual identifica que el agregado está bien chancado.

Respecto a las propiedades de origen como abrasión de los ángeles cumplen de manera óptima los requerimientos por lo cual el agregado es resistente a la abrasión, los ensayos de arcilla en terrones identifican la limpieza de nuestro agregado y resistencia al sulfato de magnesio lo cual identifica al agregado como resistente a las sales; por lo cual su uso es óptimo.

#### **– Cantera Carmen Bonita Cay Cay:**

No se cumplen con todos los parámetros establecidos por la metodología Superpave para las propiedades de origen y de consenso, afectando el comportamiento de la mezcla.

Respecto a las propiedades de consenso como equivalente de arena se obtienen valores promedio respecto al requerimiento lo que indica buena presencia de arcillas y limos, mientras que los valores de angularidad para el agregado fino tienen valores cercanos al límite y angularidad respecto al grueso se observó que tienen partículas redondas por lo cual no todo es chancado.

Respecto a las propiedades de origen como abrasión de los ángeles cumple con los requerimientos, pero su valor no indica una buena resistencia a la abrasión, los ensayos de arcilla en terrones indican presencia de suciedad en un porcentaje más de lo permitido y las partículas desmenuzables en el agregado grueso presentan valores fuera de los permitidos.

#### **– Cantera Vicho San Salvador:**

No se cumplen con todos los parámetros establecidos por la metodología Superpave para las propiedades de origen y de consenso.

Respecto a las propiedades de consenso como equivalente de arena se obtienen valores muy superiores respecto al requerimiento lo cual indica una baja presencia de arcillas y limos, mientras que los valores de angularidad para finos presentan un valor cercano al máximo permitido y la angularidad de agregado grueso si cumple con los parámetros requeridos por lo cual el agregado está bien chancado.

Respecto a las propiedades de origen como abrasión de Los Ángeles cumplen de manera óptima los requerimientos por lo cual el agregado es resistente a la abrasión, los ensayos de arcilla en terrones identifican la limpieza de nuestro agregado por lo cual su uso es óptimo.

## 6.2 Análisis de Selección del Ligante

### 6.2.1 *Parámetro de Tráfico.*

Una vez realizado el estudio de tráfico y habiéndose procesado los datos correspondientes bajo las normativas vigentes, se establece un valor de ESSALs de 10 millones aproximadamente, lo cual califica a nuestra vía como de alto tránsito según el método Superpave; el cual nos permite identificar qué tipo de mezcla sería la mejor a usar, el tipo de agregado que se requiere y que ligante se utilizara para la mezcla asfáltica, así como otros datos de suma importancia.

$$ESAL_{\text{diseño}} = 1.01 * 10^7$$

### 6.2.2 *Parámetro de Temperatura.*

En resumen, se realizó correcciones por factor de seguridad mediante el Bumping Grade según la norma AASHTO M – 320.

**Tabla 174**

*Análisis de selección de PG (performance grade)*

SELECCION DEL PG		
Ensayos	NORMA	PG
LTPP 2004	AASHTO M-320	58-16
Bumping Grade	AASHTO M-320	64-16

Con la obtención del PG corregido, se seleccionó un ligante que cumpla con estas características reológicas, posterior a ello, se realizó un análisis de su comportamiento reológico considerando los parámetros establecidos por Superpave.

Tabla 175

Especificaciones del asfalto para un PG 64-16

GRADO DE PERFORMANCE	ASSHTO M 320	PG 64-10		
ENSAYOS	NORMA	RESULTADO	ESPECIFICACIONES	
LIGANTE ORIGINAL			mín.	máx.
Punto de Inflamación	D-92	278	230	----
Viscosidad Brookfield, Spindle 21,20 RPM, (135°C)	D-4402	885	----	3000
Temperatura de Corte Dinámico	D-7175	64	----	----
Corte Dinámico G°sen $\delta$ , 10 rad/s	D-7175	4.06	1	----
<b>DESPUES DEL ENVEJECIMIENTO RTFOT</b>	D-2872			
Pérdida de Masa	D-2872	0.415	----	1
Temperatura de Corte Dinámico	D-7175	64	----	----
Corte Dinámico G°sen $\delta$ , 10 rad/s	D-7175	13.31	2.2	----
<b>DESPUES DEL ENVEJECIMIENTO PAV</b>	D-6521			
Temperatura del Curado PAV	D-6521	100	----	----
Temperatura de Corte Dinámico	D-7175	28	----	----
Corte Dinámico G° Xsen $\delta$ , 10 rad/s	D-7175	1000	----	5000
Temperatura de Rigidez al Desplazamiento	D-6648	-6	----	----
Rigidez al Desplazamiento, Valor S, a 60 seg.	D-6648	50.95	----	300
Valor m	D-6648	0.343	0.300	----

### 6.3 Análisis del Diseño Volumétrico Superpave

Los parámetros para el diseño Superpave se encuentran en las normas AASHTO M 323,

Figura 108

Parámetros volumétricos para un diseño de mezcla

Design ESALs, <sup>a</sup> million	Required Relative Density, Percent of Theoretical Maximum Specific Gravity			Voids in the Mineral Aggregate (VMA), % Minimum						Voids Filled with Asphalt (VFA) Range, <sup>b</sup> %	Dust-to- Binder Ratio Range <sup>c</sup>
	$N_{\text{initial}}$	$N_{\text{design}}$	$N_{\text{max}}$	Nominal Maximum Aggregate Size, mm							
				37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75		
<0.3	≤91.5	96.0	≤98.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	70–80 <sup>d,e</sup>	0.6–1.2
0.3 to <3	≤90.5	96.0	≤98.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	65–78 <sup>f</sup>	0.6–1.2
3 to <10	≤89.0	96.0	≤98.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	65–75 <sup>e,f,g</sup>	0.6–1.2
10 to <30	≤89.0	96.0	≤98.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	65–75 <sup>e,f,g</sup>	0.6–1.2
≥30	≤89.0	96.0	≤98.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	65–75 <sup>g</sup>	0.6–1.2



**Tabla 176***Análisis de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica convencional*

Parámetros		Requisitos	Resultados	Validación
<b>Porcentaje de compactación</b>	N inicial	máx. 89%	88.43	sí cumple
	N diseño	máx 96%	96.00%	sí cumple
	N máximo	máx. 98%	96%	sí cumple
<b>Relación polvo asfalto</b>	DP	0.6 - 1.2 %	0.75	sí cumple
<b>Vacíos llenos de C.A.</b>	VFA	65% - 75%	73.94	sí cumple
<b>Vacíos de Agregado mineral</b>	VMA	min 13%	15.35%	sí cumple
<b>Porcentaje de Vacíos</b>	VA	4%	4%	sí cumple

Según las propiedades volumétricas se observa que estamos cumpliendo los parámetros de la norma AASHTO M 323.

**Tabla 177***Análisis de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica modificada*

Parámetros		Requisitos	Resultados	Validación
<b>Porcentaje de compactación</b>	N inicial	máx. 89%	88.34	sí cumple
	N diseño	máx 96%	95.78%	sí cumple
	N máximo	máx. 98%	96%	sí cumple
<b>Relación polvo asfalto</b>	DP	0.6 - 1.2 %	0.77	sí cumple
<b>Vacíos llenos de C.A.</b>	VFA	65% - 75%	73.21	sí cumple
<b>Vacíos de Agregado mineral</b>	VMA	min 13%	14.93%	sí cumple
<b>Porcentaje de Vacíos</b>	VA	4%	4%	sí cumple

#### 6.4 Análisis del Ensayo de Lottman Modificado

El método Superpave y el manual de carreteras nos da a conocer parámetros para evaluar si el ensayo cumple con los requisitos de resistencia a la humedad inducida.

**Figura 109***Requerimientos para prueba de tracción indirecta para Superpave*

Parámetros de Diseño	Requerimientos
Porcentaje de vacíos con aire a los giros de diseño, $N_{dis}$	4,0
Porcentaje de la densidad máxima a los giros iniciales, $N_{ini}$	89% máx.
Porcentaje de la densidad máxima a los giros máximos, $N_{máx}$	98% máx.
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta (AASHTO T 283)	80% mín.

**Tabla 178**

*Análisis de parámetros del ensayo de Lottman modificado*

PARÁMETROS DETERMINADOS	NORMA	REQUISITOS	RESULTADO	VALIDACIÓN
Mezcla asfáltica convencional	AASHTO T 283	80 min	78.4	<b>No cumple</b>
Mezcla asfáltica Modificada	AASHTO T 283	80 min	83.0	<b>Si cumple</b>

### **Análisis:**

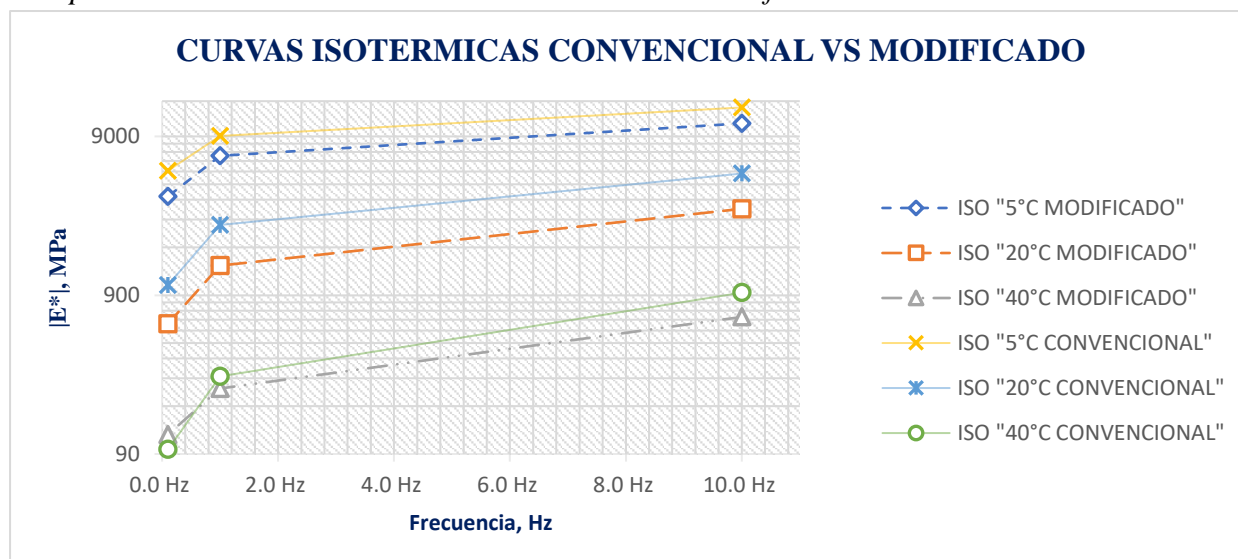
El valor de TSR que se obtuvieron en la mezcla asfáltica convencional es de 78.4% y en la mezcla asfáltica modificada es de 83%, observamos que no cumple en la mezcla asfáltica convencional con el requisito mínimo de 80%, esto se debe a la adición de polímero que mejora la adherencia del agregado, en donde se pudo observas zonas descubiertas a falta de adherencia.

### **6.5 Análisis del Ensayo del Módulo Dinámico**

Una vez obtenido los resultados producto del ensayo del módulo dinámico a diferentes temperaturas y frecuencias; se procesa la información con el software Pitra-ImoDin el cual nos proporcionará las curvas Black Space, el plano Cole-Cole y la Curva Maestra con su respectivo ajuste que son las curvas más representativas; así como también se utilizará el software Excel para los demás cuadros; teniendo los siguientes resultados:

**Figura 110**

*Comparación de curvas isométricas convencional vs. modificado*



## – Comparación De Curvas Isotérmicas Convencional Vs Modificado

### Análisis por Temperaturas:

**Tabla 179**

*Análisis comparativo de temperaturas mezcla convencional vs modificada*

<b>T (°C)</b>	<b>Fr (Hz)</b>	<b>Mezcla Convencional vs Mezcla Modificada</b>
5	10	La mezcla modificada muestra un módulo dinámico ligeramente inferior al de la mezcla convencional en el rango de frecuencias estudiado. Sin embargo, la diferencia no parece ser muy grande. Ambas mezclas presentan un módulo dinámico alto, indicando un comportamiento predominantemente rígido y elástico a esta temperatura. La pendiente de ambas curvas es relativamente suave, sugiriendo una sensibilidad a la frecuencia moderada.
	1	
	0.1	
20	10	La mezcla modificada exhibe un módulo dinámico significativamente mayor que la mezcla convencional en todo el rango de frecuencias. La diferencia es más pronunciada a frecuencias más bajas. Esto sugiere que el modificador aumenta la rigidez y la resistencia a la deformación a esta temperatura de servicio intermedia. Ambas curvas muestran una mayor sensibilidad a la frecuencia en comparación con la temperatura de 5°C.
	1	
	0.1	
40	10	La mezcla modificada presenta un módulo dinámico considerablemente mayor que la mezcla convencional en todo el rango de frecuencias. La diferencia es particularmente notable a frecuencias más bajas. Este es un hallazgo clave, ya que indica que el modificador mejora sustancialmente la rigidez y la resistencia a la deformación permanente a temperaturas elevadas, crucial para prevenir el ahuellamiento. Ambas curvas muestran una fuerte dependencia de la frecuencia, especialmente a bajas frecuencias.
	1	
	0.1	

### Comportamiento en Base a Resultados:

- Al observar la separación entre las curvas para cada mezcla a diferentes temperaturas, podemos inferir el efecto del modificador en la susceptibilidad térmica (la sensibilidad del módulo dinámico a los cambios de temperatura).

- Para la mezcla convencional, la disminución del módulo dinámico al aumentar la temperatura de 5°C a 40°C es considerable en todo el rango de frecuencias.

- Para la mezcla modificada, aunque el módulo dinámico también disminuye con el aumento de la temperatura, la magnitud de esta disminución parece ser menor, especialmente en el rango de frecuencias más bajas. Esto sugiere que el modificador podría estar reduciendo la

susceptibilidad térmica de la mezcla, haciéndola menos sensible a los cambios de temperatura en términos de su rigidez.

- La mayor rigidez de la mezcla modificada a 20°C y 40°C sugiere una mayor resistencia al ahuellamiento en comparación con la mezcla convencional, especialmente en climas cálidos y bajo tráfico pesado.

- La similitud en el módulo dinámico a 5°C indica que el modificador podría no tener un impacto significativo en el comportamiento a bajas temperaturas en términos de rigidez, aunque se necesitaría analizar el ángulo de fase para evaluar el comportamiento de agrietamiento térmico.

- La posible reducción en la susceptibilidad térmica de la mezcla modificada podría resultar en un comportamiento más consistente en un rango más amplio de temperaturas de servicio.

#### **Análisis del Resultado Final:**

- El análisis comparativo de las curvas isotérmicas del módulo dinámico revela que la modificación implementada tiene un impacto significativo en el comportamiento viscoelástico de la mezcla asfáltica. A temperaturas de servicio intermedias (20°C) y altas (40°C), la mezcla modificada exhibe un módulo dinámico considerablemente mayor en comparación con la mezcla convencional en todo el rango de frecuencias estudiado. Este incremento en la rigidez sugiere una mejora potencial en la resistencia a la deformación permanente (ahuellamiento), un factor crítico para la durabilidad de los pavimentos asfálticos, especialmente en climas cálidos y bajo cargas de tráfico elevadas.

- A bajas temperaturas (5°C), la diferencia en el módulo dinámico entre ambas mezclas es menos pronunciada, indicando que el modificador podría no tener un efecto significativo en la rigidez a estas temperaturas. Sin embargo, el análisis de otras propiedades viscoelásticas, como el ángulo de fase, sería necesario para evaluar completamente el comportamiento a bajas temperaturas, incluyendo la resistencia al agrietamiento térmico.

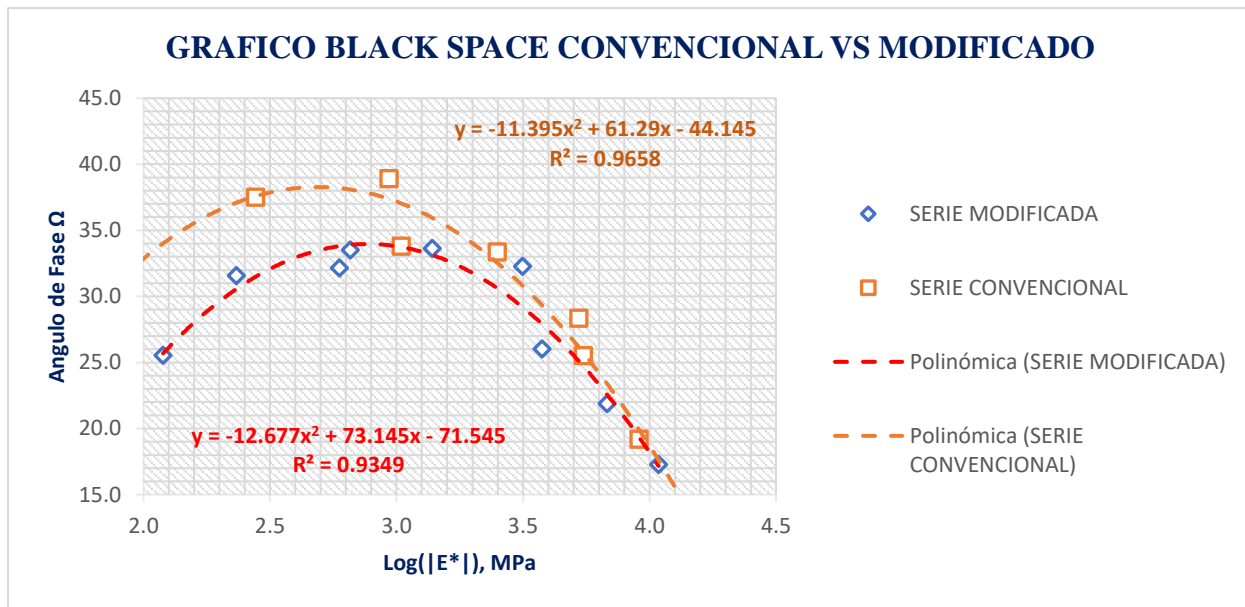
- Adicionalmente, la menor separación entre las curvas isotérmicas de la mezcla modificada en comparación con la convencional sugiere una posible reducción en la susceptibilidad térmica, lo que podría traducirse en un comportamiento más uniforme de la mezcla modificada en un rango más amplio de temperaturas de servicio.

- La modificación implementada parece ser beneficiosa para mejorar la resistencia a la deformación permanente a temperaturas de servicio típicas y elevadas, lo cual es un aspecto fundamental para prolongar la vida útil de los pavimentos asfálticos.

#### - Comparación De Gráficos Black Space Convencional Vs Modificado

**Figura 111**

*Comparación de curvas Black Space convencional vs. modificado*



#### **Análisis e Interpretación de las Curvas:**

- Ambas mezclas presentan curvas con forma parabólica invertida, lo que indica un comportamiento viscoelástico típico de los materiales asfálticos, donde la proporción entre las componentes elástica y viscosa varía con la rigidez del material.

- Sin embargo, se observan diferencias significativas en la posición, amplitud y forma de las curvas entre la mezcla convencional (línea punteada naranja) y la mezcla modificada (línea punteada roja).

#### **Comparación de Baja Rigidez (Extremo Izquierdo):**

- Valores de Log(|E\*|): Bajos (aproximadamente < 2.8).
- Ángulo de Fase: En esta región, la mezcla modificada tiende a exhibir ángulos de fase ligeramente más bajos que la mezcla convencional. Esto sugiere que, a bajas rigideces (altas

temperaturas y/o bajas frecuencias), la mezcla modificada podría presentar una menor predominancia del comportamiento viscoso y, potencialmente, una menor susceptibilidad a la deformación permanente en comparación con la mezcla convencional.

### **Comparación de Rigidez Intermedia (Cercanías al Pico):**

- Valor de  $\text{Log}(|E^*|)$  del Pico: El pico del ángulo de fase para la mezcla modificada se alcanza a un valor de  $\text{Log}(|E^*|)$  ligeramente menor que para la mezcla convencional.

- Valor Máximo del Ángulo de Fase: El valor máximo del ángulo de fase alcanzado por la mezcla modificada (alrededor de  $33.5^\circ$ ) es considerablemente menor que el de la mezcla convencional (alrededor de  $39^\circ$ ). Esto indica que, en su punto de máximo comportamiento viscoso relativo, la mezcla modificada presenta una menor contribución de la componente puramente viscosa en comparación con la mezcla convencional.

### **Comparación de Alta Rigidez (Extremo Derecho):**

- Valores de  $\text{Log}(|E^*|)$ : Altos (aproximadamente  $> 3.7$ ).
- Ángulo de Fase: En esta región, la mezcla modificada muestra ángulos de fase notablemente más altos que la mezcla convencional. Esto sugiere que, a altas rigideces (bajas temperaturas y/o altas frecuencias), la mezcla modificada retiene una mayor componente viscosa en comparación con la mezcla convencional, que se vuelve más elástica. Esta mayor viscosidad a bajas temperaturas podría tener implicaciones en la resistencia al agrietamiento.

### **Análisis de Resultado Final:**

- El modificador parece reducir la magnitud del pico viscoso de la mezcla asfáltica. Esto podría ser beneficioso para la resistencia al ahuellamiento, ya que limita la predominancia del comportamiento viscoso a temperaturas de servicio elevadas.

- La presencia de un ángulo de fase relativamente más alto a altas rigideces en la mezcla modificada podría indicar una mayor capacidad de disipación de energía a bajas temperaturas y altas frecuencias, lo que podría mejorar la resistencia al agrietamiento por fatiga o térmico.

- La posición ligeramente desplazada del pico en el eje del  $\text{Log}(|E^*|)$  sugiere que el equilibrio entre las componentes elástica y viscosa se alcanza a una rigidez diferente para la mezcla modificada en comparación con la convencional.

### Análisis de Factores de Disipación:

**Tabla 180**

*Análisis comparativo de factor de disipación convencional vs modificado*

Factores		Mezcla Modificada		Mezcla Convencional		COMPARACIÓN	DESCRIPCIÓN
T °C	Fr Hz	Log E	Tan $\Omega$	Log E	Tan $\Omega$		
5	10.0	4.04	0.311	4.14	0.246	<b>Mod &gt; Conv</b>	A alta rigidez, la modificada disipa proporcionalmente más energía. Podría indicar mejor resistencia al agrietamiento.
5	1.0	3.83	0.402	3.96	0.348	<b>Mod &gt; Conv</b>	Tendencia similar a alta rigidez.
5	0.1	3.58	0.489	3.74	0.478	<b>Mod <math>\approx</math> Conv</b>	Comportamiento de disipación similar en este rango de rigidez.
20	10.0	3.50	0.632	3.72	0.540	<b>Mod &gt; Conv</b>	La modificada muestra mayor disipación a una rigidez ligeramente menor.
20	1.0	3.14	0.665	3.40	0.659	<b>Mod <math>\approx</math> Conv</b>	Disipación similar en este rango de rigidez.
20	0.1	2.77	0.629	3.02	0.669	<b>Mod &lt; Conv</b>	A rigidez moderada-baja, la convencional disipa ligeramente más energía.
40	10.0	2.82	0.662	2.97	0.807	<b>Mod &lt; Conv</b>	La convencional muestra un pico de disipación mayor en este rango.
40	1.0	2.37	0.614	2.44	0.768	<b>Mod &lt; Conv</b>	A baja rigidez (alta T/baja f), la convencional disipa proporcionalmente más energía. Podría indicar mayor susceptibilidad a la deformación permanente en la modificada.
40	0.1	2.08	0.478	1.98	0.646	<b>Mod &lt; Conv</b>	Tendencia similar a baja rigidez.

**Mayor tan  $\delta$  en la Mezcla Modificada a Alta Rigidez:** Indica que a bajas temperaturas y/o altas frecuencias, la mezcla modificada tiene una mayor capacidad para disipar energía en relación con la energía almacenada en comparación con la mezcla convencional. Esto podría ser beneficioso para la resistencia al agrietamiento, ya que el material puede liberar tensiones de manera más efectiva.

**Menor Pico de tan  $\delta$  en la Mezcla Modificada:** El pico más bajo en el tan  $\delta$  de la mezcla modificada sugiere que su capacidad máxima de disipación de energía (en la zona de transición

viscoelástica) es menor que la de la mezcla convencional. Esto podría influir en su comportamiento bajo cargas repetidas y su resistencia a la fatiga.

**Menor  $\tan \delta$  en la Mezcla Modificada a Baja Rigidez:** Indica que a altas temperaturas y/o bajas frecuencias, la mezcla modificada disipa proporcionalmente menos energía y se comporta de manera más elástica en comparación con la mezcla convencional. Esto podría ser favorable para la resistencia al ahuellamiento, ya que una menor disipación de energía a estas condiciones a menudo se asocia con una menor deformación permanente.

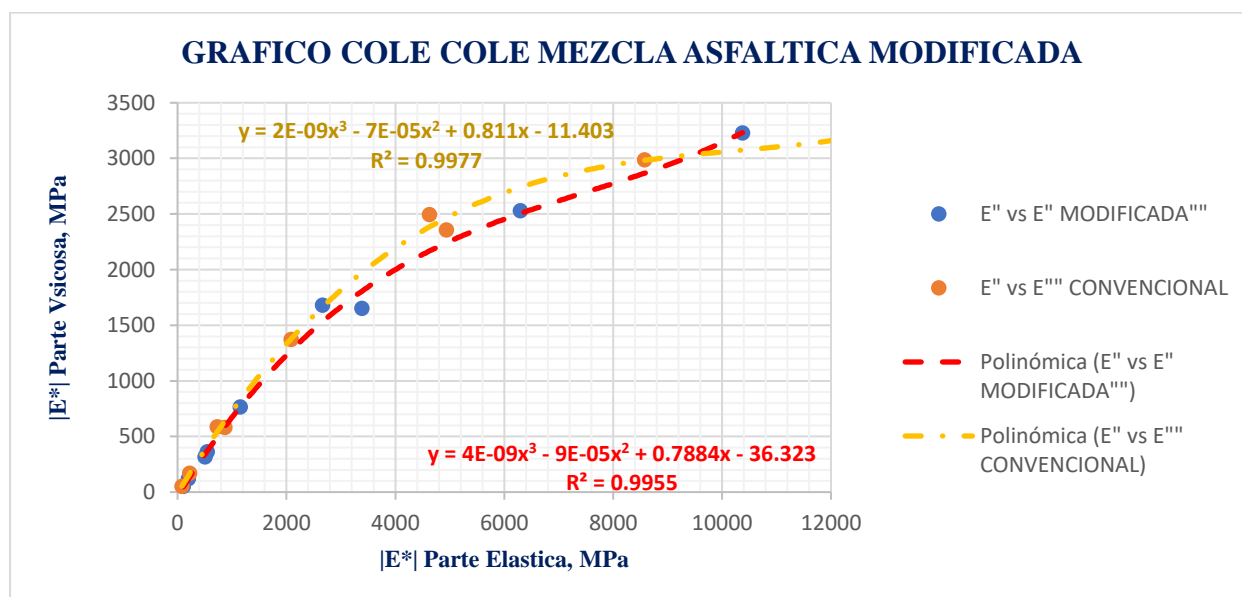
### Análisis de Resultado Final del Factor de Dispersión:

La modificación parece haber alterado el equilibrio entre la disipación y el almacenamiento de energía en la mezcla asfáltica en diferentes regímenes de rigidez. La mezcla modificada tiende a ser más disipativa a alta rigidez y menos disipativa a baja rigidez, con un pico de disipación menor en la zona de transición. Estas diferencias sugieren un perfil de desempeño potencialmente diferente en términos de resistencia al agrietamiento, fatiga y ahuellamiento en comparación con la mezcla convencional. Es importante recordar que el "mejor" comportamiento dependerá de las condiciones de servicio específicas a las que estará expuesto el pavimento.

#### – Comparación de Gráficos Cole-Cole Convencional Vs Modificado

**Figura 112**

*Comparación de curvas Cole-Cole convencional vs. modificado*





Al comparar los gráficos Cole-Cole, observamos que la trayectoria de la mezcla modificada se sitúa generalmente por debajo y a la izquierda de la convencional, especialmente a valores más altos de la parte elástica ( $E'$ ). Esto sugiere que, para una rigidez dada, la mezcla modificada tiende a disipar menos energía (menor  $E''$ ) que la convencional en ese rango. Sin embargo, a valores bajos de  $E'$  (bajas frecuencias/altas temperaturas), la mezcla modificada puede mostrar una disipación de energía comparable o ligeramente mayor.

El **pico de la parte viscosa ( $E''$ )**, que indica la máxima disipación de energía y está relacionado con el tiempo de relajación dominante, ocurre a un valor mayor de  $E'$  para la mezcla convencional. Esto implica que la relajación máxima en la mezcla convencional se manifiesta a una rigidez más alta (lo que podría corresponder a una frecuencia o temperatura diferente) en comparación con la modificada. La magnitud de este pico también parece ser mayor en la mezcla convencional, lo que indica una mayor capacidad de amortiguamiento en su transición viscoelástica principal.

Al analizar los **parámetros de los círculos ajustados**, la diferencia más notable radica en el centro del círculo. Mientras que el centro para la mezcla convencional se encuentra principalmente sobre el eje  $E'$ , el centro para la mezcla modificada está significativamente desplazado hacia abajo del eje  $E'$ . Este desplazamiento vertical en la mezcla modificada es una clara indicación de una distribución mucho más amplia de los tiempos de relajación. En contraste, la mezcla convencional se aproxima más a un comportamiento con una distribución de tiempos de relajación más estrecha.

El **radio del círculo**, que está relacionado con la diferencia entre los módulos límite (estado vítreo y relajado), es considerablemente mayor para la mezcla modificada. Esto sugiere una mayor sensibilidad a la frecuencia y un rango más amplio de rigideces que experimenta la mezcla modificada en el rango de frecuencias de ensayo en comparación con la mezcla convencional.

### **Análisis de Resultado Final:**

El **centro del círculo** de ajuste revela una diferencia fundamental en la distribución de los tiempos de relajación. Para la mezcla convencional, el centro se localiza principalmente sobre el eje  $E'$ , lo que sugiere una distribución de tiempos de relajación relativamente estrecha. En cambio,

el centro del círculo para la mezcla modificada presenta un desplazamiento significativo hacia abajo del eje E", lo que es un indicador directo de una distribución mucho más amplia de los tiempos de relajación.

El **radio del círculo**, asociado con la diferencia entre los módulos elásticos en los estados límite, es considerablemente mayor para la mezcla modificada. Esto implica una mayor sensibilidad de sus propiedades mecánicas a la frecuencia de carga o a la temperatura en comparación con la mezcla convencional, que exhibe un rango de rigideces menor en el espectro de frecuencias ensayado.

En esencia, la modificación parece haber alterado la forma en que la mezcla almacena y disipa energía en función de la frecuencia y la temperatura, influyendo en la distribución de sus tiempos de relajación y en su sensibilidad a las condiciones de carga.

### **Análisis de Resultado Final del Ajuste de Curvas Cole-Cole con Modelos Matemáticos:**

**Distribución de Tiempos de Relajación:** La ubicación del centro del círculo es la clave para entender la distribución de los tiempos de relajación. El centro cercano al eje E' para la mezcla convencional indica una distribución de tiempos de relajación relativamente estrecha. En contraste, el centro bien por debajo del eje E' para la mezcla modificada confirma una distribución de tiempos de relajación mucho más amplia y asimétrica. Esto sugiere que la modificación introduce una mayor variedad de mecanismos de relajación operando en diferentes escalas de tiempo.

**Intensidad de la Relajación:** El radio mayor del círculo para la mezcla modificada implica una mayor diferencia entre el comportamiento en los extremos de frecuencia (mayor diferencia entre el módulo vítreo y el módulo relajado, aunque no se alcancen completamente en el rango de datos). Esto sugiere que la mezcla modificada es más sensible a los cambios en la frecuencia de carga o la temperatura.

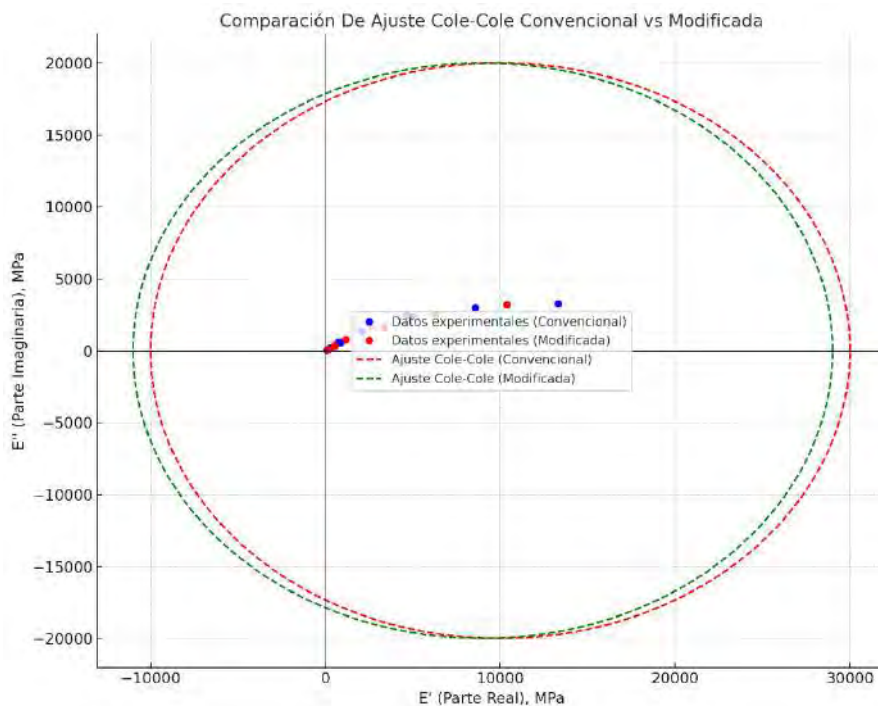
**Comportamiento Elástico y Viscoso Relativo:** La posición de los datos experimentales a lo largo de los arcos también es informativa. La mezcla convencional, con su arco más "alto" y a la izquierda para los datos mostrados, podría indicar una mayor contribución de la componente viscosa en el rango de frecuencias estudiado en relación con su rigidez elástica. La mezcla modificada, con su arco más extendido horizontalmente y con un centro más bajo, sugiere un

comportamiento donde la influencia de la distribución más amplia de tiempos de relajación se manifiesta en una relación diferente entre la respuesta elástica y viscosa a través de las frecuencias.

Esta representación visual más clara confirma que la modificación ha alterado fundamentalmente la naturaleza de la relajación viscoelástica de la mezcla asfáltica. La distribución de tiempos de relajación se ha ensanchado significativamente con la modificación, lo que se evidencia en el centro del círculo desplazado hacia abajo. Además, la sensibilidad a la frecuencia (o temperatura), inferida del mayor radio del círculo, es también mayor en la mezcla modificada. Estos cambios en la relajación viscoelástica son determinantes para el desempeño del pavimento. Una distribución más amplia de tiempos de relajación en la mezcla modificada podría influir en su respuesta a cargas repetidas (fatiga) y su capacidad para disipar energía bajo diversas condiciones. La mayor intensidad de la relajación sugiere una mayor adaptabilidad a diferentes regímenes de carga y temperatura, lo cual podría tener implicaciones tanto positivas como negativas para la resistencia a la deformación permanente y al agrietamiento, dependiendo de las condiciones específicas de servicio.

**Figura 113**

*Análisis comparativo de curvas Cole-Cole convencional vs. modificada*



### – Comparación De Curvas Maestras Convencional Vs Modificado

Al examinar las curvas maestras en su totalidad, se observa que la mezcla modificada presenta una curva que se desplaza hacia arriba en el extremo de bajas frecuencias reducidas y ligeramente hacia arriba en el extremo de altas frecuencias reducidas, en comparación con la mezcla convencional. Esto sugiere una mayor rigidez general de la mezcla modificada en todo el espectro de condiciones simuladas, aunque la magnitud de esta diferencia varía con la frecuencia reducida (y, por ende, con la temperatura y el tiempo de carga equivalentes).

### **Análisis de la Curva Maestra por Rango de Frecuencias:**

La comparación se realiza a la temperatura de referencia de 20 °C, analizando el comportamiento del módulo dinámico en función de la frecuencia reducida, que simula diferentes condiciones de temperatura y carga.

#### **Régimen de Bajas Frecuencias Reducidas (<10–3 Hz):**

- Mezcla Modificada: Exhibe una rigidez significativamente mayor ( $\approx 18.2$  MPa) en comparación con la mezcla convencional ( $\approx 0.51$  MPa).

- Implicación: Bajo altas temperaturas y tráfico lento, la mezcla modificada presenta una mayor resistencia potencial al ahuellamiento que la mezcla convencional. La modificación parece mejorar la capacidad de la mezcla para soportar cargas sostenidas a altas temperaturas.

#### **Régimen de Frecuencias Reducidas Intermedias (10–3 a 103 Hz):**

- Mezcla Modificada: Muestra una zona de transición desplazada hacia frecuencias reducidas más altas y una pendiente ligeramente más pronunciada ( $\gamma = -0.44$  vs.  $-0.40$  para la convencional).

- Implicación: En las condiciones de servicio típicas, la mezcla modificada experimenta una transición de comportamiento viscoso a elástico a temperaturas equivalentes más bajas o velocidades de carga más rápidas. Su mayor sensibilidad a los cambios de temperatura y velocidad de carga podría influir en su desempeño en fatiga, requiriendo un equilibrio cuidadoso entre rigidez y flexibilidad.

### Régimen de Altas Frecuencias Reducidas (>103 Hz):

- Mezcla Modificada: Alcanza una rigidez ligeramente mayor ( $\approx 41,879$  MPa) en comparación con la mezcla convencional ( $\approx 36,308$  MPa).

- Implicación: A bajas temperaturas y bajo cargas rápidas, ambas mezclas son muy rígidas. Sin embargo, la ligeramente mayor rigidez de la mezcla modificada podría traducirse en una susceptibilidad igual o ligeramente mayor al agrietamiento térmico o por fatiga en condiciones de frío extremo.

**Tabla 181**

*Análisis de los valores del ajuste sigmoidal*

Parámetro	Mezcla Convencional	Mezcla Modificada	Implicación Comparativa
$\delta$	-0.29 ( $\approx 0.51$ MPa)	1.26 ( $\approx 18.2$ MPa)	La mezcla modificada es significativamente más rígida a altas temperaturas/bajas frecuencias, mejorando la resistencia al ahuellamiento.
Max	4.56 ( $\approx 36,308$ MPa)	4.62 ( $\approx 41,879$ MPa)	La mezcla modificada es ligeramente más rígida a bajas temperaturas/altas frecuencias, lo que podría aumentar ligeramente el riesgo de agrietamiento.
$\beta$	-1.19	-0.3	La zona de transición de la mezcla modificada se desplaza hacia frecuencias reducidas más altas.
$\gamma$	-0.4	-0.44	La mezcla modificada muestra una sensibilidad ligeramente mayor a los cambios de temperatura y velocidad de carga en la zona de transición.

### Análisis de Implicaciones Respecto al Desempeño:

**Resistencia al Ahuellamiento (Altas Temperaturas/Bajas Frecuencias):** La diferencia más significativa se observa a bajas frecuencias reducidas. El módulo dinámico considerablemente mayor de la mezcla modificada indica una resistencia sustancialmente mejorada al ahuellamiento en condiciones de alta temperatura y tráfico lento. La modificación ha fortalecido la estructura interna de la mezcla, haciéndola menos susceptible a la deformación permanente bajo cargas prolongadas.

**Comportamiento en Condiciones de Servicio Típicas (Frecuencias Reducidas Intermedias):** El desplazamiento de la zona de transición hacia frecuencias más altas para la mezcla modificada implica que alcanza su rigidez máxima a temperaturas equivalentes más bajas

o velocidades de carga más rápidas que la mezcla convencional. La pendiente ligeramente más pronunciada sugiere que la tasa de cambio de rigidez con la temperatura o la velocidad de carga es mayor. Esto podría significar que la mezcla modificada es más sensible a las fluctuaciones diarias de temperatura y a las variaciones en la velocidad del tráfico, lo que podría tener implicaciones para la acumulación de deformación y la respuesta a la fatiga a largo plazo.

#### **Resistencia al Agrietamiento a Bajas Temperaturas (Altas Frecuencias Reducidas):**

La ligera mayor rigidez de la mezcla modificada a altas frecuencias reducidas podría ser un factor preocupante en climas fríos. Si bien una mayor rigidez inicial puede parecer beneficiosa, una capacidad reducida para relajarse bajo tensión a bajas temperaturas podría aumentar la susceptibilidad al agrietamiento térmico, donde la mezcla se fractura debido a la contracción inducida por el frío. Además, una mayor rigidez podría hacer que la mezcla sea más propensa al agrietamiento por fatiga bajo cargas repetidas, ya que puede no disipar la energía de deformación de manera tan eficiente como una mezcla más flexible.

#### **Análisis Final de la Comparación de Módulos Dinámicos:**

La modificación implementada en la mezcla asfáltica ha generado cambios notables en su comportamiento viscoelástico, tal como se revela en la comparación de sus curvas maestras. La mezcla modificada exhibe una **mejora significativa en la resistencia potencial al ahuellamiento a altas temperaturas**, evidenciada por un módulo dinámico mucho mayor a bajas frecuencias reducidas. Sin embargo, también presenta una **sensibilidad ligeramente mayor a las variaciones de temperatura y velocidad de carga en el rango de servicio típico** y una **rigidez marginalmente superior a bajas temperaturas**, lo que podría influir en su resistencia al agrietamiento. La modificación ha alterado la ventana de desempeño de la mezcla, favoreciendo la resistencia a la deformación permanente en condiciones cálidas, pero requiriendo una evaluación cuidadosa de su comportamiento a bajas temperaturas y bajo cargas repetidas para asegurar una durabilidad general mejorada.

### **6.6 Discusión de Resultados.**

En la investigación de **Carrasco Rodríguez (2021)** se obtuvo un ligante **PG 64-10** para Cusco, mientras que en el presente estudio se seleccionó un **PG 64-16** al aplicar el criterio de *bumping grade* de la normativa **AASHTO M 320**. La diferencia responde a que Carrasco realizó

un mapeo general de la región, mientras esta tesis ajusta la selección a un contexto urbano con tránsito lento y cargas pesadas, lo que refuerza la importancia de contextualizar los diseños y demuestra la flexibilidad del método Superpave para adaptarse a diferentes escenarios.

Por otro lado, en la tesis de **Ortiz Medina y Henschell Gabriel (2021)** se obtuvo un contenido óptimo de asfalto de **5.5 %** para mezclas modificadas con SBS mediante Superpave, cifra menor que los valores hallados en esta investigación (**5.80 % para la mezcla convencional y 5.65 % para la modificada**). Esta diferencia puede atribuirse a la naturaleza de los agregados cusqueños, que requieren mayor recubrimiento para garantizar la durabilidad. No obstante, ambos trabajos coinciden en que Superpave ofrece valores de ligante más ajustados que Marshall y que la incorporación de SBS influye positivamente en la adherencia y estabilidad de la mezcla.

En el caso de **Laurente Solano (2024)**, se reportaron valores de **módulo dinámico de 1887.3 a 2371.8 MPa** a 20 °C y 10 Hz, muy inferiores a los promedios obtenidos en esta tesis (**5253 MPa en la mezcla convencional y 3149 MPa en la modificada**). Estas diferencias se explican por la adición de SBS, el grado de ligante utilizado y la granulometría de los agregados locales, que favorecen una mayor rigidez estructural. Mientras Laurente evaluó la influencia de la velocidad instantánea sobre el desempeño, este estudio se enfocó en condiciones estandarizadas de carga, lo que permitió obtener valores más altos y consistentes con la realidad de Cusco, confirmando el aporte del SBS frente a la deformación permanente y la acción de la humedad.

Respecto al **TSR**, la mezcla convencional alcanzó un valor de **78.4 %**, por debajo del mínimo exigido (80 %), mientras que la modificada con SBS obtuvo **83.0 %**, cumpliendo con la normativa. Este hallazgo coincide con la literatura que señala la capacidad de los polímeros para mejorar la adherencia ligante-árido y reducir la susceptibilidad a la humedad, mostrando que la modificación polimérica no solo mejora la reología del ligante, sino que garantiza mayor durabilidad frente a las condiciones climáticas locales.

En cuanto al **comportamiento viscoelástico**, si bien la mezcla convencional mostró valores de **E\*** más altos en la mayoría de temperaturas y frecuencias, la modificada presentó un desempeño más estable y predecible, especialmente a altas temperaturas y bajas frecuencias (40 °C – 0.1 Hz). Esto confirma lo señalado en la literatura: el SBS no siempre incrementa el módulo en todo el dominio, pero sí fortalece la elasticidad en condiciones críticas, controla el

ahuellamiento en tráfico lento y mejora la resistencia a la fatiga, lo que se traduce en un desempeño global más favorable.

Finalmente, el estudio de **Apeagyei et al. (2012)** planteó que se puede reducir la matriz de ensayos del módulo dinámico a tres temperaturas (ABBREV), obteniendo diferencias menores al 10 % respecto al método normativo. La presente investigación respalda esta propuesta mediante el uso de una **malla 3x3** (tres temperaturas y tres frecuencias), que permitió resultados confiables y consistentes, a la vez que optimizó recursos y tiempos de laboratorio. Esta coincidencia confirma que los enfoques abreviados, tanto el ABBREV norteamericano como el aplicado en Cusco, son alternativas válidas y prácticas siempre que se adapten a las condiciones locales de materiales, clima y tránsito.



## Capítulo VII: Conclusiones

### 7.1 Generales

1. El estudio comparativo del módulo dinámico, realizado bajo el método volumétrico Superpave, demuestra que la adición de polímero modifica significativamente el comportamiento viscoelástico de las mezclas asfálticas para pavimentos flexibles en Cusco, 2024. En particular, se evidenció que la modificación mejora la resistencia al ahuellamiento a temperaturas intermedias y altas, confirmando la hipótesis general de la investigación.
2. El análisis de las curvas maestras, isométricas y el gráfico Black Space mostró que las mezclas modificadas con polímero presentan un mayor módulo dinámico en condiciones de carga y temperatura críticas, lo que implica un mejor desempeño frente al tráfico pesado y variaciones climáticas de la región, aunque con la necesidad de controlar el riesgo de agrietamiento a bajas temperaturas.

### 7.2 Específicas

1. Los agregados de la cantera **Amaru San Salvador** presentaron la granulometría más adecuada para el diseño Superpave, cumpliendo de manera más eficiente con los requisitos normativos frente a las canteras Carmen Bonita Cay Cay y Vicho San Salvador. Además, su baja presencia de finos plásticos y adecuada trituración mejoraron la adherencia ligante-agregado, redujeron la susceptibilidad al daño por humedad y aumentaron la resistencia al ahuellamiento bajo condiciones de tráfico.
2. El cemento asfáltico **PG 64-16**, seleccionado según el análisis de tráfico y temperatura de Cusco, cumplió con la norma **AASHTO M 320**, garantizando resistencia frente a la deformación permanente, la fatiga y el agrietamiento térmico. Asimismo, este grado de desempeño proporcionó una adecuada trabajabilidad y compactación, lo que asegura el buen comportamiento del pavimento durante su vida útil.
3. El diseño volumétrico Superpave de mezclas modificadas con polímero alcanzó valores dentro de los rangos establecidos: **vacíos de aire (4.1%), vacíos llenos de asfalto (74.8%), vacíos en el agregado mineral (15.9%) y contenido de asfalto efectivo (5.65%)**. En comparación con mezclas convencionales, estas variaciones demostraron

que la modificación con polímero mejora la cohesión interna, el recubrimiento de agregados y, en consecuencia, la resistencia a la fatiga y al ahuellamiento.

4. El análisis del módulo dinámico mediante la curva maestra, las curvas isométricas y el gráfico *Black Space* confirmó que las mezclas modificadas con polímero presentan un comportamiento viscoelástico más favorable que las convencionales. Este desempeño superior se reflejó en mayor rigidez a bajas frecuencias reducidas y un equilibrio más estable a altas frecuencias, lo que contribuye a un pavimento flexible más duradero y resistente bajo condiciones reales de tráfico y clima en Cusco.

## Capítulo VIII: Recomendaciones

### 8.1 Generales

1. Se recomienda incorporar polímeros en el diseño de mezclas asfálticas mediante la metodología Superpave en proyectos de pavimentos flexibles en la región de Cusco, dado que su adición modifica de manera significativa el módulo dinámico y mejora la resistencia al ahuellamiento en condiciones de tráfico pesado y variaciones térmicas.
2. Es recomendable continuar con estudios complementarios que evalúen el desempeño de las mezclas modificadas con polímero en condiciones reales de servicio, considerando periodos de observación a mediano y largo plazo, a fin de validar los beneficios identificados en laboratorio.

### 8.2 Específicas

1. Se recomienda emplear los agregados de la cantera **Amaru San Salvador** como primera alternativa en proyectos de pavimentos en Cusco, ya que presentan una granulometría adecuada, baja presencia de finos plásticos y una trituración favorable que contribuye a la durabilidad de la mezcla.
2. Es recomendable establecer controles periódicos de calidad a los agregados provenientes de otras canteras, como Carmen Bonita Cay Cay y Vicho San Salvador, para verificar si cumplen con los parámetros Superpave, de modo que puedan ser considerados como alternativas en futuras aplicaciones.
3. Se recomienda priorizar el uso del cemento asfáltico **PG 64-16** en el diseño de mezclas modificadas con polímero en Cusco, por su equilibrio frente a la deformación permanente, la fatiga y el agrietamiento térmico. Esto asegura que el pavimento tenga un desempeño confiable en la región.
4. Es recomendable complementar los estudios del cemento asfáltico con ensayos de desempeño a diferentes condiciones climáticas y de tráfico, a fin de evaluar la posibilidad de implementar grados PG alternativos para zonas con mayores exigencias.
5. Se recomienda mantener los parámetros volumétricos obtenidos en esta investigación (**Va = 4.1%, VFA = 74.8%, VMA = 15.9% y CAE = 5.65%**) como valores de referencia en futuros diseños Superpave con polímeros en Cusco, debido a que cumplen con la normativa y optimizan el desempeño mecánico de la mezcla.

6. Es recomendable realizar evaluaciones adicionales comparando los parámetros volumétricos de mezclas con distintos tipos y porcentajes de polímero, con el fin de identificar configuraciones que mejoren aún más la resistencia y durabilidad del pavimento.
7. Se recomienda considerar de manera prioritaria el uso de mezclas modificadas con polímero en vías con alto nivel de tráfico y climas variables, dado que presentaron un comportamiento más estable en las curvas maestras, curvas isométricas y el gráfico *Black Space* frente a las mezclas convencionales.
8. Es recomendable que futuras investigaciones incluyan un análisis más detallado del riesgo de agrietamiento a bajas temperaturas en mezclas modificadas, de modo que se pueda proponer una dosificación óptima de polímero que maximice los beneficios sin comprometer la flexibilidad del pavimento.

## Bibliografía

Aguilar, DA. (2019). *Análisis de Desempeño por Humedad de una Mezcla Asfáltica Convencional con Gradación Marshall y Superpave. Tesis de Titulación, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.*

AVELLAN (2007) Asfaltos modificados con polímeros

Castillo, DG. (2018). *Mitigación del Ahuellamiento, Usando el Método Marshall y Granulometría Superpave en la Carpeta Asfáltica del Tramo: la Oroya – Jauja. Tesis de Titulación, Universidad Cesar Vallejo, Lima.*

Cominsky, R., Huber, G., Kennedy, T. & Anderson, M. (1994). *The Superpave Mix Design Manual for New Construction and Overlays. Strategic Highway Research Program National Research Council, University of Texas at Austin.*

Crespin, RA., Santa Cruz, IE. & Torres, PA. (2012). *Aplicación del Método Marshall y Granulometría Superpave en el Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente con Asfalto Clasificación Grado de Desempeño. Tesis de Titulación, Universidad de El Salvador, San Salvador.*

Guide. MTC. (2013). *MANUAL DE CARRETERAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS*

LATINOAMERICANA, Q. (2010). Técnica de Pavimentación “Cape Seal”: Especificaciones Técnicas y Procedimientos de Trabajo. *QUIMICA LATINOAMERICANA.*

Minaya, S. & Ordoñez, A. (2003). *Superpave y el Diseño de Mezclas Asfálticas.* [Instituto de la Construcción y Gerencia]: Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

Minaya, S. & Ordoñez, A. (2006). *Diseño Moderno De Pavimentos Asfálticos* (2da. Ed). [Instituto de la Construcción y Gerencia]: Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (2014) Manual de Carreteras Diseño geométrico EG-2014.

Mustaque, H. & Fager, G. (2016). *Superpave Volumetric Mixture Design and Analysis Handbook*. [Kansas Department of Transportation]: Kansas State University.

Thomas, H., D'Angelo, J. & Bukowski, J. (2002). *Superpave Asphalt Mixture Design (8va Ed)*. *FHWA National Asphalt Training Center Training Manuals, Asphalt Institute MS & SP Series, & Superpave Lead States Guidelines*.

## Anexos

### Anexo A Tabla de matriz de consistencia



PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	FACTORES	INDICADORES
<b>PROBLEMA GENERAL:</b> ¿Cuál es la influencia de la adición de polímero en el módulo dinámico de mezclas asfálticas modificadas, diseñadas mediante el método volumétrico Superpave, para vías de pavimento flexible en la ciudad del Cusco, 2024?	<b>OBJETIVO GENERAL:</b> Evaluar la <b>influencia</b> de la adición de polímero en el módulo dinámico de mezclas asfálticas modificadas, diseñadas mediante el método volumétrico Superpave, para vías de pavimento flexible, Cusco 2024.	<b>HIPOTESIS GENERAL:</b> La adición de polímero modifica el módulo dinámico de mezclas asfálticas diseñadas mediante el método Superpave, influyendo en su desempeño en vías de pavimento flexible en Cusco, 2024.	DISEÑO VOLUMETRICO DE MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON POLIMERO (X)	<b>X1:</b> AGREGADOS	<b>X11:</b> DESGASTE DE LOS ANGELES
					<b>X12:</b> INTEMPERISMO ACELERADO
					<b>X13:</b> CONTENIDO DE MATERIAL DELETEREO
					<b>X14:</b> ANGULARIDAD Y FORMA
					<b>X15:</b> EQUIVALENTE DE ARENA
					<b>X16:</b> CONTENIDO DE ARCILLA
					<b>X17:</b> GRAVEDAD ESPECIFICA
					<b>X18:</b> GRANULOMETRIA
				<b>X2:</b> LIGANTE ASFALTICO	<b>X212:</b> T MAX DE SERVICIO
					<b>X212:</b> T MIN DE FRAGILIDAD
					<b>X221:</b> NIVEL DE TRAFICO
					<b>X23:</b> ENSAYO DE PELÍCULA FINA EN HORNO ROTATORIO (RTFO)
				<b>X3:</b> DISEÑO VOLUMETRICO	<b>X24:</b> PRESIÓN DE ENVEJECIMIENTO VESSEL (PAV)
					<b>X31:</b> COMPACTADOR GIRATORIO SUPERPAVE
					<b>X32:</b> SENSIBILIDAD AL HUMEDECIMIENTO
			MODULO DINAMICO (Y)	<b>Y1:</b> MÓDULO DINÁMICO	<b>Y11:</b> MODULO DINAMICO

<b>PROBLEMA ESPECIFICO 1:</b> ¿Cuál de las canteras elegidas presenta la mejor selección granulométrica de agregados para el diseño Superpave de mezclas asfálticas modificadas con polímeros en vías de pavimento flexible en Cusco, 2024?	<b>OBJETIVO ESPECIFICO 1:</b> <b>Identificar</b> , entre las canteras elegidas, la mejor selección granulométrica de agregados para el óptimo diseño Superpave de mezclas asfálticas modificadas con polímeros en vías de pavimento flexible, Cusco 2024.	<b>HIPOTESIS ESPECIFICA 1:</b> La selección granulométrica de agregados incide en el diseño Superpave de mezclas asfálticas modificadas con polímeros para vías de pavimento flexible en Cusco, 2024.	<b>X1: AGREGADOS</b>		<b>X11: DESGASTE DE LOS ANGELES</b>
					<b>X12: INTEMPERISMO ACELERADO</b>
					<b>X13: CONTENIDO DE MATERIAL DELETEREO</b>
					<b>X14: ANGULARIDAD Y FORMA</b>
					<b>X15: EQUIVALENTE DE ARENA</b>
					<b>X16: CONTENIDO DE ARCILLA</b>
					<b>X17: GRAVEDAD ESPECIFICA</b>
					<b>X18; GRANULOMETRIA</b>
<b>PROBLEMA ESPECIFICO 2:</b> ¿Qué tipo de cemento asfáltico (PG) resulta óptimo para el diseño volumétrico Superpave de mezclas asfálticas modificadas con polímeros en vías de pavimento flexible en Cusco, 2024?	<b>OBJETIVO ESPECIFICO 2:</b> <b>Precisar</b> el tipo de cemento asfáltico (PG) óptimo para mezclas asfálticas modificadas con polímeros diseñadas mediante el método Superpave en vías de pavimento flexible, Cusco 2024.	<b>HIPOTESIS ESPECIFICA 2:</b> El grado de desempeño (PG) del cemento asfáltico condiciona el comportamiento de mezclas asfálticas modificadas con polímeros diseñadas con el método Superpave en vías de pavimento flexible en Cusco, 2024.	<b>X2: LIGANTE ASFALTICO</b>	<b>X21: GRADO DE PERFORMANCE</b>	<b>X212: T MAX DE SERVICIO</b>
				<b>X22: TRAFICO</b>	<b>X212: T MIN DE FRAGILIDAD</b>
				<b>X2: LIGANTE ASFALTICO</b>	<b>X221: NIVEL DE TRAFICO</b>
					<b>X23: ENSAYO DE PELÍCULA FINA EN HORNO ROTATORIO (RTFO)</b>
					<b>X24: PRESIÓN DE ENVEJECIMIENTO VESSEL (PAV)</b>
					<b>X26: REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO (DSR)</b>
<b>PROBLEMA ESPECIFICO 3:</b> ¿Cómo varían los parámetros volumétricos de vacíos de aire, vacíos llenos de asfalto, vacíos en el agregado mineral y contenido de asfalto efectivo, entre mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímero diseñadas mediante el método Superpave para vías de pavimento flexible en Cusco, 2024?	<b>OBJETIVO ESPECIFICO 3:</b> <b>Comparar</b> los parámetros volumétricos de vacíos de aire, vacíos llenos de asfalto, vacíos en el agregado mineral y contenido de asfalto efectivo; entre mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímero, diseñadas mediante el método Superpave para vías de pavimento flexible, Cusco 2024.	<b>HIPOTESIS ESPECIFICA 3:</b> Los parámetros volumétricos de vacíos de aire, vacíos llenos de asfalto, vacíos en el agregado mineral y contenido de asfalto efectivo, varían entre mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímero diseñadas mediante el método Superpave en Cusco, 2024.	<b>X3: DISEÑO VOLUMETRICO</b>		<b>X31: COMPACTADOR GIRATORIO SUPERPAVE</b>
			<b>Y1: MODULO DINAMICO</b>		<b>X32: SENSIBILIDAD AL HUMEDECIMIENTO</b>
					<b>X53: MODULO DINAMICO</b>
<b>PROBLEMA ESPECIFICO 4:</b> ¿En qué medida el comportamiento del módulo dinámico, representado en la curva maestra, las curvas isométricas y el gráfico Black Space, difiere entre mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímero diseñadas con el método Superpave en vías de pavimento flexible en Cusco, 2024?	<b>OBJETIVO ESPECIFICO 4:</b> <b>Analizar</b> el comportamiento del módulo dinámico mediante la curva maestra, las curvas isométricas y el gráfico Black Space, entre mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímero diseñadas con el método Superpave en vías de pavimento flexible, Cusco 2024.	<b>HIPOTESIS ESPECIFICA 4:</b> El módulo dinámico, representado en la curva maestra, las curvas isométricas y el gráfico Black Space, presenta diferencias entre mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímero diseñadas con el método Superpave en Cusco, 2024.	<b>Y1: MODULO DINAMICO</b>		<b>X53: MODULO DINAMICO</b>



## Anexo B Estudio de Tráfico Vehicular para Diseño de Pavimento

### ESTUDIO DE TRÁFICO

	<p align="center"><b>TESIS: “EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024”</b></p>	
---	---	---

Referencia Normativa: **MANUAL DE CARRETERAS: DISEÑO GEOMETRICO DG-2018**

**RESPONSABLES:** Bach. Rodriguez Suri, Edut

**FECHA:** 09-10-2024

Bach. Zuñiga Orccohuaranca Jean Jaret

### 1. Datos Generales

#### 1.1. Ubicación de la Vía y Localización de Estación de Control

##### – Ubicación de la Vía

La vía en estudio corresponde a la Av. Cusco, ubicada en el distrito de San Sebastián, Provincia del Cusco. Vía que interconecta la Av. La Cultura con la Vía Expresa, además de contar con distintos ramales.

#### **Ilustración 1** Ubicación de la Av. Cusco en el distrito de San Sebastián



### – Estación de Control

El punto de control se ubicó en la Av. Cusco cerca al mercado de San Sebastián, teniendo las siguientes coordenadas UTM:

DATOS		UBICACIÓN	
DATUMS	WGS84	DISTRITO	SAN SEBASTIAN
ZONA	19 L	PROVINCIA	CUSCO
ESTE	182309.57	DEPARTAMENTO	CUSCO
NORTE	8502252.52		

**Ilustración 2** Ubicación de punto de control de la Av. Cusco en el distrito de San Sebastián



### 1.2. Tipo de Vía

Según el uso la vía, corresponde a una vía urbana clasificada como vía principal o de primer orden sobre el cual transitan vehículos ligeros y vehículos pesados.

### 1.3. Número de Carriles

La vía consta de 2 carriles en dos direcciones, 1 de subida y otra de bajada

### 1.4. Método de Análisis de Tráfico

La proyección del tráfico se realizará en base al método de factor camión













## 2. Análisis de Información del Conteo vehicular



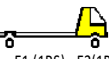
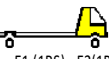








### 2.1. Cálculo del Trafico Promedio Diario Semanal de Vehículos Llenos y Vacíos

$$TS = \sum \text{Vehiculos llenos o vacios}; TPDS = \frac{\sum \text{Vehiculos llenos o vacios}}{7}$$

#### Ilustración 3 Aforo de vehículos ligeros y buses (llenos y vacíos)

DÍA	VEHICULOS LIGEROS  AUTOS, CAMIONETAS	BUSES									
		B-2						B-3-1		B-4-1	
		PESO LIVIANO		PESO MEDIANO		PESADO					
											
		E1 (1RS)	E2(1RS)	E1 (1RS)	E2(1RD)						
		VACIO	LLENO	VACIO	LLENO	VACIO	LLENO	VACIO	LLENO	VACIO	LLENO
lunes 09 setiembre	8,602	34	288	126	497	5	74	4	50	0	0
Martes 10 setiembre	9,574	103	257	223	1022	44	79	19	33	0	0
Miércoles 11 setiembre	9,758	92	266	229	1010	57	53	15	22	0	0
Jueves 12 setiembre	9,523	99	189	225	1041	33	104	30	37	0	0
Viernes 13 setiembre	9,832	61	281	181	1012	17	127	23	49	0	0
Sábado 07 setiembre	10,122	79	389	275	1049	33	111	15	43	0	0
Domingo 08 setiembre	10,677	78	334	266	922	11	137	44	47	0	0
Tráfico Semanal (TS)		546.57	2003.43	1525.90	6552.96	199.80	684.57	150.59	281.00	0.00	0.00
TPDS		78.08	286.20	217.99	936.14	28.54	97.80	21.51	40.14	0.00	0.00
PESO VEHICULAR POR EJES											
PESOS EJE DELANTERO (Toneladas)		1.10	1.50	1.50	2.30	4.80	6.40	5.10	6.50	4.5 + 4.5	7 + 7
PESO EJE POSTERIOR 1er Eje (Toneladas)		1.80	2.60	2.50	3.90	7.90	10.60	12.10	15.50	10.50	16.10
PESO EJE POSTERIOR 2do Eje (Toneladas)											
PESO EJE POSTERIOR 3er. Eje (Toneladas)											
PESO EJE POSTERIOR 4to Eje (Toneladas)											
PESO TOTAL VEHICULAR		2.90	4.10	4.00	6.20	12.70	17.00	17.20	22.00	19.50	30.10

#### Ilustración 4 Aforo de vehículos ligeros y camiones (llenos y vacíos)

DÍA	VEHICULOS LIGEROS  AUTOS, CAMIONETAS	CAMION											
		C-2						C-3		C-4		8x4	
		PESO LIVIANO		PESO MEDIANO		PESADO							
													
		E2 (1RS)	E1(1RS)	E1 (1RS)	E2(1RD)								
		VACIO	LLENO	VACIO	LLENO	VACIO	LLENO	VACIO	LLENO	VACIO	LLENO	VACIO	LLENO
lunes 09 setiembre	8,602	19	51	13	32	8	32	4	11	1	5	0	0
Martes 10 setiembre	9,574	97	346	79	203	52	203	12	42	0	5	0	0
Miércoles 11 setiembre	9,758	77	349	38	230	26	230	13	32	0	2	0	0
Jueves 12 setiembre	9,523	148	236	77	174	52	174	26	58	3	4	0	0
Viernes 13 setiembre	9,832	114	239	81	147	54	147	27	49	1	4	0	0
Sábado 07 setiembre	10,122	75	270	46	173	30	173	15	58	1	2	0	0
Domingo 08 setiembre	10,677	222	205	160	126	107	126	53	42	1	2	0	0
Tráfico Semanal (TS)		752.94	1696.84	494.01	1085.81	329.34	1085.81	150.42	291.74	7.00	24.00	0.00	0.00
TPDS		107.56	242.41	70.57	155.12	47.05	155.12	21.49	41.68	1.00	3.43	0.00	0.00
PESO VEHICULAR POR EJES													
PESOS EJE DELANTERO (Toneladas)		1.43	2.57	1.63	3.26	3.71	6.60	1.90	6.76	2.33	7.10	3.5 + 3.5	6.5 + 6.5
PESO EJE POSTERIOR 1er Eje (Toneladas)		2.37	4.23	2.69	5.39	6.13	10.90	5.20	18.24	7.67	23.00	8.00	17.50
PESO EJE POSTERIOR 2do Eje (Toneladas)													
PESO EJE POSTERIOR 3er. Eje (Toneladas)													
PESO EJE POSTERIOR 4to Eje (Toneladas)													
PESO TOTAL VEHICULAR		3.80	6.80	4.32	8.65	9.84	17.50	7.10	25.00	10.00	30.10	15.00	30.50

## 2.2. Cálculo de Factor Carril, Factor de Corrección Estacional y Trafico Promedio diario

### - Factor Carril

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

$$Fc = Fd * Fc$$

$$Fc = 0.5 * 1.00$$

$$Fc = 0.50$$

### - Factor Corrección Estacional

MESES	SICUYANI 1/	FCEmes
OCTUBRE	10750.00	0.942404
NOVIEMBRE	9561.00	1.059601
DICIEMBRE	11546.00	0.877433
ENERO	9979.00	1.015217
FEBRERO	10335.00	0.980246
MARZO	9272.00	1.092628
ABRIL	9526.00	1.063494
MAYO	9709.00	1.043449
JUNIO	9772.00	1.036722
JULIO	10901.00	0.929350
AGOSTO	11452.00	0.884636
SEPTIEMBRE	9401.00	1.077635
OCTUBRE	9497.00	1.066742
<b>PROMEDIO</b>	<b>10130.85</b>	

$$Prom. flujo = \frac{\sum \text{valores 12 meses}}{12}$$

$$FCEmes = \frac{Prom, flujo}{flujo del mes}$$

$$FCEmes = \frac{10130.85}{9401.00}$$

$$FCEm(septiembre) = 1.077$$

### - Trafico Promedio Diario

RESUMEN TPDS			TPDI	
VEHÍCULO	VACÍO	LLENO	VACÍO	LLENO
B2 - Liviano	78.082	286.204	42.072	154.212
B2 - Mediano	217.986	936.137	117.455	504.407
B2 - Pesado	28.543	97.796	15.380	52.694
B3-1	21.513	40.143	11.591	21.630
B4-1	0.000	0.000	0.000	0.000
C2 - Liviano	107.563	242.405	57.957	130.612
C2 - Mediano	70.572	155.116	38.026	83.579
C2 - Pesado	47.048	155.116	25.350	83.579
C3	21.489	41.677	11.579	22.456
C4	1.000	3.429	0.539	1.847
8x4	0.000	0.000	0.000	0.000
T2S2	0.000	0.000	0.000	0.000

$$TPDI = TPDS * Fc * FCEm$$

$$TPDI_{B2} = 78.082 * 0.5 * 1.077$$


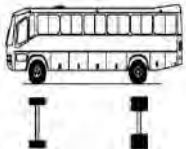

$$TPDI_{B2-vacio} = 42.072$$

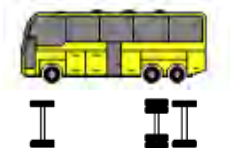
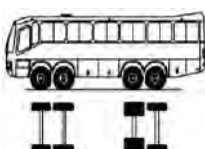

$$TPDI_{B2} = 286.204 * 0.5 * 1.077$$

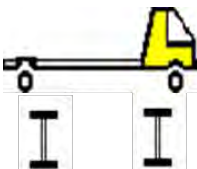
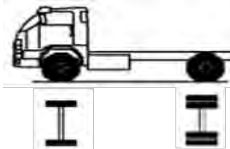
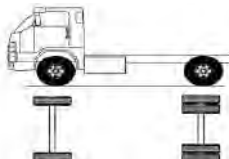
$$TPDI_{B2-lleno} = 154.221$$

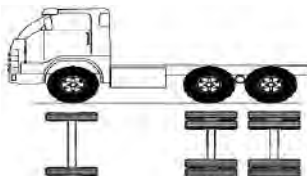
### 2.3. Cálculo de Factor Equivalencia y Factor Camión

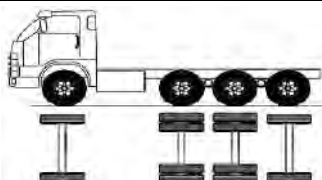
#### – Cálculo de Pesos Corregidos Vehículos Llenos

Configuración vehicular	Descripción grafica de los vehículos	Longitud máxima (m)	Peso máximo (t)							Peso bruto máximo (t)
			Eje delantero	Conjunto de ejes posteriores						
				1°	2°	3°	4°	6°	7°	
B2 (PESO LIVIANO)		13.2	7	7						14
	Límite Máximo Con Incremento Del 3%		7.21	7.21	0	0	0	0	0	14.42
	Información Del Censo Vehicular De Pesos		1.5	2.6						4.1
	CUMPLE LA NORMA		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	PESO POR EJE CORREGIDO		1.5	2.6						4.1
	CORRECCION		CENSO	CENSO						
Configuración vehicular	Descripción grafica de los vehículos	Longitud máxima (m)	Peso máximo (t)							Peso bruto máximo (t)
			Eje delantero	Conjunto de ejes posteriores						
				1°	2°	3°	4°	6°	7°	
B2 (PESO MEDIANO)		13.2	7	11						18
	Límite Máximo Con Incremento Del 3%		7.21	11.33	0	0	0	0	0	18.54
	Información Del Censo Vehicular De Pesos		2.30	3.90						6.2
	CUMPLE LA NORMA		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	PESO POR EJE CORREGIDO		2.30	3.90						6.20
	CORRECCION		CENSO	CENSO						
Configuración vehicular	Descripción grafica de los vehículos	Longitud máxima (m)	Peso máximo (t)							Peso bruto máximo (t)
			Eje delantero	Conjunto de ejes posteriores						
				1°	2°	3°	4°	6°	7°	
B2 (PESO PESADO)		13.2	7	11						18
	Límite Máximo Con Incremento Del 3%		7.21	11.33	0	0	0	0	0	18.54
	Información Del Censo Vehicular De Pesos		6.40	10.60						17.00
	CUMPLE LA NORMA		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	PESO POR EJE CORREGIDO		6.40	10.60						17.00
	CORRECCION		CENSO	CENSO						

Configuración vehicular	Descripción grafica de los vehículos	Longitud máxima (m)	Peso máximo (t)							Peso bruto máximo (t)
			Eje delantero	Conjunto de ejes posteriores						
				1°	2°	3°	4°	6°	7°	
B3 - 1		14	7	16						23
	Límite Máximo Con Incremento Del 3%		7.21	16.48	0	0	0	0	0	23.69
	Información Del Censo Vehicular De Pesos		6.50	15.50						22.00
	CUMPLE LA NORMA		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	PESO POR EJE CORREGIDO		6.50	15.50						22.00
	CORRECCION		CENSO	CENSO						
Configuración vehicular	Descripción grafica de los vehículos	Longitud máxima (m)	Peso máximo (t)							Peso bruto máximo (t)
			Eje delantero	Conjunto de ejes posteriores						
				1°	2°	3°	4°	6°	7°	
B4 - 1		15	7+7	16						30
	Límite Máximo Con Incremento Del 3%		7.21 + 7.21	16.48	0	0	0	0	0	30.9
	Información Del Censo Vehicular De Pesos		7 + 7	16.1						30.1
	CUMPLE LA NORMA		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	PESO POR EJE CORREGIDO		7 + 7	16.1						30.1
	CORRECCION		CENSO	CENSO						
Configuración vehicular	Descripción grafica de los vehículos	Longitud máxima (m)	Peso máximo (t)							Peso bruto máximo (t)
			Eje delantero	Conjunto de ejes posteriores						
				1°	2°	3°	4°	6°	7°	
B2 (PESO PESADO)		13.2	7	11						18
	Límite Máximo Con Incremento Del 3%		7.21	11.33	0	0	0	0	0	18.54
	Información Del Censo Vehicular De Pesos		6.40	10.60						17.00
	CUMPLE LA NORMA		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	PESO POR EJE CORREGIDO		6.40	10.60						17.00
	CORRECCION		CENSO	CENSO						

Configuración vehicular	Descripción grafica de los vehículos	Longitud máxima (m)	Peso máximo (t)							Peso bruto máximo (t)
			Eje delantero	Conjunto de ejes posteriores						
				1°	2°	3°	4°	6°	7°	
C2 (PESO LIVIANO)		12.3	7	7						14
	Límite Máximo Con Incremento Del 3%		7.21	7.21	0	0	0	0	0	14.42
	Información Del Censo Vehicular De Pesos		2.57	4.23						6.8
	CUMPLE LA NORMA		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	PESO POR EJE CORREGIDO		2.57	4.23						6.8
	CORRECCION		CENSO	CENSO						
Configuración vehicular	Descripción grafica de los vehículos	Longitud máxima (m)	Eje delantero	Peso máximo (t)						Peso bruto máximo (t)
				Conjunto de ejes posteriores						
				1°	2°	3°	4°	6°	7°	
C2 (PESO MEDIANO)		12.3	7	11						18
	Límite Máximo Con Incremento Del 3%		7.21	11.33	0	0	0	0	0	18.54
	Información Del Censo Vehicular De Pesos		3.26	5.39						8.65
	CUMPLE LA NORMA		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	PESO POR EJE CORREGIDO		3.26	5.39						8.65
	CORRECCION		CENSO	CENSO						
Configuración vehicular	Descripción grafica de los vehículos	Longitud máxima (m)	Eje delantero	Peso máximo (t)						Peso bruto máximo (t)
				Conjunto de ejes posteriores						
				1°	2°	3°	4°	6°	7°	
C2 (PESO PESADO)		12.3	7	11						18
	Límite Máximo Con Incremento Del 3%		7.21	11.33	0	0	0	0	0	18.54
	Información Del Censo Vehicular De Pesos		6.60	10.90						17.50
	CUMPLE LA NORMA		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	PESO POR EJE CORREGIDO		6.60	10.90						17.50
	CORRECCION		CENSO	CENSO						




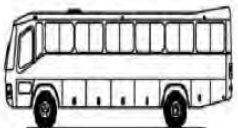





Configuración vehicular	Descripción grafica de los vehículos	Longitud máxima (m)	Eje delantero	Peso máximo (t)							Peso bruto máximo (t)
				Conjunto de ejes posteriores							
				1°	2°	3°	4°	6°	7°		
C3		13.2	7	18						25	
	Límite Máximo Con Incremento Del 3%	7.21	18.54	0	0	0	0	0	25.75		
	Información Del Censo Vehicular De Pesos	6.76	18.24						25.00		
	CUMPLE LA NORMA	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI		
	PESO POR EJE CORREGIDO	6.76	18.24						25.00		
	CORRECCION		CENSO	CENSO							



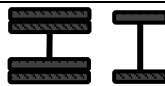
Configuración vehicular	Descripción grafica de los vehículos	Longitud máxima (m)	Eje delantero	Peso máximo (t)							Peso bruto máximo (t)
				Conjunto de ejes posteriores							
				1°	2°	3°	4°	6°	7°		
C4		13.2	7	23						30	
	Límite Máximo Con Incremento Del 3%	7.21	23.69	0	0	0	0	0	30.9		
	Información Del Censo Vehicular De Pesos	7.10	23.00						30.10		
	CUMPLE LA NORMA	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI		
	PESO POR EJE CORREGIDO	7.10	23.00						30.10		
	CORRECCION		CENSO	CENSO							




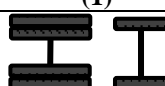
– Factor Camión y Factor de Equivalencia (Vehículos Llenos)

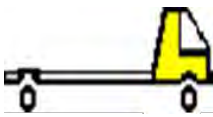


Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE <sub>8.2 ton</sub> )
Eje Simple de ruedas simples (EE <sub>S1</sub> )	EE <sub>S1</sub> = [ P / 6.6 ] <sup>4.1</sup>
Eje Simple de ruedas dobles (EE <sub>S2</sub> )	EE <sub>S2</sub> = [ P / 8.2 ] <sup>4.1</sup>
Eje Tandem ( 1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple ) (EE <sub>TA1</sub> )	EE <sub>TA1</sub> = [ P / 13.0 ] <sup>4.1</sup>
Eje Tandem ( 2 ejes de ruedas dobles ) (EE <sub>TA2</sub> )	EE <sub>TA2</sub> = [ P / 13.3 ] <sup>4.1</sup>
Ejes Tridem ( 2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple ) (EE <sub>TR1</sub> )	EE <sub>TR1</sub> = [ P / 16.6 ] <sup>4.0</sup>
Ejes Tridem ( 3 ejes de ruedas dobles ) (EE <sub>TR2</sub> )	EE <sub>TR2</sub> = [ P / 17.5 ] <sup>4.0</sup>
P = peso real por eje en toneladas	

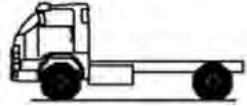







Configuración Vehicular	Descripción gráfica de los vehículos		Eje delantero	Ejes Posteriores				Long. Máx. (m)
				(1)	(2)	(3)	(4)	
B-2 (liviano)		Gráfica de ejes						5.24
		Tipo de ejes	Eje Simple	Eje Simple				Peso bruto máximo (tn)
		Tipo de ruedas	1RS	1RS				
		INFORMACIÓN DEL CENSO VEHICULAR DE PESOS			1.50	2.60		
FACTOR DE EJE EQUIVALENTE (E.E.)			$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4$	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4$			Factor Camión (F.C.)	
FL			0.0027	0.0241			0.0268	
Configuración Vehicular	Descripción gráfica de los vehículos		Eje delantero	Ejes Posteriores				Long. Máx. (m)
				(1)	(2)	(3)	(4)	
B-2 (mediano)		Gráfica de ejes						9.90
		Tipo de ejes	Eje Simple	Eje Simple				Peso bruto máximo (tn)
		Tipo de ruedas	1RS	1RD				
		INFORMACIÓN DEL CENSO VEHICULAR DE PESOS			2.30	3.90		
FACTOR DE EJE EQUIVALENTE (E.E.)			$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4$	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{8.2}\right)^4$			Factor Camión (F.C.)	
FL			0.0147	0.0512			0.0659	
Configuración Vehicular	Descripción gráfica de los vehículos		Eje delantero	Ejes Posteriores				Long. Máx. (m)
				(1)	(2)	(3)	(4)	
B-2 (pesado)		Gráfica de ejes						13.20
		Tipo de ejes	Eje Simple	Eje Simple				Peso bruto máximo (tn)
		Tipo de ruedas	1RS	1RD				
		INFORMACIÓN DEL CENSO VEHICULAR DE PESOS			6.40	10.60		
FACTOR DE EJE EQUIVALENTE (E.E.)			$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4$	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{8.2}\right)^4$			Factor Camión (F.C.)	
FL			0.8842	2.7923			3.6765	

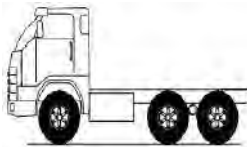


Configuración Vehicular	Descripción gráfica de los vehículos		Eje delantero	Ejes Posteriores				Long. Máx. (m)
				(1)	(2)	(3)	(4)	
B-3-1		Gráfica de ejes						14.00
		Tipo de ejes	Eje Simple	Eje Tandem				Peso bruto máximo (tn)
		Tipo de ruedas	1RS	1RD+1RS				
INFORMACIÓN DEL CENSO VEHICULAR DE PESOS			6.50	15.50				22.00
FACTOR DE EJE EQUIVALENTE (E.E.)			$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4$	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{14.8}\right)^4$				Factor Camión (F.C.)
FL			0.9408	1.2030				2.1438

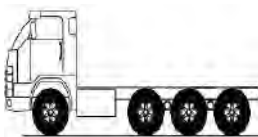







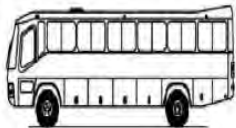


Configuración Vehicular	Descripción gráfica de los vehículos		Eje delantero	Ejes Posteriores				Long. Máx. (m)
				(1)	(2)	(3)	(4)	
B-4-1		Gráfica de ejes	 					15.00
		Tipo de ejes	Eje Simple	Eje Tandem				Peso bruto máximo (tn)
		Tipo de ruedas	1RS+1RS	1RD+1RS				
INFORMACIÓN DEL CENSO VEHICULAR DE PESOS			7.00+7.00	16.10				30.10
FACTOR DE EJE EQUIVALENTE (E.E.)			$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4$	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{14.8}\right)^4$				Factor Camión (F.C.)
FL			2.5307	1.4004				3.9311











Configuración Vehicular	Descripción gráfica de los vehículos		Eje delantero	Ejes Posteriores				Long. Máx. (m)
				(1)	(2)	(3)	(4)	
C-2 (liviano)		Gráfica de ejes						3.50
		Tipo de ejes	Eje Simple	Eje Simple				Peso bruto máximo (tn)
		Tipo de ruedas	1RS	1RS				
INFORMACIÓN DEL CENSO VEHICULAR DE PESOS			2.53	4.23				6.76
FACTOR DE EJE EQUIVALENTE (E.E.)			$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4$	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4$				Factor Camión (F.C.)
FL			0.0216	0.1687				0.1903




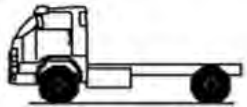





Configuración Vehicular	Descripción gráfica de los vehículos		Eje delantero	Ejes Posteriores				Long. Máx. (m)
				(1)	(2)	(3)	(4)	
C-2 (mediano)		Gráfica de ejes						5.73
		Tipo de ejes	Eje Simple	Eje Simple				Peso bruto máximo (tn)
		Tipo de ruedas	1RS	1RD				
		INFORMACIÓN DEL CENSO VEHICULAR DE PESOS			6.50	15.50		
FACTOR DE EJE EQUIVALENTE (E.E.)			$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4$	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{8.2}\right)^4$			Factor Camión (F.C.)	
FL			0.0595	0.1867			0.2462	

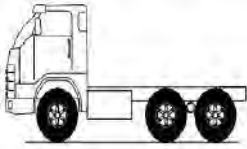


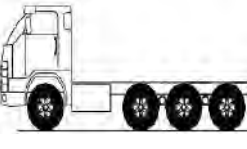



Configuración Vehicular	Descripción gráfica de los vehículos		Eje delantero	Ejes Posteriores				Long. Máx. (m)
				(1)	(2)	(3)	(4)	
C-2 (pesado)		Gráfica de ejes						12.30
		Tipo de ejes	Eje Simple	Eje Simple				Peso bruto máximo (tn)
		Tipo de ruedas	1RS	1RD				
		INFORMACIÓN DEL CENSO VEHICULAR DE PESOS			6.60	10.90		
FACTOR DE EJE EQUIVALENTE (E.E.)			$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4$	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{8.2}\right)^4$			Factor Camión (F.C.)	
FL			1.0000	3.1221			4.1221	

Configuración Vehicular	Descripción gráfica de los vehículos		Eje delantero	Ejes Posteriores				Long. Máx. (m)
				(1)	(2)	(3)	(4)	
C-3		Gráfica de ejes						13.20
		Tipo de ejes	Eje Simple	Eje Tandem				Peso bruto máximo (tn)
		Tipo de ruedas	1RS	2RD				
		INFORMACIÓN DEL CENSO VEHICULAR DE PESOS			6.76	18.24		
FACTOR DE EJE EQUIVALENTE (E.E.)			$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4$	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{15.1}\right)^4$			Factor Camión (F.C.)	
FL			1.1006	2.1291			3.2296	

Configuración Vehicular	Descripción gráfica de los vehículos		Eje delantero	Ejes Posteriores				Long. Máx. (m)
				(1)	(2)	(3)	(4)	
C-4		Gráfica de ejes						13.20
		Tipo de ejes	Eje Simple	Eje Simple				Peso bruto máximo (tn)
		Tipo de ruedas	1RS	2RD+1RS				
		INFORMACIÓN DEL CENSO VEHICULAR DE PESOS			7.10	23.00		
FACTOR DE EJE EQUIVALENTE (E.E.)			$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4$	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{20.7}\right)^{3.9}$				Factor Camión (F.C.)
FL			1.3392	1.5082				2.8474
- Factor Camión y Factor de Equivalencia (Vehículos Vacíos)								
Configuración Vehicular	Descripción gráfica de los vehículos		Eje delantero	Ejes Posteriores			Long. Máx. (m)	
				(1)	(2)	(3)		
B-2 (liviano)		Gráfica de ejes					5.24	
		Tipo de ejes	Eje Simple	Eje Simple			Peso bruto máximo (tn)	
		Tipo de ruedas	1RS	1RS				
		INFORMACIÓN DEL CENSO VEHICULAR DE PESOS			1.10	1.80		
FACTOR DE EJE EQUIVALENTE (E.E.)			$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4$	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4$			Factor Camión (F.C.)	
FL			0.0008	0.0055			0.0063	
Configuración Vehicular	Descripción gráfica de los vehículos		Eje delantero	Ejes Posteriores				Long. Máx. (m)
				(1)	(2)	(3)	(4)	
B-2 (mediano)		Gráfica de ejes						9.90
		Tipo de ejes	Eje Simple	Eje Simple				Peso bruto máximo (tn)
		Tipo de ruedas	1RS	1RD				
		INFORMACIÓN DEL CENSO VEHICULAR DE PESOS			1.50	2.50		
FACTOR DE EJE EQUIVALENTE (E.E.)			$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4$	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{8.2}\right)^4$				Factor Camión (F.C.)
FL			0.0027	0.0086				0.0113

Configuración Vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Eje delantero	Ejes Posteriores				Long. Máx. (m)
			(1)	(2)	(3)	(4)	
B-2 (pesado)		Gráfica de ejes					13.20
		Tipo de ejes	Eje Simple	Eje Simple			Peso bruto máximo (tn)
		Tipo de ruedas	1RS	1RD			
		INFORMACIÓN DEL CENSO VEHICULAR DE PESOS	4.80	7.90			12.70
		FACTOR DE EJE EQUIVALENTE (E.E.)	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4$	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{8.2}\right)^4$			Factor Camión (F.C.)
		FL	0.2798	0.8615			1.1413
Configuración Vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Eje delantero	Ejes Posteriores				Long. Máx. (m)
			(1)	(2)	(3)	(4)	
B-3-1		Gráfica de ejes					14.00
		Tipo de ejes	Eje Simple	Eje Tandem			Peso bruto máximo (tn)
		Tipo de ruedas	1RS	1RD+1RS			
		INFORMACIÓN DEL CENSO VEHICULAR DE PESOS	5.10	12.10			17.20
		FACTOR DE EJE EQUIVALENTE (E.E.)	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4$	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{14.8}\right)^4$			Factor Camión (F.C.)
		FL	0.3565	0.4468			0.8033
Configuración Vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Eje delantero	Ejes Posteriores				Long. Máx. (m)
			(1)	(2)	(3)	(4)	
B-4-1		Gráfica de ejes					15.00
		Tipo de ejes	Eje Simple	Eje Simple	Eje Tandem		Peso bruto máximo (tn)
		Tipo de ruedas	1RS+1RS	1RD+1RS			
		INFORMACIÓN DEL CENSO VEHICULAR DE PESOS	4.50+4.50	10.50			19.50
		FACTOR DE EJE EQUIVALENTE (E.E.)	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4$	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{14.8}\right)^4$			Factor Camión (F.C.)
		FL	0.4322	0.2533			0.6856

Configuración Vehicular	Descripción gráfica de los vehículos		Eje delantero	Ejes Posteriores				Long. Máx. (m)
				(1)	(2)	(3)	(4)	
C-2 (liviano)		Gráfica de ejes						3.50
		Tipo de ejes	Eje Simple	Eje Simple				Peso bruto máximo (tn)
		Tipo de ruedas	1RS	1RS				
		INFORMACIÓN DEL CENSO VEHICULAR DE PESOS	1.43	2.37				3.80
		FACTOR DE EJE EQUIVALENTE (E.E.)	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4$	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4$				Factor Camión (F.C.)
		FL	0.0022	0.0166				0.0188
Configuración Vehicular	Descripción gráfica de los vehículos		Eje delantero	Ejes Posteriores				Long. Máx. (m)
				(1)	(2)	(3)	(4)	
C-2 (mediano)		Gráfica de ejes						5.73
		Tipo de ejes	Eje Simple	Eje Simple				Peso bruto máximo (tn)
		Tipo de ruedas	1RS	1RD				
		INFORMACIÓN DEL CENSO VEHICULAR DE PESOS	1.63	2.69				4.32
		FACTOR DE EJE EQUIVALENTE (E.E.)	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4$	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{8.2}\right)^4$				Factor Camión (F.C.)
		FL	0.0037	0.0116				0.0153
Configuración Vehicular	Descripción gráfica de los vehículos		Eje delantero	Ejes Posteriores				Long. Máx. (m)
				(1)	(2)	(3)	(4)	
C-2 (pesado)		Gráfica de ejes						12.30
		Tipo de ejes	Eje Simple	Eje Simple				Peso bruto máximo (tn)
		Tipo de ruedas	1RS	1RD				
		INFORMACIÓN DEL CENSO VEHICULAR DE PESOS	3.71	6.13				9.84
		FACTOR DE EJE EQUIVALENTE (E.E.)	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4$	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{8.2}\right)^4$				Factor Camión (F.C.)
		FL	0.0998	0.3123				0.4122

Configuración Vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Eje delantero	Ejes Posteriores				Long. Máx. (m)
			(1)	(2)	(3)	(4)	
C3		Gráfica de ejes					13.20
		Tipo de ejes	Eje Simple	Eje Tandem			Peso bruto máximo (tn)
		Tipo de ruedas	1RS	2RD			
		INFORMACIÓN DEL CENSO VEHICULAR DE PESOS	1.90	5.20			7.10
		FACTOR DE EJE EQUIVALENTE (E.E.)	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4$	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{15.1}\right)^4$			Factor Camión (F.C.)
		FL	0.0069	0.0141			0.0209
C4		Gráfica de ejes					13.20
		Tipo de ejes	Eje Simple	Eje Simple			Peso bruto máximo (tn)
		Tipo de ruedas	1RS	2RD+1RS			
		INFORMACIÓN DEL CENSO VEHICULAR DE PESOS	2.33	7.67			10.00
		FACTOR DE EJE EQUIVALENTE (E.E.)	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^4$	$EE_{S1} = \left(\frac{P}{20.7}\right)^{3.9}$			Factor Camión (F.C.)
		FL	0.0155	0.0208			0.0363
– Tráfico Promedio Diario Equivalente							
RESUMEN TPDI			FACTOR CAMION		N18		
VEHÍCULO	VACÍO	LLENO	FC VACIO	FC LLENO	FC VACIO	FC LLENO	
B2 - Liviano	42.072	154.212	0.006	0.027	0.265	4.125	
B2 - Mediano	117.455	504.407	0.011	0.066	1.328	33.249	
B2 - Pesado	15.380	52.694	1.141	3.677	17.552	193.731	$N_{18vacio} = TPDI_{vacio} * FC_{vacio}$
B3-1	11.591	21.630	0.803	2.144	9.312	46.370	
B4-1	0.000	0.000	0.686	3.931	0.000	0.000	$N_{18lleno} = TPDI_{lleno} * FC_{lleno}$
C2 - Liviano	57.957	130.612	0.019	0.190	1.091	24.858	
C2 - Mediano	38.026	83.579	0.015	0.246	0.582	20.578	
C2 - Pesado	25.350	83.579	0.412	4.122	10.448	344.523	
C3	11.579	22.456	0.021	3.230	0.242	72.526	
C4	0.539	1.847	0.036	2.847	0.020	5.260	
8x4	0.000	0.000	0.237	3.686	0.000	0.000	

## 2.4. Cálculo de Factor de Presión de Neumático y Proyección para 1 Año

### - Factor de Presión de Neumático

Espesor de Capa de Rodadura (mm)	Presión de Contaco del Neumático (PCN) en psc PCN = 0.90x[Presión de inflado del neumático] (pai)						
	80	90	100	110	120	130	140
50	1.00	1.30	1.80	2.13	2.91	3.59	4.37
60	1.00	1.33	1.72	2.18	2.69	3.27	3.92
70	1.00	1.30	1.65	2.05	2.49	2.99	3.53
80	1.00	1.28	1.59	1.94	2.32	2.74	3.20
90	1.00	1.25	1.53	1.84	2.17	2.52	2.91
100	1.00	1.23	1.48	1.75	2.04	2.35	2.68
110	1.00	1.21	1.43	1.66	1.91	2.17	2.44
120	1.00	1.19	1.38	1.59	1.80	2.02	2.25
130	1.00	1.17	1.34	1.52	1.70	1.89	2.09
140	1.00	1.15	1.30	1.46	1.62	1.78	1.94
150	1.00	1.13	1.26	1.39	1.52	1.66	1.79
160	1.00	1.12	1.24	1.36	1.47	1.59	1.71
170	1.00	1.11	1.21	1.31	1.41	1.51	1.61
180	1.00	1.09	1.18	1.27	1.36	1.45	1.53
190	1.00	1.08	1.16	1.24	1.31	1.39	1.46
200	1.00	1.08	1.15	1.22	1.28	1.35	1.41

$$e = 110mm$$

$$PIN = 95.00 PSI$$

$$PCN = 0.9 * PIN$$

$$PCN = 0.9 * 95.00$$

$$PCN = 85.50$$

$$\frac{90 - 85.5}{85.5 - 80} = \frac{1.21 - Fp}{Fp - 1}$$

$$Fp = 1.116$$

### - Cálculo de ESAL para 1 año

$$ESAL_{vacío} (1 \text{ año}) = N_{18vacío} * Fp * 365$$

$$ESAL_{lleno} (1 \text{ año}) = N_{18lleno} * Fp * 365$$

RESUMEN TPDI			FACTOR CAMION		N18		ESSAL 1 AÑO	
VEHÍCULO	VACÍO	LLENO	FC VACIO	FC LLENO	FC VACIO	FC LLENO	FC VACIO	FC LLENO
B2 - Liviano	42.072	154.212	0.006	0.027	0.265	4.125	107.987	1679.679
B2 - Mediano	117.455	504.407	0.011	0.066	1.328	33.249	540.771	13537.503
B2 - Pesado	15.380	52.694	1.141	3.677	17.552	193.731	7146.490	78879.101
B3-1	11.591	21.630	0.803	2.144	9.312	46.370	3791.276	18879.743
B4-1	0.000	0.000	0.686	3.931	0.000	0.000	0.000	0.000
C2 - Liviano	57.957	130.612	0.019	0.190	1.091	24.858	444.365	10121.178
C2 - Mediano	38.026	83.579	0.015	0.246	0.582	20.578	236.904	8378.317
C2 - Pesado	25.350	83.579	0.412	4.122	10.448	344.523	4254.091	140275.248
C3	11.579	22.456	0.021	3.230	0.242	72.526	98.681	29529.426
C4	0.539	1.847	0.036	2.847	0.020	5.260	7.975	2141.751
8x4	0.000	0.000	0.237	3.686	0.000	0.000	0.000	0.000



## 2.5. Cálculo de Factor de Crecimiento Acumulado y Trafico de diseño

### – Factor de Crecimiento Acumulado

**Tasas para la Proyección de la Demanda** FORMATO A5.TC

Tasa de Crecimiento Anual de Vehículos Ligeros		Tasa de Crecimiento Anual de Vehículos Pesados	
Amazonas.	1.12%	Amazonas.	2.69%
Ancash.	2.33%	Ancash.	1.49%
Apurímac.	1.13%	Apurímac.	4.50%
Arequipa.	2.90%	Arequipa.	2.97%
Ayacucho.	1.83%	Ayacucho.	2.90%
Caíamarca.	3.05%	Caíamarca.	1.45%
Cusco.	2.77%	Cusco.	3.07%
Huancavelica.	1.17%	Huancavelica.	2.00%
Huánuco.	1.94%	Huánuco.	3.03%
Ica.	1.10%	Ica.	2.62%
Junín.	2.04%	Junín.	2.84%
La Libertad.	2.61%	La Libertad.	2.21%
Lambayeque.	2.40%	Lambayeque.	2.54%
Lima.	2.61%	Lima.	2.34%
Loreto.	0.12%	Loreto.	1.48%
Madre de Dios.	2.22%	Madre de Dios.	1.38%
Moquegua.	1.97%	Moquegua.	0.58%
Pasco.	1.72%	Pasco.	0.39%
Piura.	2.38%	Piura.	2.37%
Puno.	2.47%	Puno.	2.58%
San Martín.	2.11%	San Martín.	2.88%
Tacna.	2.13%	Tacna.	2.36%
Tumbes.	0.81%	Tumbes.	2.40%
Ucayali.	1.73%	Ucayali.	2.25%

Información al 2022, sin contar las distorsiones estadísticas provocadas por el impacto económico de la COVID 19  
 Nota: Los valores presentados, son susceptibles a ser actualizados periódicamente por la OPMI-MTC, sin incurrir en actualización de la Ficha Técnica Estándar.

$$r = 3.07\%$$

$$n = 20 \text{ años}$$

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

$$FCA = \frac{(1 + 0.0307)^{20} - 1}{0.0307}$$

$$FCA = 27.063$$

### – Trafico de Diseño ESAL para 20 Años

RESUMEN	FACTOR CAMION		N18		ESSAL 1 AÑO		ESSAL 20 AÑOS	
VEHÍCULO	FC VACIO	FC LLENO	FC VACIO	FC LLENO	FC VACIO	FC LLENO	FC VACIO	FC LLENO
B2 - Liviano	0.006	0.027	0.265	4.125	107.987	1679.679	2922.399	53183.942
B2 - Mediano	0.011	0.066	1.328	33.249	540.771	13537.503	14634.616	428640.016
B2 - Pesado	1.141	3.677	17.552	193.731	7146.490	78879.101	193402.047	2497560.989
B3-1	0.803	2.144	9.312	46.370	3791.276	18879.743	102601.491	597792.168
B4-1	0.686	3.931	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C2 - Liviano	0.019	0.190	1.091	24.858	444.365	10121.178	12025.626	320468.410
C2 - Mediano	0.015	0.246	0.582	20.578	236.904	8378.317	6411.213	265283.931
C2 - Pesado	0.412	4.122	10.448	344.523	4254.091	140275.248	115126.445	4441556.536
C3	0.021	3.230	0.242	72.526	98.681	29529.426	2670.559	934994.721
C4	0.036	2.847	0.020	5.260	7.975	2141.751	215.811	67814.597
8x4	0.237	3.686	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
T2S2	0.227	7.199	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
T2Se2	0.297	9.810	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
T2S3	0.297	5.336	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
T2Se3	0.202	5.336	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
T3S1	0.168	7.153	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
T3S2	0.135	6.612	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
T3Se2	0.168	6.323	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
T3S3	0.311	5.941	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOTAL					ESAL	450010.209	9607295.310	
					ESAL	4.50E+05	9.61E+06	
					ESAL DE DISEÑO	1.01E+07		

## Flujo Vehicular por Unidades de Peaje

Anexo 09. Perú: Flujo Vehicular Total, según unidades de peaje, 2023 - 2024  
(Unidades)

Conclusión.

Unidades de Pago de Peaje	2023 P/			2024 P/									
	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.
Pichirhua (Casinchihua) 6/	46 416	44 446	49 835	35 835	4 516	47 095	44 033	47 758	46 968	53 024	53 313	51 270	53 786
Piura Sullana 3/	253 106	249 065	277 728	263 146	247 299	244 787	235 478	245 908	242 746	268 748	267 524	256 808	264 842
Planchón	23 010	21 794	22 450	22 065	20 072	22 617	22 220	22 488	23 100	26 546	28 337	25 901	25 816
Pomahuaca (Pucará)	43 375	41 525	47 880	47 824	43 287	42 339	36 611	39 563	39 906	47 937	51 097	44 322	46 373
Pongo	34 717	33 660	35 820	35 195	34 513	36 177	33 761	35 405	36 425	38 360	40 257	35 701	38 353
Pozo Redondo 1/	22 206	20 033	25 533	27 324	25 850	24 730	20 469	21 853	21 753	22 799	23 406	21 060	22 117
Punta Bombón 5/	18 438	17 711	21 636	25 575	25 601	21 812	16 903	17 819	17 414	19 662	20 042	17 470	18 263
Punta Perdida 1/	7 057	6 170	7 364	6 568	6 832	6 183	6 754	6 907	7 024	7 657	7 962	6 476	6 160
Quilca 1/	11 723	12 041	12 873	17 701	18 417	13 889	12 076	12 463	12 846	13 867	14 502	11 670	12 098
Quiulla-Concesión	117 137	110 928	129 905	136 104	126 901	122 417	111 742	124 397	117 336	152 159	149 920	126 069	126 427
San Lorenzo	10 076	9 303	9 769	9 605	8 427	8 708	8 707	9 475	9 626	11 834	11 072	10 050	10 665
San Nicolás	50 871	51 434	58 676	57 042	49 714	51 495	48 940	54 414	53 626	59 214	60 204	58 371	58 447
Santa Lucia	74 222	68 017	72 997	79 812	87 636	65 657	63 671	70 683	65 888	75 109	84 785	67 072	73 302
Serpentín de Pasamayo	179 894	186 647	176 764	180 211	166 562	167 873	175 697	189 770	177 501	188 036	192 395	182 417	198 337
Sicuyani 1/	10 750	9 561	11 546	9 979	10 335	9 272	9 526	9 709	9 772	10 901	11 452	9 401	9 497
Tambogrande 1/*****	40 275	39 626	41 831	39 592	35 370	35 983	33 893	35 896	34 793	35 456	38 647	38 317	42 382
Tomasiri 2/	61 293	59 426	70 324	63 855	63 694	65 353	58 427	61 348	60 794	68 792	67 962	72 319	64 954
Uchumayo-Concesión	278 161	273 442	300 063	324 978	318 682	279 594	241 066	207 572	138 468	195 755	254 597	258 988	277 760
Utcubamba (Bagua) 4/	36 055	34 196	39 025	38 625	36 515	37 049	33 415	36 231	36 478	41 910	43 638	38 737	40 543
Variante de Pasamayo	435 480	403 035	474 365	497 726	475 487	487 519	386 982	402 458	393 300	448 635	457 766	401 707	415 340
Vesique	202 373	196 715	229 140	236 226	224 581	211 801	188 102	201 450	192 099	222 732	221 403	198 180	214 711
Virú	300 806	291 368	328 193	329 020	308 863	301 307	281 172	294 502	285 122	325 849	319 438	292 199	308 976
Yauca 1/	42 742	39 056	44 156	46 858	46 984	43 285	41 515	42 214	41 320	44 333	46 895	41 447	44 584

1ª suspensión UP. Cancas con RD N° 168-2024-MTC/20 desde las 20:00 horas de día 29.02.2024 hasta las 07:59 horas del día 23.04.24. Se restablece el cobro del peaje en la UP. Desvío Talara desde las 08:00 horas del día 29.02.2024. 1ª suspensión UP. Desvío Talara con RD N° 172-2024-MTC/20 desde las 20:00 horas del día 29.02.2024 hasta las 07:59 horas del día 13.04.24 (Reinicio de cobranza a efectuarse el día 13.04.2024 a las 08:00 horas). 1ª Ampliación UP. Cancas con RD N° 291-2024-MTC/20 desde las 8:00 horas del día 23.04.2024 hasta las 07:59 horas del día 23.07.24. 2ª Ampliación UP. Cancas con RD N° 641-2024-MTC/20 desde las 8:00 horas del día 23.07.2024 hasta las 07:59 horas del día 01.11.24.

(\*\*\*\*\*) Según Resolución Directoral N° 291-2023-MTC/20 se autorizó la suspensión del cobro en las Unidades de Peaje de Lunahuaná, Tambogrande y Cuculí, a partir de las 16:00 horas del día 16.03.2023 hasta que dure la interrupción de la transitabilidad de la vía. Reinicio UP. Cuculí RD 809-2023-MTC desde las 08:00 horas del día 13.07.23. Reinicio UP. Tambogrande RD. 884-2023-MTC/20 desde las 08:00 horas del día 25.07.23. Reinicio UP. Lunahuaná RD 983-MTC/20 desde las 08:00 horas del día 16.08.2023.

(\*\*\*\*\*) Según Resolución Directoral N° 312-2023-MTC/20 se autorizó la suspensión del cobro en la Unidad de Peaje Pacra, a partir de las 21:00 horas del día 20.03.2023 hasta las 00:00 del día 03.04.23 o hasta que dure la interrupción de la vía; culmina suspensión de cobro con RD 951-2023 desde las 07:59 horas del día 31.10.23. 1ª Ampliación Según Resolución Directoral N° 1375-2023-MTC/20 a partir de las 08:00 horas del día 31.10.2023 hasta las 07:59 horas del día 31.03.2024. 2ª Ampliación Según Resolución Directoral N° 223-2024-MTC/20 desde las 08:00 horas del día 31.03.2024 hasta las 07:59 horas del día 30.09.2024. Reinicio de cobranza en U.P. Pacra a las 08:00 horas del día 30.09.2024.

(\*\*\*\*\*) Según Resolución Directoral N° 263-2023-MTC/20 se autorizó la suspensión del cobro en la Unidad de Peaje Mocce, desde las 12:00 horas del día 11.03.2023 hasta las 12:01 horas del día 25.03.23 o hasta que dure la interrupción de la transitabilidad de la vía. Reinicio de la cobranza en la Unidad de Peaje de Mocce el día 03.05.2024 a las 08:00 am, según la RD 330-2024-MTC/20.

(\*\*\*\*\*) Según Resolución Directoral N° 085-2024-MTC/20 se autorizó la suspensión del cobro en la Unidad de Peaje Chalhuanpuquio, desde las 08:00 horas del día 03.02.2024 hasta las 07:59 horas del día 02.04.24. 1ª Ampliación con RD. 226-2024-MTC/20 desde las 08:00 horas del día 02.04.2024 hasta las 07:59 horas del día 29.09.2024. 2ª Ampliación con RD. 1002-2024-MTC/20 desde las 08:00 horas del día 29.09.2024 hasta las 07:59 del día 30.10.2024. 3ª Ampliación con RD. 1140-2024-MTC/20 desde las 08:00 horas del día 30.10.2024 hasta las 7:59 del día 29/11/2024.

1/ A partir de setiembre de 2020 solamente incluyen salidas de tráfico vehicular.

2/ A partir del 16 de setiembre de 2020, incluye entradas y salidas.

3/ Sólo incluye las salidas de tráfico vehicular.

4/ Sólo incluye entradas de tráfico vehicular.

5/ El cobro en la unidad de peaje Punta de Bombón ubicado en el km 160 de la carretera Costanera, Ruta PE1SD, en el tramo: Punta de Bombón – Ilo, en el distrito de Punta de Bombón, provincia de Islay, departamento de Arequipa, se inició a partir de las 00:00 horas del día 17.07.2021 según Resolución Directoral N° 1382-2021-MTC/20.

6/ No se reportaron tráfico de vehículos, desde el 26 de enero de 2024, debido al desborde del río Chalhuanca que impactó el tramo de la vía Pampachiri-Chalhuanca; se retomó el cobro de peaje en la estación Pichirhua desde el 16 de febrero de 2024.

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - PROVIAS Nacional



Organismo Supervisor de la Inversión en Infraestructura de Transporte de Uso Público - OSITRAN

Elaboración: Instituto Nacional de Estadística e Informática - OTED



## Anexo C Estudio de Temperatura para Diseño de Pavimento

### ESTUDIO DE TEMPERATURA

	<p align="center"><b>TESIS: “EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024”</b></p>	
---	---	---

Referencia Normativa: **MODELOS MATEMATICOS SUPERPAVE**

**RESPONSABLES:** Bach. Rodriguez Suri, Edut

**FECHA:** 23-10-2024

Bach. Zuñiga Orccohuaranca Jean Jaret

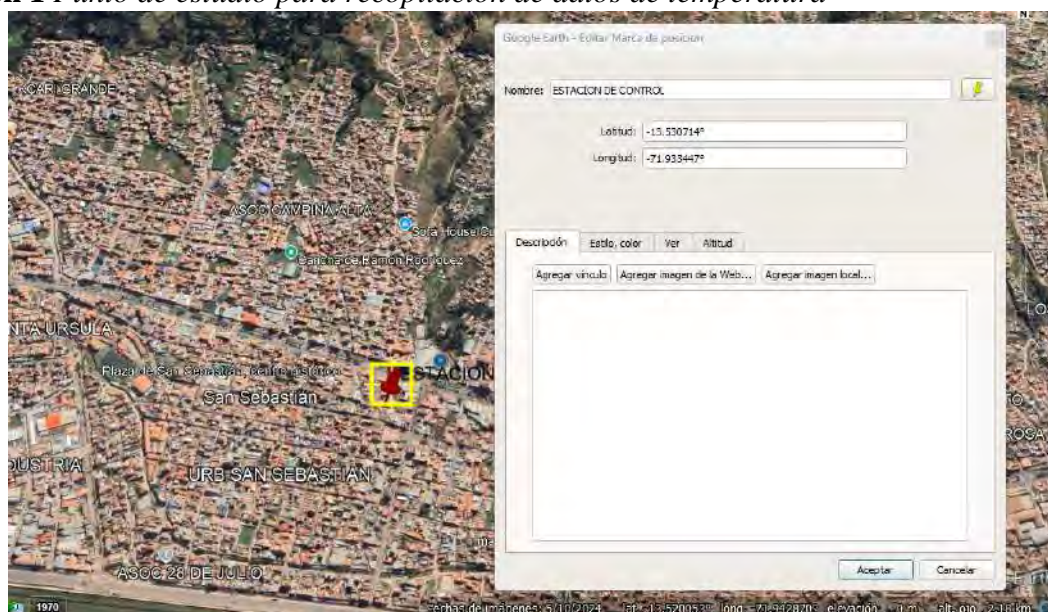
#### 1. Datos Generales

Para una óptima selección del ligante se inicia con el análisis de data de los factores climáticos de la región del Cusco señaladas en el SENAMHI y proyecto MERRA; estos datos se analizarán a través de modelos matemáticos para determinar la temperatura máxima y mínima de los últimos 20 años.

##### – Modelo del Programa SHRP y LTTP

Este modelo matemático determina la temperatura del pavimento en función de la data estadística de los últimos 20 años. La temperatura máxima como el promedio de los 7 días consecutivos más calientes de cada año y la temperatura mínima es el promedio de la temperatura más baja dentro del año de estudio.

#### Ilustración 1 Punto de estudio para recopilación de datos de temperatura



### – Data Obtenida

La data obtenida para el estudio de temperatura fue a través del programa MERRA para los últimos 20 años de estudio periodo comprendido entre 2003 y 2023, con las siguientes consideraciones:

---

#### -BEGIN HEADER-

---

NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Daily Data

Dates (month/day/year): **01/01/2003 through 12/31/2023**

Location: **Latitude -13.5305 Longitude -71.9367 (San Sebastian – Cusco – Cusco)**

Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 3739.76 meters

Parameter(s):

T2M\_MAX MERRA-2 Temperature at 2 Meters Maximum (°C)

T2M\_MIN MERRA-2 Temperature at 2 Meters Minimum (°C)

---

#### -END HEADER-

---

### – Temperatura Máxima

Para su determinación se extrae los 7 días consecutivos más calientes por año y se obtiene un promedio, se analizaron en total **7691** valores para el periodo de **20 años**, de donde se obtuvo los siguientes valores:

PROMEDIO 7 DIAS CONSECUTIVOS 2003				
DATO	POSICION	AÑO	DIA	T MAX
1	291	2003	291	20.04
2	292	2003	292	18.85
3	293	2003	293	19.47
4	233	2003	233	16.42
5	295	2003	295	20.62
6	296	2003	296	17.91
7	297	2003	297	19.02
PROMEDIO				<b>18.90</b>

PROMEDIO 7 DIAS CONSECUTIVOS 2005				
DATO	POSICION	AÑO	DIA	T MAX
1	222	2005	222	18.04
2	223	2005	223	17.51
3	224	2005	224	18.35
4	225	2005	225	18.25
5	226	2005	226	19.07
6	227	2005	227	16.92
7	228	2005	228	17.82
PROMEDIO				<b>17.99</b>

PROMEDIO 7 DIAS CONSECUTIVOS 2004				
DATO	POSICION	AÑO	DIA	T MAX
1	289	2004	289	17.63
2	290	2004	290	17.98
3	291	2004	291	18.46
4	292	2004	292	17.55
5	293	2004	293	17.85
6	294	2004	294	17.14
7	295	2004	295	16.91
PROMEDIO				<b>17.65</b>

PROMEDIO 7 DIAS CONSECUTIVOS 2006				
DATO	POSICION	AÑO	DIA	T MAX
1	248	2006	248	17.94
2	249	2006	249	17.48
3	250	2006	250	16.74
4	251	2006	251	17.12
5	252	2006	252	17.66
6	253	2006	253	15.57
7	254	2006	254	16.24
PROMEDIO				<b>16.96</b>

**PROMEDIO 7 DIAS CONSECUTIVOS 2007**

DATO	POSICION	AÑO	DIA	T MAX
1	232	2007	232	16.77
2	233	2007	233	17.51
3	234	2007	234	16.59
4	235	2007	235	17.74
5	236	2007	236	18.65
6	237	2007	237	18.33
7	238	2007	238	17.26

**PROMEDIO 17.55**

**PROMEDIO 7 DIAS CONSECUTIVOS 2009**

DATO	POSICION	AÑO	DIA	T MAX
1	229	2009	229	18.89
2	230	2009	230	19.08
3	231	2009	231	20.65
4	232	2009	232	19.64
5	233	2009	233	17.08
6	234	2009	234	17.63
7	235	2009	235	18.69

**PROMEDIO 18.81**

**PROMEDIO 7 DIAS CONSECUTIVOS 2011**

DATO	POSICION	AÑO	DIA	T MAX
1	309	2011	309	18.15
2	310	2011	310	17.51
3	311	2011	311	17.26
4	312	2011	312	17.78
5	313	2011	313	18.92
6	314	2011	314	16.83
7	315	2011	315	17.66

**PROMEDIO 17.73**

**PROMEDIO 7 DIAS CONSECUTIVOS 2013**

DATO	POSICION	AÑO	DIA	T MAX
1	264	2013	264	18.15
2	265	2013	265	18.81
3	266	2013	266	18.33
4	267	2013	267	10.24
5	268	2013	268	18.2
6	269	2013	269	18.75
7	270	2013	270	19.39

**PROMEDIO 17.41**

**PROMEDIO 7 DIAS CONSECUTIVOS 2008**

DATO	POSICION	AÑO	DIA	T MAX
1	311	2008	311	16.15
2	312	2008	312	17.91
3	313	2008	313	19.03
4	314	2008	314	18.74
5	315	2008	315	16.74
6	316	2008	316	16.09
7	317	2008	317	18.48

**PROMEDIO 17.59**

**PROMEDIO 7 DIAS CONSECUTIVOS 2010**

DATO	POSICION	AÑO	DIA	T MAX
1	253	2010	253	18.08
2	254	2010	254	17.4
3	255	2010	255	14.78
4	174	2010	174	16.25
5	257	2010	257	19.11
6	258	2010	258	19.51
7	259	2010	259	18.76

**PROMEDIO 17.70**

**PROMEDIO 7 DIAS CONSECUTIVOS 2012**

DATO	POSICION	AÑO	DIA	T MAX
1	291	2012	291	17.73
2	292	2012	292	15.95
3	293	2012	293	18.21
4	294	2012	294	18.01
5	295	2012	295	18.21
6	296	2012	296	18.64
7	297	2012	297	19.13

**PROMEDIO 17.98**

**PROMEDIO 7 DIAS CONSECUTIVOS 2014**

DATO	POSICION	AÑO	DIA	T MAX
1	307	2014	307	18.65
2	308	2014	308	18.99
3	309	2014	309	16.94
4	310	2014	310	17.95
5	311	2014	311	18.33
6	312	2014	312	19.58
7	313	2014	313	15.49

**PROMEDIO 17.99**

**PROMEDIO 7 DIAS CONSECUTIVOS 2015**

DATO	POSICION	AÑO	DIA	T MAX
1	326	2015	326	19.35
2	327	2015	327	20.23
3	328	2015	328	19.00
4	329	2015	329	17.05
5	330	2015	330	20.00
6	331	2015	331	18.84
7	332	2015	332	18.94

**PROMEDIO 19.06**

**PROMEDIO 7 DIAS CONSECUTIVOS 2017**

DATO	POSICION	AÑO	DIA	T MAX
1	272	2017	272	18.04
2	273	2017	273	17.37
3	274	2017	274	21
4	275	2017	275	19.19
5	276	2017	276	20.23
6	277	2017	277	17.57
7	278	2017	278	18.3

**PROMEDIO 18.81**

**PROMEDIO 7 DIAS CONSECUTIVOS 2019**

DATO	POSICION	AÑO	DIA	T MAX
1	255	2019	255	16.62
2	256	2019	256	15.46
3	257	2019	257	17.51
4	258	2019	258	18.58
5	259	2019	259	18.93
6	260	2019	260	17.94
7	261	2019	261	19.17

**PROMEDIO 17.74**

**PROMEDIO 7 DIAS CONSECUTIVOS 2021**

DATO	POSICION	AÑO	DIA	T MAX
1	293	2021	293	19.2
2	294	2021	294	19.55
3	237	2021	237	17.73
4	296	2021	296	20.39
5	297	2021	297	21.61
6	298	2021	298	15.83
7	299	2021	299	17.78

**PROMEDIO 18.87**

**PROMEDIO 7 DIAS CONSECUTIVOS 2016**

DATO	POSICION	AÑO	DIA	T MAX
1	253	2016	253	17.87
2	254	2016	254	17.83
3	255	2016	255	18.3
4	256	2016	256	19.44
5	257	2016	257	20.53
6	258	2016	258	18.87
7	259	2016	259	19.14

**PROMEDIO 18.85**

**PROMEDIO 7 DIAS CONSECUTIVOS 2018**

DATO	POSICION	AÑO	DIA	T MAX
1	342	2018	342	14.51
2	343	2018	343	18.23
3	344	2018	344	18.73
4	325	2018	325	17.48
5	281	2018	281	18.4
6	347	2018	347	16.95
7	348	2018	348	17.59

**PROMEDIO 17.41**

**PROMEDIO 7 DIAS CONSECUTIVOS 2020**

DATO	POSICION	AÑO	DIA	T MAX
1	300	2020	300	18.72
2	301	2020	301	19.55
3	302	2020	302	22.43
4	303	2020	303	21.08
5	304	2020	304	10.85
6	305	2020	305	16.87
7	306	2020	306	18.61

**PROMEDIO 18.30**

**PROMEDIO 7 DIAS CONSECUTIVOS 2022**

DATO	POSICION	AÑO	DIA	T MAX
1	306	2022	306	20.57
2	307	2022	307	21.9
3	308	2022	308	20.32
4	309	2022	309	21.16
5	310	2022	310	19.71
6	311	2022	311	20.05
7	312	2022	312	18.86

**PROMEDIO 20.37**

PROMEDIO 7 DIAS CONSECUTIVOS 2023				
DATO	POSICION	AÑO	DIA	T MAX
1	229	2023	229	19.87
2	230	2023	230	21.79
3	231	2023	231	20.23
4	232	2023	232	18.79
5	233	2023	233	18.14
6	234	2023	234	19.19
7	235	2023	235	18.88
PROMEDIO				19.56

***T° alta promedio (20 años) = 18.25***

**– Temperatura Mínima**

Para su determinación se extrae el día más frío de cada año en un periodo de 20 años según el modelo matemático SHRP-LTTP; se obtuvo el siguiente cuadro:

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	VALOR
2003	2.10	1.47	1.84	1.62	0.98	0.39	-2.28	-0.93	-0.04	2.37	1.99	2.44	<b>-2.28</b>
2004	2.37	2.45	2.13	1.85	1.95	-2.61	-1.51	-1.43	1.33	1.70	2.35	2.37	<b>-2.61</b>
2005	2.01	1.94	2.25	2.36	1.24	-0.78	-2.23	0.35	-1.01	1.80	1.97	1.88	<b>-2.23</b>
2006	1.51	1.70	1.77	1.74	-2.65	-1.06	-3.09	1.53	0.37	1.52	1.64	1.85	<b>-3.09</b>
2007	2.51	1.89	1.84	2.01	1.82	0.62	-2.02	-2.09	1.19	2.03	2.35	2.21	<b>-2.09</b>
2008	1.57	1.06	0.98	1.67	-0.49	-0.96	0.19	2.64	0.98	2.28	2.24	2.05	<b>-0.96</b>
2009	2.05	1.74	2.07	1.60	0.60	0.42	-0.78	1.01	1.90	1.99	2.58	2.04	<b>-0.78</b>
2010	1.67	2.90	1.94	2.01	-0.87	-1.47	-1.37	-1.48	2.61	-1.18	1.69	1.44	<b>-1.48</b>
2011	2.01	1.80	1.58	0.69	-0.86	-1.37	-0.76	0.35	-0.26	1.83	2.09	1.69	<b>-1.37</b>
2012	1.78	1.35	1.34	1.93	0.87	-2.56	-2.78	-2.72	0.90	1.44	1.86	2.15	<b>-2.78</b>
2013	2.00	2.15	1.75	1.37	2.08	0.76	-2.57	-1.35	0.92	1.27	1.58	2.06	<b>-2.57</b>
2014	1.46	2.08	2.13	1.16	-1.77	-0.08	0.16	-2.97	1.44	1.55	2.30	2.23	<b>-2.97</b>
2015	1.08	1.91	1.81	1.67	0.74	1.07	-4.49	0.30	1.12	-0.51	2.32	1.55	<b>-4.49</b>
2016	2.38	2.26	2.55	2.91	1.42	-1.36	-0.13	0.65	1.77	0.01	1.52	1.80	<b>-1.36</b>
2017	1.61	2.19	2.12	2.55	1.69	1.49	-1.77	-0.54	1.78	1.52	2.11	2.40	<b>-1.77</b>
2018	1.50	1.70	2.14	2.12	0.32	-1.09	-2.48	0.15	0.67	2.14	1.79	1.55	<b>-2.48</b>
2019	1.83	2.10	2.21	2.80	-0.03	0.14	1.11	-2.92	0.44	1.29	1.80	1.83	<b>-2.92</b>
2020	1.60	2.00	2.05	2.51	-2.79	-0.31	1.15	1.36	2.37	1.22	2.35	1.54	<b>-2.79</b>
2021	1.58	1.37	1.54	1.48	0.22	1.18	-2.70	-0.62	2.98	2.54	1.74	2.14	<b>-2.70</b>
2022	2.12	2.73	1.62	2.20	1.48	-3.67	1.09	-0.44	1.69	2.33	2.53	1.67	<b>-3.67</b>
2023	1.72	1.68	1.87	1.48	0.94	-0.63	1.48	0.91	2.69	2.40	2.40	2.86	<b>-0.63</b>

***T° baja promedio (20 años) = -2.29***

– **Cálculo de Temperatura según Modelos Matemáticos**

Para el uso de los valores obtenidos, estos se deben de calcular en base a un nivel de confiabilidad que para nuestro caso será para 98%, obteniéndose los siguientes datos:

$$T^{\circ} \text{ alta promedio (20 años)} = 18.25$$

$$T^{\circ} \text{ baja promedio (20 años)} = -2.29$$

PARAMETROS PARA TEMP. ALTAS			PARAMETROS PARA TEMP. BAJAS		
T PROM=	18.25		T PROM=	-2.29	
DESV. EST. =	0.84		DESV. EST. =	0.96	
T MAX (98%) =	19.97		T MIN (98%) =	-4.26	
LATITUD =	13.5293	°	LATITUD =	13.5293	°
H PROF=	2	cm	H PROF=	2	cm
H PROF=	20	mm	H PROF=	20	mm
Z (98%) =	2.05		Z (98%) =	2.05	
Z (50%) =	0.67		Z (50%) =	0.67	
δ =	2.1	°C	δ =	2.1	°C

MODELOS MATEMATICOS	RESULTADOS
T máxima aire (T98%, z=2.05)	19.97
T mínima aire (T98%, z=2.05)	-4.26
SHRP McGennis – T máxima (1994)	43.44
SHRP McGennis – T mínima (1994)	-4.26
C-SHRP – T mínima (1996)	-1.96
LTPP Motta 1996 – T máxima (1996)	43.66
LTPP Motta 1996 – T mínima (1996)	5.01
<b>LTPP-FHWA – T mínima (2000)</b>	<b>0.46</b>
<b>Mohseni 2004 – T máxima (2004)</b>	<b>53.52</b>

En base al análisis realizado y según los últimos modelos matemáticos planteados para la metodología Superpave, se concluye lo siguiente:

$$\text{Modelo LTPP – MOHSENI; } T^{\circ} \text{ máxima} = 53.52$$

$$\text{Modelo LTPP – FHWA; } T^{\circ} \text{ mínima} = 0.46$$



DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MAXIMAS AÑO 2003 – NASA POWER MERRA													DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MAXIMAS AÑO 2004 – NASA POWER MERRA												
DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	15.58	15.99	15.73	13.35	13.51	12.42	15.81	16.19	16.15	13.34	6.71	14.69	1	16.98	15.93	15.33	12.83	11.55	15.52	13.02	17.05	16.41	16.64	16.27	17.51
2	16.76	13.10	13.73	13.98	14.06	16.43	14.67	13.94	15.83	16.23	14.41	18.88	2	13.64	15.92	16.52	16.65	15.87	12.23	11.8	17.32	16.19	14.3	17.20	14.55
3	11.94	15.90	15.49	15.11	15.58	15.23	15.02	14.05	16.39	16.26	17.46	11.30	3	14.23	14.28	14.83	16.53	11.91	15.09	10.82	17.09	15.90	15.09	14.01	15.74
4	13.75	15.26	13.65	14.75	16.26	15.91	16.23	14.83	13.54	15.36	18.20	18.31	4	15.01	14.06	15.77	15.33	13.60	16.01	11.56	17.51	15.63	9.50	17.57	16.61
5	15.62	15.48	15.58	14.26	14.38	15.66	16.44	15.54	16.53	11.09	16.42	18.05	5	12.58	13.19	13.19	15.06	13.73	16.65	13.29	15.90	17.35	15.27	15.85	14.20
6	16.54	14.66	13.84	15.13	11.03	16.69	16.22	14.33	14.87	17.58	17.70	17.63	6	13.83	12.66	16.05	17.76	16.30	15.15	14.95	15.34	10.62	15.62	15.84	17.30
7	14.04	15.99	14.20	14.01	13.08	14.01	13.87	14.22	14.51	19.08	16.12	15.96	7	14.20	15.46	14.65	12.15	15.68	13.55	15.83	12.75	16.12	17.67	13.83	15.41
8	16.76	14.93	13.74	13.64	14.26	13.15	14.91	12.95	13.94	18.29	18.33	18.04	8	16.48	15.45	14.19	15.91	12.65	13.92	15.91	14.44	14.83	17.83	17.29	16.93
9	14.10	13.63	15.92	14.25	15.06	16.11	16.18	10.38	15.45	20.19	17.38	15.76	9	15.40	15.36	12.66	16.52	16.80	11.13	15.85	15.94	12.78	15.88	16.37	13.50
10	14.98	13.49	13.34	13.16	15.17	17.45	15.92	13.48	12.61	12.28	14.43	11.83	10	14.99	12.15	15.18	15.55	17.16	12.84	15.47	15.38	15.15	15.23	18.74	16.94
11	16.23	14.70	14.56	12.03	15.39	17.35	13.86	15.63	14.90	12.35	16.05	18.11	11	13.40	12.21	16.12	16.06	17.28	12.73	12.39	13.05	16.09	16.40	19.10	16.33
12	14.05	15.94	13.76	13.48	13.84	12.00	15.66	16.88	13.46	17.04	18.99	15.45	12	14.61	14.82	15.40	12.95	17.12	11.49	13.40	15.40	15.72	15.33	12.26	17.19
13	14.96	16.95	14.72	14.23	13.75	16.73	15.25	17.86	15.71	16.52	16.98	15.62	13	15.47	13.37	16.11	18.05	17.62	14.80	16.27	15.06	17.68	13.80	16.85	17.23
14	15.68	12.83	14.69	14.37	13.98	13.48	15.78	17.39	16.15	16.15	13.75	16.39	14	16.44	10.98	16.26	14.76	15.15	10.42	13.90	15.32	18.22	15.55	16.48	16.19
15	14.70	16.48	11.89	14.76	15.21	16.34	15.57	16.19	16.46	18.37	17.34	13.20	15	13.85	14.65	15.65	10.15	14.24	15.35	10.94	13.98	16.59	17.63	17.76	14.44
16	14.82	13.54	13.48	13.81	14.01	12.85	12.96	9.19	14.53	18.69	17.48	17.42	16	14.89	15.15	16.31	13.44	15.45	16.07	11.89	13.49	15.08	17.98	15.97	13.88
17	14.99	14.03	14.83	15.12	12.01	15.81	13.60	15.95	14.67	17.48	19.57	8.85	17	15.27	15.05	16.33	14.13	16.49	16.52	12.99	14.69	14.50	18.46	13.78	11.67
18	15.70	15.24	13.14	15.74	12.03	13.83	10.4	16.19	12.78	20.04	15.5	16.15	18	15.55	10.80	15.40	14.36	13.72	15.75	13.83	14.46	16.66	17.55	16.37	15.80
19	14.48	15.48	13.75	15.52	13.03	12.27	11.12	17.64	17.86	18.85	17.01	17.02	19	13.72	14.84	15.93	15.27	13.59	15.69	15.59	15.21	16.69	17.85	10.14	16.98
20	15.29	15.63	15.15	14.01	15.32	10.80	13.73	16.78	13.12	19.47	18.00	16.46	20	14.85	14.84	16.42	15.83	13.78	16.28	15.25	17.38	15.94	17.14	15.98	16.03
21	16.87	15.18	11.72	13.78	15.19	16.35	16.26	16.42	15.05	16.42	17.57	14.95	21	14.51	14.38	14.50	16.21	15.95	14.45	15.44	16.90	15.91	16.91	17.05	13.24
22	11.62	15.51	14.83	13.93	16.12	15.87	15.95	16.77	15.23	20.62	18.75	16.93	22	13.62	15.22	13.59	14.03	13.32	14.82	14.56	14.65	16.02	17.23	14.13	17.57
23	13.29	15.96	15.90	14.22	15.88	16.19	16.40	15.30	14.57	17.91	18.56	17.12	23	14.18	14.67	15.58	13.28	15.37	13.33	12.94	13.96	15.82	13.12	14.35	15.64
24	15.67	15.48	15.26	14.23	13.72	11.42	14.67	15.28	14.07	19.02	17.94	12.01	24	13.48	15.36	15.88	14.61	14.83	13.13	13.27	11.37	14.44	14.21	14.98	14.18
25	16.65	14.29	14.43	12.75	14.57	13.5	14.4	15.12	15.28	18.61	16.91	13.48	25	14.10	13.03	15.27	10.86	15.51	12.97	13.65	10.33	16.01	20.04	16.76	15.71
26	14.08	14.67	14.49	14.34	13.02	15.19	11.27	16.65	18.34	16.22	13.29	15.51	26	15.91	15.36	16.40	16.12	13.83	12.86	14.62	13.59	14.51	20.01	15.24	15.69
27	12.65	14.33	14.90	14.86	12.23	13.33	14.69	14.58	15.51	17.54	17.15	18.91	27	15.69	16.47	13.56	15.41	14.19	12.94	17.16	11.57	12.90	12.84	17.36	14.00
28	11.97	15.30	14.48	15.51	11.85	14.51	14.94	15.74	18.08	15.04	17.80	11.05	28	15.90	14.43	14.77	17.04	15.69	13.74	17.15	10.93	17.50	18.80	14.42	15.68
29	16.38		15.45	14.40	14.33	13.62	15.10	17.10	15.00	17.04	11.64	8.40	29	14.34	15.70	14.16	16.30	16.99	14.18	15.11	13.19	13.60	16.12	11.40	17.29
30	13.92		14.57	12.84	12.77	15.46	14.27	17.12	16.35	16.69	17.91	14.75	30	14.95		13.83	16.30	14.53	13.33	13.08	11.47	13.27	15.08	15.77	15.48
31	16.17		13.27		16.25		16.29	16.97		14.73		16.23	31	15.37		15.87		15.32		16.80	15.34		16.80		15.63

DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MAXIMAS AÑO 2005 – NASA POWER MERRA													DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MAXIMAS AÑO 2006 – NASA POWER MERRA												
DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	15.48	11.48	15.76	15.62	16.81	16.88	14.20	17.54	18.36	17.77	19.54	9.44	1	13.32	13.18	15.05	11.19	12.58	12.67	15.05	15.37	18.85	15.74	17.18	14.44
2	14.97	15.37	18.40	15.74	16.59	17.43	17.85	17.95	15.86	11.42	14.03	16.79	2	13.23	13.22	13.27	14.58	13.06	13.25	14.17	14.37	16.06	8.63	13.15	18.01
3	11.59	17.42	14.40	14.69	17.12	17.42	18.80	16.48	18.73	15.83	13.67	17.64	3	13.23	13.60	12.31	11.69	12.59	13.73	14.51	15.40	17.65	10.83	11.26	16.82
4	16.44	16.91	16.44	14.19	17.58	13.83	18.65	17.94	19.60	18.40	19.83	17.12	4	14.65	14.21	13.77	13.80	13.76	13.23	13.88	15.12	12.30	16.98	16.06	16.80
5	18.19	16.91	17.76	14.82	15.30	16.33	15.39	16.51	16.96	12.73	16.68	16.33	5	13.33	14.12	15.00	12.45	13.82	12.78	13.72	14.94	17.94	12.52	13.85	16.40
6	16.77	18.49	16.90	16.35	15.90	12.47	15.31	15.08	9.79	8.89	13.90	18.75	6	15.12	14.07	14.74	12.97	14.34	13.54	14.26	14.19	17.48	15.29	15.70	16.73
7	17.05	16.69	17.11	11.36	15.73	14.91	15.89	15.19	12.99	16.80	7.80	14.23	7	14.62	14.74	13.92	11.39	13.48	14.03	15.03	16.62	16.74	12.51	12.99	16.87
8	17.88	14.71	16.98	15.51	15.10	15.68	17.16	13.88	14.83	12.57	15.30	17.62	8	15.51	14.40	15.60	13.07	12.65	14.06	15.04	16.30	17.12	11.45	14.30	14.73
9	17.06	16.82	15.73	15.95	14.33	14.82	14.90	15.39	16.82	14.69	14.58	16.30	9	14.35	13.10	14.89	13.24	13.69	14.66	15.26	16.95	17.66	13.62	15.27	11.72
10	15.26	14.19	14.14	17.09	17.75	16.94	16.34	18.04	16.40	11.84	16.48	17.40	10	14.11	13.73	14.89	12.46	13.34	14.66	14.02	12.08	15.57	13.91	16.65	15.01
11	13.83	15.82	16.70	17.83	16.71	15.94	15.04	17.51	15.24	16.79	16.43	17.30	11	12.39	13.88	14.11	15.12	13.60	11.21	14.28	14.01	16.24	16.87	13.53	13.45
12	15.79	15.26	17.55	16.23	16.12	14.67	16.26	18.35	12.81	12.11	17.26	17.14	12	12.66	13.94	15.55	11.21	14.05	13.61	14.40	16.20	15.93	13.51	17.03	16.66
13	17.03	16.70	16.04	14.15	15.26	12.91	17.11	18.25	13.72	13.31	14.29	18.39	13	12.29	14.68	13.55	12.67	13.58	14.46	14.23	14.58	15.83	17.92	17.73	12.60
14	15.63	16.87	15.58	15.98	9.80	11.67	17.43	19.07	14.13	15.57	16.21	13.65	14	12.90	14.55	13.73	12.33	14.35	14.18	14.23	16.67	9.49	17.30	18.45	14.52
15	18.52	13.51	15.47	16.70	16.54	15.62	16.68	16.92	14.65	16.55	15.66	12.61	15	13.87	13.45	13.19	12.25	15.02	14.62	11.69	17.05	15.96	15.64	14.48	14.72
16	15.01	15.29	15.30	17.35	15.40	15.72	16.27	17.82	15.15	16.23	15.66	15.88	16	13.80	17.21	13.72	9.96	15.87	12.94	14.15	12.30	11.85	15.12	14.06	15.01
17	15.23	14.67	16.70	16.27	15.49	17.08	15.86	17.62	15.08	17.42	13.12	11.80	17	9.97	14.26	13.11	13.67	14.78	13.91	13.99	11.69	15.68	17.06	14.92	13.96
18	16.19	15.88	13.32	12.71	17.19	16.52	12.91	15.22	15.49	12.30	16.37	14.37	18	10.97	13.88	11.79	15.11	15.15	13.78	15.27	11.08	16.26	18.48	14.97	13.51
19	16.80	16.88	13.39	17.82	18.60	16.68	13.29	16.87	17.57	14.29	16.12	16.27	19	15.31	13.98	14.31	15.15	14.94	13.84	13.95	13.70	17.92	16.96	11.07	14.41
20	17.44	17.01	14.34	15.15	18.50	16.55	13.80	10.68	17.30	17.52	12.84	16.97	20	13.08	12.88	14.49	15.40	14.12	14.47	14.91	15.08	17.08	14.40	16.55	13.09
21	13.72	17.00	16.39	14.73	14.04	10.83	14.52	15.97	18.89	17.11	17.77	15.93	21	13.82	12.23	12.78	14.49	12.13	13.64	15.01	14.93	16.01	12.38	14.98	12.44
22	17.69	15.98	16.23	14.85	14.65	15.00	14.40	18.08	16.65	14.03	10.75	14.05	22	11.32	15.65	14.31	11.57	10.30	11.91	15.26	15.62	16.62	16.69	16.44	14.76
23	17.08	14.11	14.13	16.19	18.96	14.59	15.76	10.66	16.77	16.80	15.44	15.25	23	14.69	15.31	12.08	9.89	13.65	13.17	15.52	15.20	10.09	13.16	14.15	13.64
24	13.83	17.89	10.44	15.11	19.93	15.51	16.00	13.23	17.21	14.51	17.02	11.15	24	12.48	14.56	12.58	13.43	14.83	13.65	15.01	13.86	16.36	16.11	15.08	14.44
25	14.90	13.01	17.23	14.44	18.64	15.73	14.18	16.27	16.09	16.24	17.13	14.88	25	12.21	13.82	13.48	11.24	14.91	13.78	13.61	15.83	14.44	16.94	15.63	14.23
26	16.07	18.08	17.76	15.66	16.51	16.49	15.23	14.40	13.62	15.90	19.03	14.01	26	13.00	13.58	13.53	12.87	13.94	13.26	15.47	16.58	16.16	15.18	15.94	13.69
27	16.12	14.60	12.69	19.40	17.58	17.84	15.82	19.47	18.31	14.05	15.62	14.73	27	12.33	13.95	12.08	12.89	13.70	13.44	15.45	15.69	14.05	13.37	16.12	14.82
28	17.69	17.34	15.47	17.83	15.20	16.30	17.16	17.98	18.47	15.87	17.68	13.37	28	14.35	11.64	14.05	12.48	12.70	13.09	15.05	13.85	15.26	17.58	13.39	14.83
29	15.35		16.21	17.17	14.86	13.68	17.25	19.57	19.84	11.78	13.02	11.80	29	12.55		12.44	12.00	13.28	13.08	8.93	15.23	9.34	14.89	12.63	15.69
30	14.17		15.22	16.84	15.47	15.59	18.25	16.82	13.65	18.54	15.56	10.67	30	15.23		12.28	13.16	13.92	14.08	13.42	15.98	16.77	17.08	11.26	16.12
31	14.48		15.90		15.41		18.30	16.30		16.95		16.03	31	14.46		13.65		11.47		15.65	17.30		14.20		15.44

DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MAXIMAS AÑO 2007 – NASA POWER MERRA													DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MAXIMAS AÑO 2008 – NASA POWER MERRA												
DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	15.94	14.44	13.64	13.68	14.86	14.48	14.30	14.93	15.03	17.30	17.49	14.76	1	14.20	15.66	14.50	11.67	15.43	12.82	15.73	14.63	17.54	17.25	17.76	12.91
2	14.69	13.40	13.88	14.98	14.86	14.19	14.09	14.58	16.40	19.09	18.59	12.24	2	11.54	14.90	10.98	13.77	14.23	15.03	15.26	15.20	18.76	16.65	12.17	17.79
3	15.30	16.27	12.00	14.42	13.63	12.05	14.83	15.24	17.19	18.81	15.73	16.04	3	12.79	8.25	13.91	9.81	14.60	14.28	15.07	15.93	18.72	15.11	15.70	17.95
4	13.26	10.94	14.34	12.17	13.46	14.12	15.79	15.25	17.26	12.19	18.06	18.19	4	13.98	13.84	12.39	14.12	15.26	14.93	15.12	13.14	15.62	16.41	15.70	15.96
5	15.51	15.79	14.66	14.23	14.87	15.29	14.59	15.74	16.20	16.26	17.51	17.25	5	14.01	14.05	12.80	14.00	15.98	14.89	16.76	13.68	15.76	15.90	16.51	15.99
6	15.54	13.98	13.40	13.98	14.03	15.58	14.33	16.75	15.67	17.07	15.94	11.77	6	13.51	15.50	12.29	14.86	14.99	14.57	16.51	13.76	14.75	16.26	16.15	14.80
7	15.12	14.98	14.83	13.32	13.83	15.07	13.51	15.63	10.98	13.16	14.39	17.51	7	14.61	15.90	11.76	14.73	15.23	14.90	15.08	13.64	11.14	15.46	17.91	14.51
8	10.90	11.14	14.12	12.55	13.32	15.05	9.73	16.72	11.08	13.26	17.80	14.69	8	14.38	14.81	11.29	10.70	14.66	15.05	15.43	14.05	16.90	15.09	19.03	15.31
9	14.77	14.57	10.47	11.18	10.25	15.48	8.55	17.33	14.57	16.62	19.71	12.19	9	11.15	14.45	14.21	11.08	9.76	14.99	12.30	15.33	15.64	16.34	18.74	16.12
10	14.67	14.86	13.46	14.48	15.47	14.64	11.23	16.48	15.08	12.01	18.46	19.73	10	13.63	14.19	14.26	12.70	8.52	12.04	15.05	16.10	16.47	16.89	16.74	15.21
11	13.84	14.12	12.25	13.83	15.14	15.08	13.10	14.87	13.37	11.58	12.89	16.60	11	14.60	12.50	8.13	13.85	10.83	13.01	14.10	17.40	16.14	17.18	16.09	14.40
12	13.29	14.64	13.87	13.62	13.85	15.30	13.31	17.80	15.54	16.69	7.99	13.51	12	14.26	13.08	13.11	13.64	12.07	12.56	14.70	18.30	16.33	15.48	18.48	13.16
13	10.73	12.73	13.63	9.80	15.12	15.20	13.34	17.98	16.83	13.37	16.26	16.59	13	15.64	14.62	11.67	15.07	12.05	14.27	15.79	15.25	11.64	17.50	9.95	16.30
14	14.32	15.03	12.24	13.90	14.87	13.94	14.52	17.42	18.37	17.88	16.41	16.98	14	11.50	15.26	13.36	13.06	13.27	12.60	12.88	17.09	15.58	18.08	15.54	16.50
15	13.94	15.96	14.03	14.59	14.88	15.36	14.14	17.23	13.74	13.41	11.87	10.56	15	13.52	12.06	14.26	14.07	14.02	11.36	12.98	17.68	16.26	14.76	16.87	15.62
16	14.58	16.15	12.40	13.73	14.82	14.83	14.83	16.34	17.08	17.32	14.02	12.62	16	13.65	13.87	14.37	13.40	13.77	12.51	13.79	14.12	12.43	14.07	16.07	13.02
17	16.07	15.83	9.33	14.15	14.26	15.14	15.04	13.09	13.57	13.58	16.15	15.01	17	14.52	13.74	14.19	12.79	13.71	15.62	16.01	18.32	14.44	14.72	15.34	14.27
18	14.55	14.25	13.69	13.64	12.44	12.25	13.37	16.17	6.64	17.19	17.33	14.73	18	14.44	11.47	12.83	13.69	14.26	16.76	15.41	9.65	15.35	14.71	18.58	15.87
19	16.08	14.92	13.76	12.93	13.51	14.18	14.05	15.96	15.45	17.78	14.93	12.37	19	13.13	11.42	12.54	14.63	12.80	16.58	14.76	16.56	16.08	16.49	17.25	15.77
20	13.90	12.28	15.14	13.05	14.15	14.76	12.36	16.77	15.74	18.01	13.60	15.10	20	13.85	14.16	13.96	10.43	15.33	15.66	15.18	10.90	16.58	16.29	15.51	14.26
21	14.48	11.44	14.80	12.73	13.21	13.83	14.92	17.51	13.48	17.44	15.04	15.66	21	14.28	13.71	13.33	13.88	12.72	15.24	15.19	16.06	15.90	15.84	16.62	16.28
22	14.69	14.55	14.96	14.32	14.13	14.47	17.12	16.59	16.80	13.99	16.22	15.20	22	15.08	14.76	12.98	12.90	13.87	15.05	15.33	14.99	17.33	15.08	15.45	14.86
23	15.60	14.43	14.44	14.49	13.28	15.33	12.58	17.74	16.65	17.13	15.23	15.36	23	13.29	11.10	11.67	13.48	13.58	14.06	14.98	16.38	18.16	16.69	16.40	14.45
24	13.97	13.28	11.96	14.63	12.47	13.44	14.15	18.65	15.43	13.02	15.47	16.60	24	14.50	12.60	11.86	13.62	14.62	15.15	14.35	16.66	17.20	17.27	16.20	10.91
25	15.02	11.98	13.34	13.44	14.50	12.48	16.20	18.33	16.87	18.50	14.99	15.84	25	15.28	11.65	13.61	12.80	12.37	15.48	15.40	16.26	16.43	16.11	17.32	17.18
26	12.76	14.58	14.72	13.48	15.31	15.94	11.69	17.26	17.44	17.30	16.84	13.26	26	14.78	14.05	14.05	12.66	11.43	15.65	11.93	17.33	12.25	15.31	18.58	16.58
27	12.61	14.70	13.44	12.34	15.43	14.59	14.72	15.61	16.93	10.23	14.92	14.95	27	14.04	13.69	15.13	13.02	14.12	12.51	15.72	18.25	14.91	15.37	17.01	13.34
28	13.83	13.60	11.28	13.82	13.80	15.69	13.81	16.90	15.97	16.99	15.33	14.99	28	11.57	13.60	13.65	13.24	14.24	14.26	11.59	17.86	16.93	17.81	18.69	13.03
29	14.84		12.49	13.73	13.55	14.09	14.57	9.54	16.49	16.55	15.23	15.80	29	15.05	14.05	12.32	11.30	11.18	14.98	14.30	12.95	12.73	14.03	15.54	14.85
30	14.42		13.16	14.61	13.78	13.90	13.99	15.05	16.06	15.01	14.60	13.99	30	13.40		12.86	14.98	12.30	15.51	13.01	18.19	15.26	16.69	15.70	12.68
31	11.90		13.74		13.03		14.16	15.90		16.38		11.57	31	14.80		14.44		12.71		14.01	17.18		16.44		15.26

DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MAXIMAS AÑO 2009 – NASA POWER MERRA													DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MAXIMAS AÑO 2010 – NASA POWER MERRA												
DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	12.25	14.09	13.15	14.94	10.70	15.11	16.69	16.91	17.53	17.74	19.43	12.33	1	16.15	13.94	13.90	15.91	13.70	15.19	16.09	15.32	14.05	8.07	8.73	15.80
2	13.78	15.43	14.74	14.97	14.45	15.01	16.72	17.71	16.00	16.16	16.48	15.13	2	12.54	15.91	15.80	13.54	16.04	14.83	16.73	14.10	14.32	16.23	15.99	15.93
3	14.09	15.15	13.08	14.36	14.66	16.58	16.68	14.55	15.42	16.32	17.43	13.87	3	13.32	16.33	14.80	14.97	16.20	15.51	16.07	16.53	17.80	9.58	17.47	14.44
4	15.12	14.18	15.05	11.58	15.71	16.62	13.34	14.43	15.96	12.36	11.51	13.24	4	12.37	15.59	14.58	13.44	13.62	14.25	16.98	17.53	8.15	19.63	18.37	11.69
5	14.35	15.48	13.53	11.08	12.25	17.11	13.38	16.47	18.40	18.81	19.26	14.87	5	15.18	12.99	13.01	14.74	15.22	12.99	18.02	17.05	16.08	18.45	14.37	15.74
6	15.93	15.80	13.90	14.56	14.35	15.34	13.08	15.51	20.78	16.15	18.12	13.76	6	14.69	13.91	15.38	14.90	16.26	13.85	17.56	17.48	16.78	19.83	12.34	16.94
7	14.77	13.44	14.90	14.43	13.19	15.82	14.13	14.95	18.74	17.17	16.35	16.90	7	16.87	14.98	15.75	15.42	8.90	14.69	16.71	18.50	15.33	12.87	16.45	12.94
8	12.07	15.17	12.39	13.09	15.51	16.41	14.30	12.83	19.17	17.65	18.08	9.70	8	16.19	17.66	15.80	15.26	15.95	13.42	14.94	17.77	16.33	12.96	16.20	15.88
9	15.70	12.58	14.76	13.37	15.60	15.27	12.13	13.19	16.13	18.07	16.96	15.70	9	15.51	13.93	16.23	14.94	12.76	14.05	8.95	15.44	16.56	13.43	8.90	14.40
10	13.80	14.73	15.06	13.61	8.97	16.09	15.40	11.72	15.37	19.56	15.37	14.31	10	10.58	14.98	16.36	15.46	16.35	12.40	13.54	15.69	18.08	15.93	11.35	14.50
11	13.23	14.35	15.23	14.92	12.88	7.01	16.16	13.39	14.89	11.40	7.58	15.79	11	14.74	14.12	12.70	15.62	16.04	13.97	16.69	16.86	17.40	14.21	15.55	11.14
12	13.84	12.80	13.65	14.31	13.53	13.84	14.87	14.05	19.28	15.50	17.99	13.29	12	14.56	13.62	15.65	14.89	15.44	15.30	17.98	17.47	14.78	13.49	16.55	15.89
13	13.98	14.51	14.46	14.62	15.29	14.91	14.12	16.53	19.66	18.60	16.38	12.61	13	14.30	14.36	16.17	14.52	15.52	15.74	16.35	15.62	16.25	17.37	14.85	15.40
14	14.69	15.19	14.18	14.16	14.58	16.39	13.53	17.48	17.82	13.70	14.58	15.73	14	14.68	16.16	15.28	15.02	15.37	16.16	15.27	17.23	19.11	15.38	13.86	13.84
15	15.59	14.09	14.12	13.54	14.01	16.29	16.46	17.83	18.24	19.16	7.73	16.74	15	13.43	13.60	14.68	13.62	14.23	15.98	11.80	18.01	19.51	12.36	16.93	17.59
16	13.55	14.27	15.92	14.33	8.85	14.13	16.65	17.19	12.40	17.16	12.51	15.48	16	12.45	14.67	11.61	13.80	14.01	16.40	11.54	18.72	18.76	15.17	17.80	12.33
17	12.51	11.36	14.68	14.55	15.85	15.73	14.43	18.89	16.57	13.90	13.81	13.23	17	15.44	14.42	14.26	14.58	15.35	16.82	13.01	17.55	17.11	15.19	16.01	16.98
18	14.40	15.01	14.94	15.59	14.43	11.23	16.36	19.08	17.62	15.15	16.02	14.83	18	14.48	13.01	14.29	15.83	16.31	15.46	16.69	18.72	15.30	15.09	14.60	11.97
19	14.24	15.33	14.12	14.94	13.60	13.19	16.31	20.65	15.75	19.51	16.72	14.59	19	15.91	15.01	13.64	11.45	15.53	14.85	16.28	17.13	16.26	11.79	17.44	12.32
20	12.95	11.57	14.28	14.32	14.73	14.94	14.96	19.64	10.68	18.40	18.30	16.13	20	14.55	14.28	16.24	17.08	14.24	14.26	16.82	14.94	16.06	15.36	13.73	15.49
21	13.78	14.97	13.64	14.67	16.17	14.53	16.97	17.08	14.81	16.44	12.94	13.19	21	12.33	14.64	15.19	15.98	14.02	13.88	17.98	15.73	16.48	15.80	16.30	11.75
22	15.55	14.63	15.59	14.66	14.62	13.43	13.85	17.63	19.32	18.15	14.92	13.30	22	12.68	15.25	14.13	15.47	13.64	15.40	16.90	17.50	16.99	15.76	14.93	14.36
23	15.05	14.33	13.98	16.25	12.40	12.10	13.05	18.69	17.56	17.87	15.12	15.56	23	14.48	13.23	15.20	16.90	13.79	16.25	16.65	18.82	10.56	12.83	10.05	14.80
24	16.54	14.28	11.46	13.57	14.04	12.87	12.31	17.93	13.37	18.80	10.92	14.30	24	10.52	11.49	14.22	16.55	15.12	16.70	17.16	18.35	15.43	15.08	10.47	9.51
25	12.69	12.46	15.27	15.42	16.98	13.71	12.47	13.37	17.71	17.71	7.08	13.19	25	14.62	12.95	11.16	15.47	15.33	15.44	16.80	17.58	12.15	17.02	14.10	13.71
26	14.99	13.89	14.57	13.38	15.69	14.56	12.24	14.58	17.71	14.61	17.51	13.30	26	14.27	15.40	14.65	15.09	13.40	15.74	14.09	15.85	18.45	16.09	13.88	14.28
27	15.11	14.95	12.04	14.93	13.10	15.65	14.18	13.59	18.22	13.23	14.45	14.42	27	11.69	13.29	15.07	15.35	12.25	15.83	15.65	13.26	20.33	15.64	14.58	14.39
28	14.94	13.90	14.19	15.37	11.61	16.87	15.94	14.01	17.34	13.01	16.15	14.33	28	11.89	15.37	14.23	13.48	13.73	12.92	15.96	12.31	15.98	16.90	10.75	13.26
29	15.04		13.42	15.92	11.86	17.32	15.32	15.25	15.87	16.85	14.73	13.15	29	11.54		15.24	13.61	16.43	15.33	16.65	17.92	17.48	16.12	10.99	12.58
30	15.30		13.92	12.19	14.87	12.53	16.06	17.51	17.77	18.53	17.63	10.44	30	13.57		15.12	12.72	15.83	15.39	16.99	13.05	12.28	11.25	14.33	12.14
31	16.18		14.74		13.83		16.54	16.50		19.47		15.94	31	14.70		14.83		12.05		15.89	13.55		13.94		15.37

DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MAXIMAS AÑO 2011 – NASA POWER MERRA													DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MAXIMAS AÑO 2012 – NASA POWER MERRA												
DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	13.69	13.65	13.73	13.01	11.56	14.68	6.07	15.97	15.76	16.49	16.38	15.65	1	15.19	15.94	14.66	14.52	13.35	13.12	14.83	15.96	16.17	14.92	16.19	15.73
2	13.55	14.62	13.31	12.63	11.55	14.55	9.22	14.78	15.72	13.13	16.54	15.73	2	13.40	10.48	12.00	11.83	13.48	15.76	9.84	17.71	16.53	18.08	17.57	15.52
3	13.15	15.22	9.02	13.27	14.01	13.40	9.59	15.20	16.23	15.19	16.30	16.36	3	13.30	14.63	14.25	12.27	14.96	14.95	9.51	18.15	16.99	14.76	14.70	14.89
4	15.26	14.09	13.27	12.46	14.35	10.30	11.73	13.51	17.41	16.94	16.84	16.18	4	15.37	12.15	14.48	12.78	14.69	14.08	11.59	15.94	16.31	17.02	16.83	15.53
5	9.86	14.37	12.86	13.48	14.23	11.68	12.81	14.69	16.09	15.84	18.15	16.33	5	14.43	15.65	14.09	11.71	13.44	13.48	12.67	15.42	16.98	11.73	15.97	12.23
6	14.08	11.15	13.66	11.94	13.48	14.44	11.83	15.55	14.62	14.19	17.51	15.19	6	14.84	13.15	13.76	13.87	13.74	11.18	13.29	17.03	18.44	13.98	15.17	15.84
7	12.17	15.06	13.76	13.68	11.09	13.71	11.03	15.44	8.44	14.13	17.26	15.33	7	13.30	14.74	10.88	12.35	14.58	11.35	13.30	17.66	16.83	16.30	17.98	13.37
8	13.75	12.54	11.39	11.15	13.87	14.13	11.06	15.61	18.19	16.26	17.78	14.38	8	14.77	14.43	13.92	9.26	13.23	11.97	12.98	17.37	18.42	17.25	17.48	15.73
9	13.99	12.88	14.38	10.48	12.49	14.48	13.14	12.07	11.72	14.89	18.92	14.25	9	13.89	14.09	13.21	13.02	14.80	13.17	14.66	16.08	14.72	16.80	18.44	15.40
10	14.76	10.28	14.82	13.34	13.05	12.68	13.01	14.61	13.15	13.33	16.83	14.12	10	18.01	11.37	13.40	13.56	15.55	14.19	16.09	16.50	17.58	14.31	16.34	9.86
11	14.73	12.91	12.60	14.26	14.01	9.41	13.22	14.01	15.28	16.26	17.66	13.65	11	15.95	11.58	13.54	11.13	14.83	13.62	17.19	18.12	17.55	7.75	18.55	15.35
12	13.31	13.08	12.72	13.26	13.27	14.04	14.50	14.58	15.55	16.94	17.02	12.37	12	16.40	14.55	12.63	13.57	13.80	14.26	17.96	17.73	17.33	16.29	14.28	12.47
13	14.29	14.99	13.66	13.64	14.41	12.58	13.26	15.41	16.16	17.04	17.69	13.73	13	14.68	14.37	14.01	10.23	13.56	13.53	15.47	14.55	12.62	17.16	19.70	11.40
14	14.96	12.21	12.11	11.65	10.35	12.73	15.23	13.37	16.23	16.44	16.13	13.50	14	17.17	13.88	12.54	14.59	14.80	14.76	16.36	16.23	14.01	19.07	18.12	15.12
15	14.09	14.05	12.00	10.63	11.38	13.07	14.79	14.37	15.35	15.64	19.30	14.26	15	16.19	13.23	11.00	11.28	14.61	15.40	16.04	16.66	16.67	17.79	16.80	10.21
16	10.81	15.18	9.95	11.01	13.05	12.43	13.48	15.45	14.00	12.95	13.90	15.48	16	12.38	12.87	13.18	7.53	13.34	15.80	15.14	15.31	16.51	17.95	16.27	13.26
17	16.88	14.86	14.30	12.65	13.68	12.73	13.40	15.48	16.01	13.33	17.04	14.91	17	15.52	13.15	15.61	13.87	11.33	16.02	15.15	15.02	14.48	17.73	15.80	15.04
18	13.08	13.40	13.39	11.45	13.15	12.43	14.10	16.43	16.20	15.64	14.41	11.26	18	15.51	13.14	14.12	12.80	11.46	16.26	15.08	12.56	17.30	15.95	15.06	14.44
19	14.86	13.40	11.99	13.24	13.49	11.81	12.54	16.26	13.37	14.17	14.83	12.88	19	13.02	13.80	15.77	14.31	12.73	16.26	15.73	14.19	18.30	18.21	15.50	14.70
20	12.94	13.15	13.12	13.79	12.35	13.50	13.31	13.72	15.50	16.26	15.63	15.15	20	12.47	13.23	15.53	14.69	12.85	14.88	16.78	16.58	18.15	18.01	13.96	14.85
21	13.17	14.37	14.19	12.88	12.22	13.50	13.09	11.62	13.57	17.38	15.06	14.83	21	14.55	14.80	15.58	11.12	13.51	15.55	17.15	6.94	13.03	18.21	12.53	10.61
22	14.40	11.87	13.40	13.79	13.20	13.60	10.79	16.44	16.58	13.70	11.73	12.32	22	11.79	12.64	16.23	10.03	14.37	12.54	15.15	16.08	12.92	18.64	18.41	12.23
23	14.83	14.04	14.06	13.78	10.98	14.30	13.60	14.99	14.76	15.09	14.79	14.07	23	13.01	13.78	10.69	13.90	13.98	13.92	16.09	13.88	19.01	19.13	15.37	14.05
24	13.50	12.28	13.57	13.09	14.48	13.88	13.35	15.45	13.48	17.14	16.48	12.79	24	14.43	12.14	12.82	11.77	11.93	13.34	16.55	11.60	15.53	13.15	13.12	12.80
25	13.20	13.44	14.11	12.60	13.96	13.21	14.95	14.58	16.38	17.56	16.96	9.33	25	11.20	13.73	12.19	12.32	9.64	12.28	15.75	12.99	10.00	19.11	12.74	15.38
26	14.97	13.30	12.56	12.30	14.21	13.40	14.40	15.68	15.52	12.21	15.98	14.31	26	13.30	12.14	14.25	12.60	16.39	12.63	15.58	16.66	15.83	15.74	14.87	14.25
27	11.19	11.87	12.68	12.83	13.24	15.30	13.98	16.73	14.80	15.98	16.66	14.66	27	13.88	11.38	12.95	12.26	15.67	14.58	14.14	16.79	17.76	15.34	18.83	14.69
28	14.26	12.31	14.29	13.46	13.48	13.19	14.70	16.87	14.53	16.58	16.30	13.55	28	14.53	13.37	13.41	15.29	16.17	15.59	13.80	16.72	15.98	17.38	15.76	13.41
29	12.90		11.93	14.17	13.62	11.90	14.74	15.90	15.36	14.21	17.01	15.16	29	14.80	10.79	15.11	11.60	14.77	15.05	14.58	15.67	14.47	16.46	13.18	12.87
30	13.19		9.81	11.65	14.03	10.82	12.66	14.95	17.32	11.41	16.87	15.32	30	14.27		14.02	11.53	14.08	12.83	14.30	16.23	14.78	16.18	14.61	13.58
31	13.37		13.20		14.81		13.14	13.73		8.52		15.97	31	9.74		14.33		8.40		15.55	17.03		17.81		12.37

DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MAXIMAS AÑO 2013 – NASA POWER MERRA													DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MAXIMAS AÑO 2014 – NASA POWER MERRA												
DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	9.79	16.21	14.37	15.31	14.83	13.60	14.54	16.04	17.79	15.28	14.08	15.47	1	7.83	12.68	16.87	13.22	15.21	16.06	15.36	14.69	17.24	15.15	15.99	13.63
2	6.63	14.75	13.62	15.22	13.26	12.83	12.51	14.95	17.55	15.32	14.48	15.22	2	14.18	14.39	15.47	14.06	15.33	14.46	14.19	13.93	17.51	16.08	15.12	15.52
3	12.55	13.15	12.13	13.89	12.73	12.03	12.16	15.61	17.49	15.06	13.31	13.85	3	14.44	16.82	13.66	13.55	13.59	14.94	14.38	16.99	16.40	15.55	18.65	13.01
4	12.71	13.25	13.96	11.11	12.33	11.46	12.57	14.48	12.52	13.33	15.20	12.19	4	9.76	12.78	13.35	13.46	13.62	16.25	14.05	17.21	13.30	16.34	18.99	14.91
5	13.17	12.00	13.14	15.70	12.20	12.17	11.09	15.27	16.14	15.21	13.19	13.08	5	12.98	14.51	13.85	13.25	13.30	16.75	14.30	14.39	13.33	17.04	16.94	17.38
6	11.45	15.15	15.65	14.23	14.83	11.28	13.51	9.51	17.55	16.33	13.71	13.70	6	14.30	11.74	15.12	15.43	8.64	16.38	15.38	16.43	16.04	16.58	17.95	18.56
7	12.56	10.33	9.40	12.19	12.95	12.10	13.36	16.62	18.83	13.23	16.76	12.10	7	13.98	12.15	14.80	13.52	12.71	17.06	13.57	12.47	15.25	16.89	18.33	18.90
8	13.40	14.12	12.84	14.13	14.80	12.13	13.48	17.81	17.31	13.76	16.70	14.24	8	14.76	14.08	12.48	15.07	12.63	16.48	14.92	10.48	17.30	15.54	19.58	18.16
9	13.24	14.05	15.20	13.42	14.36	13.26	13.47	15.11	11.15	14.69	15.92	14.98	9	14.93	14.78	14.05	14.76	13.19	15.10	15.26	14.49	15.87	16.83	15.49	15.05
10	13.49	13.91	15.30	13.75	15.44	13.50	14.13	11.27	15.83	11.85	15.30	11.58	10	14.87	14.44	16.34	12.92	13.69	14.63	15.68	16.26	16.52	14.41	17.83	13.08
11	12.58	12.04	12.13	15.80	15.64	12.40	15.23	17.19	15.73	13.51	14.40	13.76	11	15.78	12.56	15.32	13.78	13.91	14.89	15.87	15.74	14.83	16.26	17.90	17.48
12	14.53	12.35	14.89	15.08	10.74	12.04	14.23	17.68	16.04	14.81	14.68	12.79	12	13.85	12.19	14.73	13.63	12.63	15.01	16.08	15.37	10.51	16.40	15.95	14.47
13	13.82	14.12	12.63	12.51	13.65	12.42	10.62	16.69	14.97	16.29	11.96	12.19	13	14.58	14.21	14.52	14.23	13.31	14.75	15.22	14.17	14.03	15.92	18.63	16.55
14	13.03	14.41	11.76	11.70	13.80	13.48	12.66	15.38	13.94	16.49	14.22	12.25	14	15.89	10.51	13.28	10.69	13.50	13.40	15.68	10.05	16.64	16.72	14.24	14.73
15	14.76	11.76	11.62	15.04	13.12	13.66	11.87	14.66	15.23	17.76	17.34	11.58	15	15.12	10.82	13.40	14.44	13.71	11.30	16.24	15.09	15.36	16.32	15.78	16.98
16	13.40	10.65	10.98	13.36	11.87	14.20	13.14	18.19	15.01	17.64	14.14	15.24	16	12.18	14.76	12.89	15.58	12.82	14.29	14.95	16.83	13.52	17.44	16.49	17.27
17	9.76	13.88	13.81	11.29	12.14	13.48	13.02	15.92	14.26	15.58	13.50	16.54	17	13.60	12.61	13.26	13.55	12.49	13.05	13.83	16.34	17.76	16.07	16.73	11.98
18	12.55	9.88	14.39	13.32	11.92	11.71	13.34	15.98	12.34	16.96	16.23	17.92	18	14.12	14.71	12.68	12.73	14.01	14.04	10.39	13.42	14.26	16.56	17.47	14.41
19	13.06	12.62	14.55	13.93	14.19	10.19	14.19	16.78	16.87	15.45	15.04	12.06	19	14.30	13.40	13.98	12.92	11.48	14.25	12.96	14.83	12.70	12.94	18.16	15.67
20	14.78	14.77	14.76	14.91	14.06	12.19	13.30	16.67	16.88	18.30	9.76	15.52	20	12.44	11.21	15.24	12.62	14.11	15.54	13.71	14.41	13.03	14.22	15.84	16.74
21	10.97	10.80	12.76	14.29	15.84	13.12	12.90	17.00	18.15	18.69	14.26	11.87	21	13.65	14.15	10.11	13.04	13.48	14.59	14.86	16.15	15.99	14.33	13.87	15.98
22	11.90	11.48	12.69	13.05	14.40	13.65	14.19	14.42	18.81	14.02	13.57	14.49	22	13.46	13.02	13.99	13.04	10.98	16.05	14.92	17.55	14.10	15.10	17.21	14.51
23	13.67	14.00	15.76	13.12	14.56	12.69	13.82	14.26	18.33	10.69	15.55	14.80	23	12.67	12.69	11.88	14.26	10.02	15.83	13.09	17.27	17.51	15.30	14.57	13.50
24	14.40	15.34	15.51	13.38	12.23	12.78	15.35	12.28	10.24	16.16	16.16	12.37	24	15.79	13.86	15.16	14.15	13.95	15.24	14.05	17.25	17.85	19.42	13.92	17.20
25	14.57	9.76	12.62	15.76	13.02	12.98	13.74	10.37	18.20	10.69	15.87	13.44	25	17.19	15.33	14.05	14.04	15.30	11.35	13.70	16.94	14.89	14.84	18.62	17.30
26	14.37	13.55	12.58	16.40	13.89	9.26	13.91	16.16	18.75	16.69	17.65	15.29	26	10.03	13.09	12.15	7.94	14.73	13.12	14.76	14.31	15.33	16.54	17.14	15.12
27	9.51	14.60	12.22	16.00	14.19	13.26	16.26	12.73	19.39	14.15	14.33	11.87	27	12.94	13.74	14.10	15.37	15.83	13.04	12.75	12.74	13.39	15.67	14.72	16.77
28	14.83	14.41	13.94	14.14	12.47	15.02	13.99	12.53	16.12	15.10	17.30	14.58	28	14.77	10.97	14.15	14.03	15.78	13.62	12.01	14.28	14.62	17.45	12.64	12.76
29	15.69		14.68	13.75	12.78	15.53	14.83	14.92	19.01	18.25	16.71	15.07	29	12.13		15.69	11.85	15.58	15.42	14.22	15.09	14.61	17.62	17.56	11.24
30	15.06		14.55	15.21	10.98	10.62	15.49	16.49	10.62	15.19	16.63	15.71	30	12.14		11.15	13.57	15.73	15.86	13.06	14.43	15.55	13.75	14.10	14.22
31	15.53		14.80		12.30		15.87	17.69		11.25		12.53	31	14.06		11.01		15.90		16.18	15.38		9.62		13.69

DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MAXIMAS AÑO 2015 – NASA POWER MERRA													DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MAXIMAS AÑO 2016 – NASA POWER MERRA												
DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	13.06	13.70	14.76	13.80	14.42	12.36	14.55	15.57	14.94	15.83	16.96	13.44	1	13.22	13.39	14.45	15.20	16.77	15.14	15.06	15.52	17.11	16.39	17.12	15.44
2	13.22	14.47	15.25	14.59	13.73	12.33	13.58	16.66	14.78	16.05	15.17	15.12	2	13.73	16.01	16.27	14.45	15.12	14.94	15.67	14.96	15.03	15.08	12.05	12.94
3	10.84	14.65	11.81	15.24	14.42	12.83	13.30	15.61	13.95	12.26	16.65	16.30	3	11.62	14.71	17.77	16.26	13.85	15.45	15.63	16.03	15.31	17.08	13.83	15.30
4	13.72	15.26	13.28	14.73	12.65	12.67	11.57	16.45	15.21	16.57	19.26	16.22	4	16.49	13.34	17.30	13.23	14.94	15.55	15.32	16.40	14.83	14.66	14.48	9.81
5	14.98	14.76	14.17	14.54	13.76	13.87	8.79	16.69	15.27	15.35	11.15	12.71	5	17.84	13.87	16.17	14.90	16.07	16.34	15.03	17.44	17.42	15.10	14.26	16.68
6	12.86	12.82	14.92	14.12	12.84	14.49	12.66	17.81	15.46	15.48	17.88	15.86	6	12.60	15.15	16.11	15.18	15.33	14.97	13.89	16.62	17.01	13.85	14.86	7.37
7	14.19	11.48	14.27	13.77	13.16	14.58	14.18	13.59	17.19	13.72	18.72	13.00	7	13.87	13.74	10.77	15.64	13.15	14.51	10.29	16.40	18.74	9.73	13.12	14.68
8	12.13	14.38	13.13	12.94	13.35	11.01	14.28	16.65	17.36	14.17	15.51	15.88	8	14.81	13.91	16.59	15.31	13.35	13.66	13.71	16.49	17.58	15.69	13.87	15.38
9	14.90	14.60	16.20	13.57	14.11	14.08	14.94	17.01	16.98	20.40	15.86	15.66	9	16.63	15.69	16.40	13.81	13.83	12.83	15.55	15.06	17.87	16.53	9.99	14.98
10	12.94	12.94	13.07	10.09	14.26	13.66	15.48	12.52	14.73	19.55	17.83	17.02	10	12.42	14.84	14.45	16.15	15.16	14.00	16.27	11.06	17.83	13.33	15.66	11.80
11	12.73	12.74	15.42	12.87	10.87	10.83	15.63	10.09	15.08	15.64	15.18	18.20	11	15.20	15.02	15.72	13.48	14.30	15.07	16.45	14.90	18.30	14.22	19.16	13.14
12	13.40	13.65	15.66	13.90	13.02	10.12	14.98	12.94	12.82	19.93	11.43	17.13	12	15.93	16.42	13.94	14.72	15.51	14.59	16.89	16.49	19.44	16.22	17.69	15.26
13	12.81	12.46	15.54	14.19	10.91	15.08	15.39	12.60	12.37	18.66	17.36	18.22	13	16.12	16.69	14.83	15.86	5.83	15.73	14.84	15.16	20.53	13.94	16.44	12.07
14	14.51	14.51	15.08	13.85	12.01	14.85	13.34	13.67	16.37	20.01	14.93	17.26	14	15.64	17.25	15.89	13.80	11.21	15.83	16.69	15.83	18.87	12.18	17.88	15.12
15	15.69	12.41	12.30	13.20	6.51	11.11	12.25	15.97	17.37	18.39	14.73	17.64	15	14.73	14.49	16.44	14.37	15.83	15.53	17.19	17.48	19.14	15.65	17.58	10.62
16	12.30	14.48	15.12	13.97	8.21	12.98	13.34	15.44	18.13	8.78	16.08	14.20	16	16.35	15.50	16.14	14.92	15.46	15.56	14.84	15.19	17.07	15.07	16.22	16.67
17	12.02	11.65	15.23	7.71	12.09	14.01	10.39	13.42	18.83	13.70	17.52	17.71	17	15.88	16.87	14.48	11.65	14.76	15.33	10.60	16.66	13.47	13.46	13.71	16.23
18	12.22	8.61	13.34	13.34	13.48	13.74	13.69	13.82	16.91	15.26	20.33	11.69	18	16.03	15.18	15.90	16.46	13.48	14.90	16.72	15.55	17.63	13.42	14.42	17.38
19	12.90	16.27	12.82	13.11	14.17	11.94	15.58	15.04	15.11	17.65	20.80	14.09	19	14.94	16.94	16.17	14.99	12.23	14.80	15.16	13.13	7.44	15.46	16.21	10.51
20	9.83	14.48	14.73	14.33	10.12	13.84	16.55	16.15	17.42	16.48	17.70	15.28	20	16.74	16.41	15.39	14.37	15.69	14.12	16.10	10.56	15.18	14.22	16.02	16.94
21	12.10	10.91	13.55	11.73	13.08	13.26	13.18	15.26	16.59	17.80	13.14	15.44	21	16.21	13.63	16.48	14.61	15.98	13.52	16.46	13.28	15.77	14.58	15.77	13.36
22	14.35	14.26	14.02	12.94	14.09	14.04	15.61	17.26	17.15	18.94	19.35	14.24	22	17.38	14.48	15.98	13.62	13.00	15.09	16.08	16.08	16.54	13.10	14.33	16.22
23	13.51	13.51	14.08	13.19	13.58	13.37	15.89	16.44	13.13	17.27	20.23	14.41	23	18.16	13.32	15.94	16.32	14.37	15.11	16.33	16.71	14.26	15.17	14.15	15.33
24	14.02	14.35	13.20	12.59	14.01	13.14	15.51	15.40	16.66	10.91	19.00	15.08	24	18.16	11.88	18.03	15.99	14.88	15.67	15.95	17.55	14.12	11.96	19.21	15.83
25	14.05	14.81	14.73	12.95	13.36	14.45	15.34	13.60	16.81	18.01	17.05	14.78	25	17.88	15.05	17.28	16.96	14.99	13.47	17.62	15.75	13.68	15.65	14.55	15.04
26	13.83	14.30	12.90	14.05	13.55	13.79	16.01	18.17	14.32	13.81	20.00	13.51	26	12.45	15.65	11.05	17.59	16.75	14.36	16.69	15.35	13.61	13.20	15.23	10.15
27	13.43	14.45	12.90	14.00	14.14	13.22	16.77	10.11	13.87	15.76	18.84	15.52	27	17.83	13.65	16.48	15.84	12.05	11.34	16.15	15.45	13.92	10.51	16.67	15.19
28	14.37	14.91	10.34	11.07	10.14	13.77	14.47	16.25	16.58	17.58	18.94	13.81	28	15.20	16.65	16.46	17.73	15.78	11.40	16.54	14.87	16.51	14.94	15.41	11.21
29	14.57		15.72	12.75	14.87	14.77	14.09	16.61	15.31	16.19	13.98	10.25	29	16.29	15.15	13.58	17.44	16.42	15.44	16.38	18.26	12.37	15.58	13.01	15.32
30	11.16		7.88	13.94	14.06	15.23	14.17	16.71	16.07	15.05	11.51	12.09	30	16.18		12.40	15.30	16.55	16.32	15.82	14.46	17.07	16.25	14.75	14.87
31	14.53		11.43		13.80		10.33	15.84		17.85		16.54	31	14.17		15.96		15.83		16.75	17.62		15.78		10.49

DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MAXIMAS AÑO 2017 – NASA POWER MERRA													DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MAXIMAS AÑO 2018 – NASA POWER MERRA												
DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	16.14	15.83	13.90	13.45	14.97	11.16	12.82	16.93	16.05	21.00	8.63	16.37	1	15.78	14.62	14.12	15.55	13.69	14.10	15.89	8.96	16.06	18.50	16.67	13.65
2	15.28	15.82	14.25	13.87	15.96	13.19	13.23	17.98	16.33	19.19	16.75	9.84	2	14.51	14.68	14.86	9.01	14.37	12.32	15.82	13.14	17.57	19.79	16.53	14.67
3	16.31	12.25	13.65	11.50	14.69	13.65	13.09	15.87	15.61	20.23	16.16	13.72	3	13.85	15.78	11.72	13.34	13.79	10.58	15.37	12.39	17.07	17.96	16.35	17.25
4	9.69	15.20	12.38	15.15	15.38	13.94	13.86	17.55	16.66	17.57	13.31	16.23	4	13.73	14.34	14.11	13.66	12.32	11.87	15.08	13.23	15.33	9.53	16.30	18.41
5	12.52	14.61	14.49	14.37	11.59	13.63	15.33	15.71	15.14	18.30	15.65	14.39	5	15.26	16.03	13.44	12.54	8.95	13.81	15.51	12.51	16.84	15.22	12.67	13.20
6	14.31	14.64	12.93	13.84	10.62	14.71	14.08	17.13	17.61	16.69	11.21	11.81	6	14.30	14.76	14.02	11.40	11.94	14.58	16.07	12.19	16.40	17.35	14.61	15.30
7	15.25	14.11	13.71	15.58	15.15	14.54	12.23	17.54	15.38	15.77	15.71	15.60	7	14.45	16.16	13.05	13.30	13.41	13.40	15.95	11.02	16.90	17.68	10.76	16.02
8	15.51	15.49	14.16	14.41	14.93	14.77	16.03	17.05	15.15	14.12	16.69	13.97	8	12.15	15.48	13.20	13.05	12.90	13.18	15.40	13.62	16.42	18.40	16.66	14.51
9	14.31	14.69	15.18	12.87	14.40	14.48	7.04	14.93	16.23	17.16	14.35	18.34	9	14.45	10.23	14.54	11.73	12.82	11.37	13.10	14.01	16.33	16.70	17.30	18.23
10	13.80	13.74	14.15	14.83	12.99	12.90	14.11	14.17	14.59	14.23	15.53	16.96	10	13.98	14.32	13.93	11.99	15.44	11.89	13.99	14.26	15.48	15.86	17.45	18.73
11	14.16	16.18	13.88	13.65	13.31	16.59	13.46	15.78	15.33	10.30	14.71	17.05	11	14.40	14.01	14.03	14.86	14.12	13.04	14.23	12.80	15.83	13.65	14.10	17.48
12	14.48	15.71	15.26	13.82	15.32	15.10	14.80	15.44	14.46	16.94	8.84	17.69	12	13.87	14.78	14.40	14.34	9.47	12.72	13.73	15.05	17.01	11.03	13.83	18.40
13	15.55	12.81	13.08	14.44	14.91	15.35	16.58	16.23	17.48	17.70	12.30	18.12	13	15.98	11.74	14.33	11.33	14.88	12.45	13.30	15.85	16.86	13.04	14.03	16.95
14	13.47	13.26	14.84	14.93	15.88	12.15	17.25	15.19	15.65	12.50	16.23	18.25	14	14.48	13.83	14.01	14.15	15.44	12.32	13.14	14.57	15.14	13.58	12.41	17.59
15	14.95	15.08	13.05	14.01	13.46	14.86	17.15	15.99	16.33	14.60	14.01	12.50	15	10.48	14.72	15.49	14.00	14.20	12.86	14.10	10.62	7.59	16.23	14.23	13.21
16	13.46	13.29	14.65	13.96	13.54	15.98	16.62	15.63	13.20	16.74	18.64	16.70	16	13.49	14.98	13.27	14.45	13.45	13.99	14.25	13.81	14.37	16.11	13.08	15.88
17	15.00	12.58	14.29	12.96	12.00	17.23	14.99	15.23	18.06	16.83	16.30	16.78	17	14.71	14.98	11.44	14.43	13.74	14.06	14.67	14.25	11.82	15.06	16.30	16.20
18	14.74	12.73	15.38	12.98	14.36	17.32	16.74	9.33	16.58	14.08	13.22	16.42	18	13.24	16.16	14.14	12.76	14.01	14.13	13.20	15.35	9.30	14.17	13.85	14.21
19	14.12	14.25	14.44	15.27	13.62	13.30	17.50	18.58	17.19	17.98	11.15	13.96	19	13.75	12.33	12.74	14.06	14.03	14.64	13.30	13.43	17.74	16.26	17.29	14.72
20	14.52	15.32	14.48	12.25	10.79	13.24	17.22	16.94	19.33	14.11	14.58	15.82	20	14.40	13.36	12.64	11.08	14.36	14.58	12.56	13.46	9.68	12.70	16.11	13.78
21	11.92	13.32	15.03	15.63	11.54	14.08	16.53	12.62	17.50	15.79	17.73	14.19	21	14.55	14.39	13.94	12.25	15.16	14.91	6.81	13.00	14.60	16.30	17.48	14.29
22	14.97	13.31	14.31	14.65	12.39	15.38	15.76	16.25	17.74	17.23	13.54	16.54	22	13.55	13.12	14.83	14.12	14.56	14.60	12.69	14.94	14.38	16.10	13.49	14.12
23	15.51	13.76	14.26	13.96	12.57	16.08	17.05	17.80	15.35	15.55	17.10	16.23	23	12.94	12.14	14.12	13.10	14.44	15.02	13.83	15.51	16.97	13.47	19.01	15.65
24	14.73	14.15	12.94	13.25	13.12	15.41	16.03	15.44	17.64	15.47	18.49	17.30	24	12.51	14.13	14.18	12.83	14.42	13.71	14.45	15.55	13.54	13.67	14.94	13.32
25	12.78	14.06	12.01	13.16	12.40	15.19	15.50	16.73	13.18	12.38	17.42	12.27	25	14.42	13.48	13.18	12.82	14.62	14.61	15.23	13.57	12.89	14.28	13.80	13.16
26	15.06	11.37	15.33	12.57	13.44	16.16	15.03	14.35	16.81	16.90	18.25	12.58	26	14.54	13.86	12.05	11.54	14.74	14.35	13.69	13.05	11.62	15.47	15.80	13.94
27	11.71	14.85	13.09	12.49	13.15	15.46	14.35	14.63	13.51	15.55	15.63	12.58	27	16.62	14.08	14.50	13.09	14.98	14.53	15.62	14.58	12.90	16.00	16.87	12.62
28	14.76	14.30	14.26	13.31	10.69	14.96	15.90	9.09	16.51	15.83	14.08	15.10	28	15.44	14.14	14.65	13.73	14.83	15.29	16.37	15.21	12.05	18.15	12.48	13.79
29	12.98		13.55	13.84	13.05	6.52	13.65	13.73	18.04	14.45	14.24	12.89	29	12.08		14.20	13.90	14.48	15.51	16.00	16.69	18.62	9.96	16.42	12.12
30	16.48		11.69	14.05	13.73	13.47	15.33	15.69	17.37	16.93	17.41	15.55	30	14.20		13.87	13.01	14.94	15.82	17.11	17.01	16.46	15.38	13.58	13.81
31	13.40		14.32		15.27		15.53	15.51		18.23		11.17	31	15.05		14.83		15.47		14.90	16.99		12.26		10.81



DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MAXIMAS AÑO 2019 – NASA POWER MERRA													DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MAXIMAS AÑO 2020 – NASA POWER MERRA												
DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	15.19	14.55	15.57	8.57	14.08	17.65	16.51	18.36	13.87	9.93	14.92	15.39	1	9.89	14.08	13.79	14.09	15.08	14.35	16.20	17.19	16.03	17.58	18.61	15.19
2	15.12	12.83	15.17	14.08	16.57	16.47	18.42	17.43	17.97	16.03	17.27	13.37	2	11.94	15.43	15.15	13.80	14.40	13.62	14.76	17.33	16.88	15.69	18.11	14.86
3	13.17	14.37	14.78	14.19	15.37	15.08	19.35	16.15	15.73	17.02	9.20	15.40	3	15.52	14.16	16.18	14.65	14.66	12.21	14.59	16.73	11.66	13.84	16.08	11.22
4	12.17	14.48	15.08	15.17	15.72	16.19	18.37	17.32	11.46	15.25	8.87	14.83	4	11.59	15.33	14.12	15.18	11.39	10.48	17.59	17.23	16.14	15.38	16.80	14.68
5	14.15	14.19	14.31	16.77	13.44	16.01	12.37	17.33	15.52	12.66	12.98	14.27	5	15.67	15.08	15.04	14.58	12.51	13.95	16.37	16.15	17.50	17.35	15.03	14.77
6	16.56	15.51	11.83	12.19	14.59	16.33	11.59	17.59	14.37	10.02	11.05	13.78	6	15.34	12.85	15.67	15.02	12.71	14.62	14.60	16.41	16.23	18.06	16.99	13.54
7	14.21	14.60	15.80	15.10	15.76	16.75	15.93	17.01	14.80	15.96	15.08	14.81	7	11.61	16.11	12.76	12.60	13.76	16.41	15.16	15.05	12.44	13.82	17.58	15.11
8	12.40	13.68	15.58	14.83	14.08	15.77	15.98	15.56	15.83	19.05	14.95	15.53	8	15.45	11.19	15.19	16.10	15.47	15.96	15.96	15.76	14.26	16.61	16.86	15.62
9	16.42	13.62	13.23	16.28	16.20	15.74	16.28	16.48	17.06	16.19	16.02	14.73	9	14.29	13.48	9.96	15.32	15.73	15.45	9.06	16.42	16.22	19.15	14.62	13.62
10	11.84	12.55	12.89	16.05	16.20	17.30	16.52	15.70	17.44	18.28	15.35	15.30	10	14.87	14.52	13.07	14.51	15.32	12.77	14.51	17.49	16.36	19.39	19.93	16.68
11	12.35	14.48	16.27	15.26	15.27	13.47	16.59	16.46	17.25	17.94	12.92	15.13	11	14.97	14.98	14.97	15.30	14.86	15.72	16.20	13.19	13.65	13.33	16.74	16.14
12	12.61	12.55	14.23	14.33	14.52	15.54	17.24	18.15	16.62	16.51	15.09	15.68	12	13.48	13.12	13.43	14.71	15.80	16.40	16.51	14.42	10.65	16.08	14.90	8.73
13	14.59	13.20	12.05	14.45	14.07	16.65	15.47	14.15	15.46	15.37	16.01	14.87	13	14.75	13.17	13.57	15.71	15.59	14.44	15.23	16.01	17.33	13.48	18.73	16.14
14	13.87	11.29	14.81	15.76	14.45	15.25	15.48	16.80	17.51	15.19	12.32	14.60	14	13.68	12.36	14.64	15.73	12.66	14.14	13.79	15.33	15.29	15.57	20.11	15.44
15	13.25	12.90	15.08	12.54	15.33	15.33	13.82	16.86	18.58	15.40	12.58	16.26	15	12.16	13.69	14.82	14.26	14.19	14.80	15.33	14.28	16.25	15.72	18.05	16.44
16	14.73	13.40	15.56	14.49	15.61	11.69	12.39	17.04	18.93	11.15	13.58	15.26	16	14.61	15.44	13.84	11.32	13.80	15.02	10.64	16.03	17.23	13.63	14.75	14.48
17	13.58	13.39	14.76	14.80	16.94	15.16	9.65	18.23	17.94	10.01	15.00	15.13	17	13.27	12.89	13.73	12.78	15.37	17.18	15.32	16.92	17.30	18.01	17.65	14.64
18	12.17	14.76	10.89	15.89	16.62	16.62	13.96	18.29	19.17	16.03	14.88	10.31	18	14.57	12.09	14.26	13.95	15.25	17.22	16.71	15.54	13.37	13.15	19.39	12.58
19	14.39	15.44	14.46	14.65	16.23	16.21	14.46	16.67	12.45	13.15	14.93	15.08	19	14.01	14.07	15.12	13.66	14.74	9.40	16.23	15.32	18.08	18.37	12.02	15.20
20	14.69	14.54	14.25	13.69	16.17	11.55	15.14	7.34	17.30	17.32	14.76	14.35	20	14.58	14.79	15.01	14.19	13.60	14.79	16.82	13.47	13.59	17.30	14.92	14.48
21	15.72	13.07	14.60	17.01	12.43	15.48	14.18	14.76	12.70	15.90	14.92	14.15	21	9.51	11.50	12.50	14.70	14.91	16.51	17.12	13.82	17.08	18.63	17.15	15.26
22	13.11	14.80	13.07	12.65	14.12	15.14	13.43	15.16	16.98	14.29	15.61	12.80	22	13.80	13.24	14.33	14.55	14.68	11.01	16.99	16.67	17.68	17.53	17.74	6.84
23	15.57	16.29	15.79	15.47	14.98	15.64	13.43	15.26	17.91	12.55	10.87	11.23	23	13.43	16.46	15.05	14.88	12.72	12.75	14.87	18.23	16.91	12.49	19.44	13.81
24	15.08	16.52	13.91	14.88	11.39	16.60	13.52	17.66	17.03	19.38	13.76	15.04	24	14.57	13.84	15.08	14.80	12.61	12.21	14.84	17.43	17.60	19.92	18.89	15.90
25	15.25	8.99	14.62	15.07	14.98	17.19	13.86	13.94	17.26	16.66	15.94	12.88	25	14.01	13.94	15.74	14.75	15.76	15.75	10.47	17.61	18.93	8.84	17.14	14.48
26	15.32	12.58	10.98	13.26	15.35	14.55	13.41	15.87	14.78	17.47	16.12	14.96	26	16.50	9.84	14.23	10.36	13.64	16.33	16.15	18.09	14.83	18.72	18.84	14.13
27	13.87	13.20	13.54	12.65	14.76	14.17	15.58	16.03	18.18	16.79	13.78	9.58	27	16.64	14.29	13.90	15.07	15.37	16.05	17.55	18.93	15.59	19.55	17.33	12.26
28	14.05	13.73	14.40	13.21	13.32	14.76	16.24	15.13	18.77	19.04	14.92	12.66	28	12.87	14.51	13.71	14.24	15.76	6.06	17.21	18.62	11.41	22.43	15.50	10.65
29	13.98		14.74	14.96	16.58	15.09	17.69	18.51	17.96	15.40	17.80	15.88	29	13.40	14.55	12.46	15.22	15.37	10.91	15.16	18.66	16.99	21.08	15.62	14.90
30	11.93		15.90	14.63	16.60	16.23	16.30	17.37	17.99	16.98	11.54	14.07	30	15.60		14.81	13.94	15.40	16.12	17.53	17.22	16.80	10.85	19.00	11.91
31	15.11		16.28		17.25		15.26	16.98		16.62		14.56	31	14.08		12.48		14.23		17.48	15.35		16.87		11.69

DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MAXIMAS AÑO 2021 – NASA POWER MERRA													DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MAXIMAS AÑO 2022 – NASA POWER MERRA												
DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	13.83	13.90	14.06	13.08	13.89	15.15	14.40	13.63	15.39	18.19	17.33	16.58	1	19.19	13.77	13.56	14.15	15.16	11.21	15.61	16.65	19.04	17.32	14.98	20.14
2	12.64	8.64	13.19	11.19	14.52	12.48	14.22	14.27	16.27	18.37	14.83	12.23	2	19.54	14.94	14.29	14.45	14.51	11.55	14.52	16.76	17.97	16.73	20.57	18.35
3	15.23	11.78	13.97	12.23	12.94	14.05	12.62	13.76	16.73	10.44	13.10	14.23	3	17.91	15.33	13.38	14.58	13.15	13.90	14.54	15.68	17.17	16.98	21.90	11.94
4	14.61	12.49	13.40	14.32	13.85	10.51	13.80	12.05	16.54	18.00	18.01	13.00	4	17.76	10.73	14.63	14.30	15.07	11.79	14.32	13.98	15.90	13.83	20.32	19.01
5	13.73	14.37	14.35	14.79	10.72	13.17	15.01	15.08	15.51	14.43	16.88	11.35	5	13.12	12.50	12.69	14.25	15.11	12.03	14.30	12.19	17.46	16.66	21.16	12.39
6	12.16	15.62	9.13	12.61	12.86	12.52	15.41	15.73	16.27	12.51	12.37	15.27	6	12.94	9.28	15.23	13.78	14.39	14.64	15.15	13.01	17.72	19.10	19.71	15.19
7	12.90	14.79	13.95	12.68	13.78	12.84	16.11	16.86	16.05	17.44	15.80	16.61	7	13.42	14.94	13.15	14.49	14.08	13.55	15.40	13.34	19.05	12.23	20.05	16.04
8	13.25	12.58	16.33	10.39	13.95	12.12	15.51	17.74	17.04	15.36	13.55	16.73	8	12.44	14.37	13.86	13.75	14.76	14.98	13.80	13.64	19.28	18.27	18.86	14.83
9	9.59	14.30	12.45	12.36	13.36	13.25	15.96	17.76	16.90	15.28	14.23	15.48	9	14.13	13.61	13.34	14.80	14.35	14.68	14.62	15.81	18.49	16.60	17.83	14.25
10	12.66	14.41	13.90	12.69	14.11	14.23	14.78	15.55	10.89	12.07	16.28	15.19	10	14.93	15.51	13.90	15.46	13.40	13.73	16.37	14.22	17.19	16.34	17.02	17.08
11	11.33	13.31	11.16	12.32	13.98	13.73	8.48	15.36	16.46	10.98	17.53	16.64	11	15.73	13.72	14.47	14.78	12.80	14.73	15.79	16.87	17.72	18.94	17.06	15.43
12	9.19	13.23	11.99	10.69	13.01	13.60	15.55	15.69	18.14	18.80	16.78	15.13	12	12.84	13.58	14.17	16.02	13.62	14.36	15.08	17.49	18.78	20.60	21.50	13.21
13	13.26	13.14	13.70	13.71	13.08	14.13	15.58	15.42	17.16	21.60	17.16	14.34	13	14.48	14.87	12.55	13.24	14.37	13.90	15.76	17.95	12.39	19.43	22.12	16.18
14	9.37	15.10	13.87	14.17	12.03	14.99	15.47	16.46	16.65	20.20	15.00	13.87	14	14.76	12.72	14.62	14.74	14.51	14.75	16.39	16.93	16.61	15.35	16.47	17.86
15	14.94	11.97	13.23	13.05	12.49	13.49	16.67	15.85	14.43	19.94	16.78	16.19	15	14.81	14.58	9.33	15.44	14.88	13.90	15.44	17.41	13.05	15.00	20.36	14.40
16	15.33	14.24	14.75	14.58	14.08	11.65	16.58	16.37	13.49	18.21	15.77	15.50	16	16.18	15.24	12.63	16.30	12.80	14.77	12.06	18.67	16.32	17.52	18.25	14.28
17	12.82	13.33	13.31	14.59	11.58	12.56	14.81	11.60	16.31	15.44	18.26	13.40	17	15.42	14.23	14.80	14.39	14.78	15.27	15.22	18.35	18.15	17.27	18.88	16.09
18	11.33	13.40	13.62	14.70	13.35	13.63	5.80	11.25	16.61	16.73	9.98	14.08	18	13.65	14.71	15.19	14.08	15.69	14.02	13.31	16.97	17.58	16.26	19.05	14.54
19	15.10	14.62	11.80	15.31	13.06	13.19	14.61	15.42	17.08	11.40	13.08	15.37	19	15.49	13.89	13.85	13.97	15.38	15.17	14.80	14.75	16.76	18.49	15.17	17.12
20	14.40	11.25	13.26	14.29	14.84	14.08	13.98	17.77	16.73	19.20	12.96	15.42	20	15.76	13.74	12.72	14.79	14.57	12.39	16.62	18.19	13.83	19.51	22.49	15.32
21	14.04	12.70	13.36	13.71	15.07	13.19	14.70	14.68	10.07	19.55	17.40	15.89	21	14.27	12.96	14.65	13.52	15.30	14.36	17.36	16.93	17.62	17.22	19.47	14.61
22	13.73	13.41	13.13	14.62	15.02	13.44	14.68	17.31	11.64	17.73	16.04	11.36	22	15.74	14.44	15.08	15.33	14.80	13.95	17.58	16.44	14.85	19.64	13.94	16.59
23	14.26	13.90	13.41	14.06	11.07	15.30	16.28	18.14	15.16	20.39	11.94	12.58	23	13.23	14.32	14.69	13.40	13.41	13.79	17.38	16.53	10.87	21.17	16.65	13.32
24	13.19	14.04	14.10	14.23	7.91	15.26	16.44	15.43	16.07	21.61	15.54	14.94	24	14.05	14.79	14.87	15.15	12.76	14.80	16.76	17.22	16.13	17.08	17.45	19.79
25	15.23	14.80	14.50	14.11	9.95	13.18	15.70	17.73	16.27	15.83	16.80	14.55	25	14.72	13.38	11.77	12.27	12.33	12.07	15.02	17.30	17.08	18.78	17.52	15.98
26	12.92	15.12	14.25	12.63	12.14	14.01	15.80	15.89	18.63	17.78	14.01	17.87	26	14.65	11.55	13.81	14.00	14.15	12.76	14.73	16.87	16.05	20.51	16.67	14.91
27	13.36	15.26	14.72	12.90	14.56	13.73	15.83	16.15	17.63	17.26	17.24	17.32	27	12.42	14.24	14.59	13.74	12.91	16.33	16.61	17.66	14.84	18.95	15.76	17.23
28	11.04	14.63	10.65	14.13	14.85	10.87	14.58	16.25	17.46	18.03	16.92	15.73	28	12.52	13.71	13.87	13.23	14.23	17.26	17.82	14.42	20.20	21.85	17.46	16.57
29	13.54		13.86	13.80	14.46	12.60	13.98	16.44	15.69	17.15	16.14	15.48	29	15.55		12.90	13.90	13.48	14.29	16.51	14.02	15.48	18.31	19.33	13.64
30	11.74		13.92	13.78	14.48	13.98	14.98	15.55	18.36	17.25	15.48	15.82	30	14.90		14.42	13.73	14.19	16.73	18.20	15.80	15.67	20.05	19.05	12.37
31	14.65		13.79		13.01		14.56	16.22		16.98		18.47	31	15.65		13.44		13.32		18.06	17.66		14.57		13.08

DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MAXIMAS AÑO 2023 – NASA POWER MERRA													DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MINIMAS AÑO 2003 – NASA POWER MERRA												
DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	13.76	15.75	16.72	15.43	16.62	17.30	16.88	14.79	14.46	18.41	20.71	18.65	1	3.33	5.12	5.42	4.58	3.99	4.23	3.77	2.85	-0.04	3.32	2.56	3.57
2	15.16	14.46	16.62	16.99	15.08	18.14	17.78	17.23	15.80	19.83	16.48	18.63	2	5.63	4.43	3.04	5.28	4.85	3.06	3.51	2.74	0.67	4.87	1.99	5.30
3	13.80	15.95	13.47	15.64	16.55	17.78	18.77	14.96	13.86	11.43	16.52	14.35	3	6.51	4.96	5.09	4.95	3.20	4.97	2.22	2.76	2.51	4.56	3.73	6.01
4	11.01	12.64	14.83	11.48	14.44	17.11	19.45	14.15	18.94	20.41	17.69	17.60	4	6.23	5.23	6.05	3.03	5.21	5.07	2.65	1.90	3.58	4.24	4.59	4.01
5	13.60	15.82	13.37	14.86	15.48	14.05	19.49	15.74	15.41	17.57	18.53	12.98	5	6.57	6.40	4.72	5.58	3.65	4.33	1.23	3.58	3.87	2.49	6.15	3.33
6	15.86	13.98	16.40	12.83	14.69	16.15	19.80	17.10	14.52	16.90	19.31	18.33	6	5.76	3.67	2.10	4.22	2.57	3.76	1.83	3.89	4.00	2.37	3.29	4.44
7	17.11	16.03	18.34	9.33	8.33	13.78	19.49	18.49	15.73	19.40	18.03	15.81	7	6.21	5.30	3.33	5.88	3.26	2.40	3.31	3.37	1.62	3.54	4.65	4.44
8	16.62	11.29	18.47	13.87	12.65	17.23	16.48	18.62	18.23	18.26	20.52	16.95	8	6.81	4.98	3.33	6.33	3.17	2.83	3.35	4.19	3.89	3.96	4.33	4.71
9	17.22	9.98	16.74	16.23	14.54	16.80	17.51	14.29	17.93	16.62	14.23	17.48	9	6.73	2.24	5.08	3.30	2.62	2.99	3.74	1.44	4.88	3.66	2.13	6.92
10	16.05	16.65	16.46	16.30	15.80	16.82	17.94	17.33	15.97	18.83	18.16	16.48	10	6.05	1.96	6.12	1.62	3.79	4.67	3.98	1.20	3.17	4.22	3.34	5.62
11	16.05	12.46	16.19	17.17	15.33	15.02	18.68	6.54	18.65	20.17	19.55	11.55	11	5.90	3.76	3.36	4.30	2.30	4.42	3.61	1.81	1.80	3.59	2.98	2.78
12	15.05	15.83	18.19	16.69	12.97	16.30	19.33	13.21	18.23	16.98	19.05	13.91	12	6.51	2.63	2.75	2.62	2.71	2.60	2.61	2.32	2.26	3.28	4.28	2.44
13	18.25	14.76	16.23	17.36	14.69	10.68	18.48	11.69	15.06	17.24	19.44	16.38	13	6.76	6.37	5.14	2.15	2.84	1.93	0.54	1.97	1.98	3.01	6.71	5.73
14	18.11	15.10	9.38	16.07	17.46	15.55	18.43	15.89	10.44	16.71	18.22	11.88	14	3.68	4.48	5.24	3.44	1.21	3.33	-2.26	3.48	2.15	3.80	4.29	4.69
15	14.25	17.76	14.44	15.87	18.49	16.79	18.30	18.15	19.23	17.79	15.06	15.99	15	6.43	4.19	2.69	3.96	3.19	3.61	-2.28	3.48	3.55	3.80	2.15	4.69
16	15.58	16.85	12.51	17.42	18.22	16.46	17.92	18.54	18.59	18.87	19.06	14.83	16	6.40	6.04	3.39	4.77	3.91	2.93	-0.92	1.98	3.87	4.58	6.26	5.71
17	16.12	13.88	12.66	10.98	18.23	15.90	17.00	19.87	17.33	18.41	17.56	16.55	17	6.61	2.57	2.11	4.39	3.12	3.79	0.20	2.32	4.19	4.00	4.52	3.82
18	12.26	12.11	14.87	19.01	18.01	15.81	15.68	21.79	15.74	18.30	19.43	17.60	18	4.57	2.11	2.47	3.40	2.76	3.55	-1.20	2.82	3.15	3.98	2.87	2.75
19	13.74	16.83	15.65	16.47	18.23	16.79	15.63	20.23	15.35	17.71	21.39	14.76	19	2.80	2.80	4.71	3.97	2.63	4.36	-1.67	2.89	2.01	6.15	2.08	3.23
20	15.86	16.63	12.05	15.01	16.26	17.12	17.00	18.79	8.44	18.31	16.18	9.32	20	5.22	5.18	1.84	1.84	2.83	1.95	-0.20	2.95	2.48	4.76	3.76	5.90
21	18.02	16.30	12.31	16.64	15.83	17.15	18.08	18.14	18.71	18.65	18.41	16.45	21	2.55	5.00	2.45	1.86	4.82	0.39	-1.95	4.37	3.43	4.62	3.62	6.70
22	16.07	16.47	16.20	16.47	17.78	16.54	18.73	19.19	16.33	19.59	18.83	14.56	22	2.62	5.21	3.23	4.94	4.65	4.58	0.78	4.35	4.60	3.51	2.88	6.40
23	17.44	17.10	15.16	17.24	9.38	17.35	18.98	18.88	18.60	19.48	12.92	17.71	23	4.58	4.87	3.90	3.43	2.49	2.01	-1.10	2.74	5.26	5.46	3.23	4.43
24	15.73	16.58	13.53	14.06	15.57	17.58	17.98	18.91	17.70	17.75	14.37	16.31	24	3.65	6.25	2.30	4.03	4.17	1.92	3.26	3.59	5.18	5.70	3.37	3.64
25	14.90	16.76	16.13	15.58	15.87	16.10	19.17	19.87	15.38	16.75	13.76	16.50	25	3.18	2.96	2.03	3.31	3.37	3.91	3.30	4.45	4.80	7.08	6.27	3.02
26	12.20	18.09	16.50	16.59	16.49	16.49	19.15	18.88	21.72	10.12	17.14	13.24	26	2.99	1.47	4.48	3.97	4.74	2.95	1.58	2.76	3.48	4.84	5.65	4.54
27	17.23	13.67	15.73	15.51	14.40	17.03	16.19	13.73	17.01	16.93	15.24	16.10	27	2.55	4.06	2.44	4.76	2.67	2.18	0.15	2.56	4.67	4.40	5.98	4.17
28	14.87	17.08	15.92	16.39	13.08	16.28	15.37	19.54	8.53	16.45	16.66	17.31	28	5.18	3.55	4.80	4.29	0.98	3.11	-0.13	1.37	4.48	2.49	4.66	5.15
29	15.37		14.09	17.33	13.78	13.59	14.77	19.01	18.73	14.55	11.37	15.58	29	3.54		2.64	5.38	3.32	2.90	0.68	1.62	1.98	4.08	6.12	3.75
30	16.47		16.19	14.10	18.31	15.94	15.75	18.77	15.15	18.96	17.02	12.93	30	2.10		5.12	4.48	2.44	3.06	2.33	-0.30	4.43	3.23	5.05	3.90
31	16.49		16.63		17.50		15.61	9.79		14.34		13.44	31	2.45		4.45		3.19		2.95	-0.93		3.34		5.44

DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MINIMAS AÑO 2004 – NASA POWER MERRA													DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MINIMAS AÑO 2005 – NASA POWER MERRA												
DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	6.65	3.94	6.09	6.44	4.26	2.90	1.49	2.36	3.31	3.51	2.71	3.20	1	4.91	3.83	4.18	5.01	4.15	3.26	2.30	1.12	2.51	4.76	4.32	3.04
2	6.80	3.01	4.83	5.87	3.10	2.62	3.10	-0.91	4.99	4.40	3.04	3.95	2	2.86	2.69	5.27	5.49	4.40	5.22	3.18	2.11	2.11	4.83	2.79	4.24
3	6.51	4.23	5.88	4.07	1.95	3.13	2.08	0.25	4.49	2.75	5.12	4.03	3	3.30	4.78	5.89	5.80	4.58	5.78	4.14	3.52	3.61	2.53	5.79	3.65
4	4.06	4.92	4.84	5.19	3.05	3.73	3.09	-0.18	3.43	3.29	4.07	3.44	4	2.01	4.36	3.69	6.05	4.67	4.57	4.49	2.15	3.50	4.65	4.30	1.98
5	5.73	3.05	4.08	3.90	2.48	3.46	3.55	1.15	4.88	1.70	3.62	4.13	5	3.39	4.20	4.26	6.02	1.55	3.98	4.14	2.80	4.15	2.33	4.43	4.16
6	4.44	5.33	4.34	4.43	2.57	2.02	3.21	1.44	2.30	3.12	5.62	3.44	6	3.84	4.19	4.10	5.32	4.86	4.21	3.21	3.89	3.83	3.48	2.44	4.54
7	5.78	4.26	3.24	4.27	2.79	3.29	3.61	2.83	1.33	4.62	5.88	2.70	7	2.88	3.19	6.06	5.08	4.50	3.64	2.65	3.64	2.14	2.29	3.12	2.95
8	5.87	4.51	3.26	4.08	3.07	2.26	3.40	2.50	3.36	4.12	5.22	2.91	8	5.16	5.83	6.69	4.44	3.75	3.58	2.49	3.63	-1.01	2.02	2.51	3.05
9	6.09	3.33	3.46	3.60	1.97	2.27	3.51	2.33	1.71	6.05	3.41	2.80	9	3.05	3.30	6.52	3.95	4.50	3.40	2.82	3.41	2.04	2.43	3.12	2.75
10	4.44	5.42	3.96	5.03	4.41	2.50	3.32	-1.06	3.95	5.46	2.55	5.09	10	5.90	2.18	5.73	4.45	2.87	2.26	1.49	1.72	3.25	4.76	3.70	4.11
11	3.37	4.58	3.34	5.40	4.49	2.33	3.73	1.85	3.73	4.86	4.34	5.09	11	5.08	3.35	5.74	3.67	5.19	2.83	1.38	1.09	3.83	3.60	2.12	3.92
12	4.80	4.33	2.61	4.94	5.02	2.16	0.62	-1.43	2.92	5.73	4.61	4.48	12	5.44	3.98	2.63	5.34	5.38	4.58	-1.97	0.35	3.41	1.80	4.87	3.09
13	4.12	5.86	4.81	4.13	4.33	1.04	2.02	0.23	1.76	5.19	4.27	5.66	13	5.90	4.31	2.48	3.21	5.22	4.23	-0.87	0.49	1.92	4.03	1.97	3.24
14	3.92	6.11	5.37	4.19	4.76	3.07	3.41	0.86	2.60	4.63	3.55	3.06	14	5.61	5.07	4.83	5.73	3.48	2.96	-2.23	1.83	0.65	4.24	6.23	3.25
15	2.51	5.12	7.15	5.15	3.70	-0.19	3.02	1.83	2.76	4.62	4.73	4.00	15	6.30	6.02	2.25	4.46	1.24	4.04	-1.47	2.49	1.89	5.50	3.16	3.62
16	2.83	4.56	5.83	4.40	2.92	-0.30	1.51	2.26	3.01	4.62	5.88	2.94	16	4.73	6.89	2.33	4.50	4.33	4.81	0.76	2.54	2.21	4.22	2.76	5.51
17	2.76	2.56	3.66	4.22	2.93	-0.77	0.68	1.91	3.53	5.51	5.69	2.57	17	3.63	1.94	3.49	5.82	4.50	4.55	1.28	3.16	1.27	4.62	5.13	1.98
18	4.03	3.75	4.46	4.75	4.74	-2.61	2.39	3.73	2.40	3.72	5.31	4.15	18	3.03	2.25	5.26	6.01	4.10	4.66	1.00	2.77	2.35	2.25	3.31	5.45
19	5.30	2.62	3.23	5.12	2.42	-1.59	2.19	2.29	2.30	3.00	2.85	4.05	19	4.11	3.42	2.73	4.61	5.22	4.01	1.93	3.38	2.22	3.53	6.51	3.62
20	3.49	2.67	4.09	4.79	4.18	1.05	1.78	3.44	3.97	2.26	2.35	3.91	20	3.60	4.38	5.94	4.98	5.68	2.81	1.90	3.80	1.69	4.12	4.04	5.22
21	5.39	4.23	5.63	2.09	3.89	3.18	-1.51	4.10	2.39	4.69	4.58	4.74	21	6.69	4.76	3.56	3.55	6.38	2.20	1.84	3.55	3.64	5.92	3.41	4.27
22	5.03	3.30	5.01	4.29	4.84	2.87	2.55	4.67	3.05	3.78	3.51	5.69	22	5.34	5.37	5.27	2.36	5.98	1.98	0.71	4.24	4.37	3.80	3.40	5.14
23	2.62	4.16	4.50	4.76	3.28	3.08	2.84	3.83	5.11	3.60	4.06	2.72	23	3.13	6.85	5.98	5.84	5.54	3.46	-0.98	3.00	4.91	2.73	3.77	3.23
24	5.75	4.27	4.69	3.58	4.75	2.94	0.26	1.23	5.03	5.95	2.56	2.58	24	6.01	5.30	3.15	6.46	4.45	1.43	1.98	1.87	5.27	5.86	4.73	5.21
25	2.48	2.93	2.13	2.30	4.65	2.73	1.79	2.02	3.93	4.17	5.62	3.45	25	5.50	3.46	2.44	3.95	5.08	1.39	2.94	3.09	5.58	3.13	5.82	3.51
26	3.44	5.07	3.17	1.85	4.80	1.76	2.09	1.39	4.80	4.48	5.95	2.73	26	4.47	3.94	3.88	2.98	5.48	1.62	1.40	3.33	4.71	2.98	4.36	3.76
27	2.37	2.45	5.69	4.26	4.35	3.57	3.85	1.27	2.11	5.65	6.22	2.37	27	3.10	3.65	5.73	3.45	4.16	-0.78	1.15	3.46	3.70	2.27	4.02	2.90
28	2.51	4.19	3.11	3.01	3.65	1.91	2.26	1.97	3.58	4.08	5.22	3.34	28	3.45	4.19	4.79	4.13	3.58	3.36	0.80	3.40	3.76	4.80	6.59	1.88
29	2.83	4.00	5.09	4.73	4.50	0.11	4.24	2.62	2.19	4.65	5.67	4.15	29	3.80		4.08	2.80	4.11	2.76	3.12	5.00	4.50	5.88	6.70	4.57
30	4.28		4.32	4.69	4.33	3.32	2.92	1.19	4.24	3.58	4.80	4.95	30	5.10		2.45	4.44	1.91	3.28	2.40	5.44	5.37	4.96	3.89	3.71
31	5.26		5.26		3.34		1.69	2.64		4.32		2.40	31	2.44		5.15		1.26		2.15	5.26		2.76		3.43

DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MINIMAS AÑO 2006 – NASA POWER MERRA													DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MINIMAS AÑO 2007 – NASA POWER MERRA												
DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	2.65	5.10	4.46	5.01	2.48	2.71	3.51	2.19	4.95	2.84	5.81	4.72	1	4.65	2.73	4.87	4.07	4.42	2.43	2.60	-2.09	2.48	4.07	4.29	3.55
2	2.47	4.02	5.33	2.77	2.60	4.08	4.70	2.59	5.45	2.36	3.26	4.65	2	4.29	3.30	5.34	4.12	4.01	4.44	2.22	0.20	2.58	2.09	5.90	4.36
3	3.69	3.27	3.10	2.52	2.74	4.51	3.69	3.50	3.64	2.30	5.81	3.64	3	5.71	3.19	4.57	2.97	2.48	3.84	1.15	0.45	3.42	2.36	5.19	4.47
4	3.63	3.71	3.33	5.05	3.74	4.21	2.32	3.70	2.39	3.85	5.45	5.80	4	4.18	7.17	2.44	2.01	3.37	4.09	-0.39	2.08	2.98	4.90	4.47	5.35
5	3.64	5.48	3.98	2.61	2.77	4.19	-0.38	4.03	2.64	4.02	6.22	3.08	5	6.26	6.15	3.82	4.19	4.05	3.64	-0.62	2.65	1.96	4.26	4.81	6.06
6	3.37	5.83	3.54	5.05	2.51	3.53	-1.03	3.55	1.99	1.52	3.48	5.33	6	5.65	6.56	4.41	4.64	4.41	3.84	1.58	-1.04	1.51	4.03	2.89	5.45
7	2.86	3.31	5.90	1.88	4.15	3.77	-2.87	2.74	0.37	5.19	2.69	3.30	7	3.93	4.87	4.55	5.40	5.19	2.38	2.14	2.66	2.44	3.15	6.48	4.36
8	4.53	2.21	6.40	5.08	3.32	4.38	-2.93	4.90	0.65	2.36	2.53	2.94	8	2.51	1.89	3.74	2.73	3.81	0.87	3.55	0.63	1.87	2.88	5.48	5.65
9	4.30	3.26	5.73	3.19	2.85	4.98	-0.34	2.90	3.14	4.48	5.66	5.36	9	5.06	4.62	4.31	2.58	2.36	1.65	1.82	2.55	1.61	3.69	6.31	6.10
10	2.82	2.73	6.67	1.94	2.08	4.11	0.36	3.30	3.95	5.02	1.64	4.83	10	5.65	2.37	3.53	4.22	3.48	1.28	2.12	4.30	3.79	3.68	5.71	2.56
11	4.83	2.44	5.70	3.10	2.08	3.26	0.87	1.53	4.04	4.75	2.30	5.55	11	3.70	2.75	5.16	5.50	4.09	0.62	1.96	1.90	3.44	2.36	6.78	5.15
12	2.74	3.16	5.02	4.29	2.21	2.31	2.88	3.13	4.23	5.08	3.40	3.15	12	5.96	4.96	2.96	4.26	4.56	1.73	1.78	2.85	2.65	3.23	4.24	3.62
13	5.10	3.77	4.23	2.80	2.51	3.42	2.87	3.25	2.62	3.12	4.03	3.96	13	6.15	3.12	4.69	3.54	3.40	2.98	0.69	2.73	2.59	4.33	4.15	3.41
14	4.35	3.68	3.39	2.55	2.66	3.30	2.60	2.80	2.90	5.65	4.26	5.32	14	5.37	4.16	2.98	4.27	4.31	5.03	2.58	0.97	2.07	3.17	5.64	3.55
15	1.81	2.37	4.67	4.36	1.67	4.41	2.08	3.21	2.05	5.45	3.14	6.43	15	4.53	3.51	3.01	2.44	4.95	4.66	2.46	0.14	3.80	3.10	2.35	6.08
16	4.48	3.37	4.04	3.79	1.67	4.15	2.22	3.60	4.01	4.62	3.02	4.50	16	5.55	5.67	4.58	3.23	4.38	3.65	2.71	3.65	1.19	2.60	4.95	5.48
17	2.71	6.32	2.44	3.33	2.08	3.12	2.53	3.28	2.76	4.85	2.80	2.76	17	5.83	4.01	2.73	4.78	5.39	1.65	4.32	3.29	4.55	3.64	3.51	4.46
18	2.73	2.30	2.46	1.74	4.15	3.40	1.11	2.87	4.29	4.46	3.70	3.34	18	3.78	4.84	4.17	4.80	4.44	2.40	2.31	1.55	2.21	2.03	4.51	4.15
19	1.51	1.70	4.01	4.73	2.64	3.38	0.62	3.11	5.44	3.57	3.93	5.69	19	6.76	2.42	3.86	5.16	3.54	3.51	1.86	2.28	2.33	3.12	5.09	2.94
20	5.01	3.36	2.58	5.33	3.01	3.26	-3.09	3.50	5.69	4.68	2.76	6.06	20	2.74	4.04	3.28	4.66	3.29	3.88	3.71	1.30	4.63	2.95	2.87	5.30
21	4.33	4.98	1.77	4.55	4.37	4.21	-2.83	2.84	3.08	4.41	5.53	2.20	21	3.17	4.58	2.08	4.28	2.87	2.63	4.40	0.83	3.83	3.05	2.41	4.51
22	5.19	4.66	3.82	3.53	2.04	2.68	-2.40	3.60	2.29	3.63	4.23	4.97	22	4.43	4.47	3.77	2.47	2.44	3.65	1.64	0.68	4.90	2.71	4.04	4.37
23	4.12	5.17	2.65	3.96	1.14	2.44	-2.79	3.51	2.83	5.03	2.40	1.85	23	4.80	4.58	3.19	5.10	4.99	4.85	3.90	0.63	5.79	3.94	2.76	2.89
24	4.23	6.79	4.77	3.33	2.95	1.79	-1.29	2.78	1.87	4.95	3.22	2.16	24	6.83	3.65	2.56	5.10	3.63	4.41	1.35	0.30	4.58	3.17	6.01	3.73
25	2.63	5.70	4.24	4.69	2.94	4.30	1.36	3.63	1.35	3.35	5.83	2.89	25	3.39	2.87	2.80	5.48	2.45	1.73	0.33	3.75	2.99	3.59	5.07	3.07
26	4.65	4.69	4.30	4.47	2.37	2.40	3.95	4.15	2.93	3.73	5.65	2.48	26	5.64	2.30	2.72	5.01	2.05	3.81	1.07	4.87	3.98	5.72	2.52	2.40
27	4.35	3.48	4.02	3.51	-1.22	-1.06	4.25	4.44	4.97	2.65	4.62	1.97	27	3.73	5.21	3.88	4.25	1.82	4.21	0.67	4.65	4.20	4.08	2.66	4.69
28	4.83	2.11	3.29	3.25	-1.39	0.00	2.42	5.10	3.85	5.00	5.95	4.46	28	6.15	5.50	3.44	3.98	1.83	3.53	0.80	2.91	4.54	2.79	5.40	5.65
29	3.97		5.04	5.19	-2.23	1.26	1.19	3.70	1.82	2.63	6.40	3.68	29	4.91		5.01	4.41	2.94	3.26	-0.60	3.71	4.62	4.16	3.47	4.79
30	2.52		1.98	4.25	-2.65	2.55	1.40	3.87	4.14	4.48	5.46	2.87	30	6.14		1.84	3.58	3.51	3.16	-0.13	1.59	4.42	4.83	4.31	2.69
31	4.58		4.94		1.08		3.11	4.56		2.23		2.49	31	3.81		3.33		3.17		-2.02	1.89		4.80		2.21

DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MINIMAS AÑO 2008 – NASA POWER MERRA													DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MINIMAS AÑO 2009 – NASA POWER MERRA												
DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	1.94	3.83	1.63	1.93	4.55	2.20	0.51	2.98	3.25	4.23	2.74	4.67	1	3.26	4.88	2.27	2.12	1.87	4.78	1.49	2.62	4.63	5.36	4.49	3.54
2	4.99	4.45	2.62	4.13	4.55	1.30	2.41	2.64	0.98	3.68	3.72	2.83	2	5.13	4.26	2.48	1.60	3.26	4.22	-0.45	4.41	3.55	4.81	3.33	5.80
3	3.56	3.27	3.19	2.41	2.98	2.56	4.12	3.59	3.31	4.87	5.48	2.55	3	4.24	2.30	4.39	2.78	3.89	2.65	2.07	3.00	4.53	2.94	4.27	4.38
4	2.38	1.96	1.65	2.94	3.12	3.33	2.98	3.48	6.27	6.56	3.88	5.67	4	5.30	2.66	4.48	5.27	3.93	1.51	4.80	4.76	4.30	3.05	3.32	5.41
5	4.25	2.08	2.01	3.08	2.49	3.27	2.19	3.98	3.06	4.37	2.62	4.28	5	2.64	3.79	3.30	2.58	4.10	0.42	4.12	5.22	5.19	2.54	3.55	6.47
6	3.18	1.06	4.69	4.08	2.87	3.70	3.01	3.96	2.91	2.28	5.73	2.09	6	4.38	5.55	3.04	2.37	3.85	2.16	3.18	3.40	3.93	3.20	6.16	5.51
7	2.73	1.90	4.30	3.62	-0.49	0.26	2.67	3.51	1.89	3.19	4.45	4.91	7	3.19	5.04	2.53	1.91	4.59	2.81	3.08	2.37	5.25	4.60	6.55	4.28
8	2.80	5.53	3.43	4.54	1.76	-0.96	3.18	4.84	1.03	3.90	3.03	4.19	8	5.05	5.08	4.37	3.00	3.81	2.87	3.78	1.01	6.79	2.81	5.94	2.85
9	5.18	5.24	1.87	3.44	2.48	1.91	2.94	3.94	3.67	3.62	7.11	4.37	9	3.82	5.55	3.79	2.94	5.21	4.04	3.49	2.12	6.27	5.06	6.16	5.65
10	2.94	4.33	1.82	4.30	0.97	3.52	2.58	4.02	3.26	4.46	5.08	3.69	10	4.80	4.81	4.68	2.25	2.16	0.89	2.19	1.08	3.56	5.64	4.78	5.48
11	2.15	4.90	0.98	2.98	0.59	2.48	2.91	3.15	3.96	3.53	2.35	4.62	11	4.56	4.19	2.48	2.73	1.51	2.12	3.61	2.63	2.18	4.73	3.75	3.80
12	4.10	2.87	2.80	3.29	1.35	3.60	4.09	4.92	3.48	2.87	4.87	5.65	12	4.35	4.80	2.07	5.07	1.71	1.31	4.38	2.30	3.82	3.36	3.80	6.69
13	4.65	3.83	2.66	2.06	2.12	1.98	3.82	3.48	2.54	4.05	3.34	5.64	13	4.40	3.76	3.54	2.65	3.08	2.96	2.08	2.16	4.73	4.09	4.06	3.30
14	4.36	4.38	2.30	5.04	2.52	3.58	1.76	4.18	3.48	2.87	3.73	4.01	14	5.09	3.55	3.57	3.00	5.52	2.72	4.16	3.43	5.63	3.07	2.59	3.44
15	3.08	5.65	3.45	2.40	2.94	4.36	1.55	4.20	3.73	2.58	6.07	3.23	15	4.51	2.23	2.98	2.69	2.43	2.01	4.11	3.64	5.79	4.58	2.95	5.33
16	3.98	5.24	2.62	4.73	3.97	1.85	3.55	3.42	2.34	3.77	3.09	3.17	16	3.68	4.26	2.90	2.98	2.15	3.38	4.21	4.38	4.61	4.58	2.68	4.48
17	5.22	4.01	4.01	3.69	4.26	2.23	2.58	3.37	3.02	3.12	2.56	3.18	17	2.65	4.85	5.55	2.85	0.60	0.97	3.82	4.53	2.47	2.30	4.81	2.57
18	4.02	4.02	3.96	4.40	3.55	2.16	2.37	3.75	2.62	3.38	4.25	4.12	18	3.12	4.12	3.60	2.65	4.34	3.37	1.80	4.71	4.34	5.37	4.30	4.21
19	4.54	3.73	3.84	4.85	2.79	2.07	0.19	3.29	3.12	2.58	5.62	4.74	19	5.12	5.11	3.62	3.76	2.15	1.20	2.35	5.13	2.74	5.59	4.88	2.50
20	5.08	3.89	2.41	2.51	3.29	1.81	0.24	2.71	2.30	3.16	4.03	4.72	20	3.70	4.27	3.33	4.60	1.49	1.18	2.58	3.98	1.99	3.58	6.54	4.02
21	4.83	2.45	2.91	1.88	2.83	0.81	2.22	3.01	1.87	5.27	5.44	5.78	21	2.21	2.80	3.40	4.05	3.63	3.12	1.47	3.77	2.19	1.99	5.49	2.04
22	4.73	4.15	2.13	2.25	4.96	1.18	3.24	4.64	3.05	6.18	4.44	5.89	22	3.94	2.59	4.26	4.57	5.01	4.40	2.39	3.10	1.90	2.76	4.50	3.73
23	4.83	2.13	1.83	2.03	4.95	3.85	3.39	3.18	2.84	5.46	2.55	4.87	23	2.06	3.68	4.66	5.34	2.55	4.41	3.41	2.66	4.89	5.76	2.95	3.21
24	5.25	2.59	3.59	3.19	2.98	2.73	4.21	3.71	5.04	4.56	5.93	3.92	24	3.69	3.02	5.35	5.35	1.76	4.21	2.58	1.73	3.69	5.14	2.58	3.40
25	5.20	3.92	2.80	1.97	1.33	2.30	4.09	3.61	3.75	4.94	5.45	4.31	25	4.82	1.74	4.55	4.91	4.41	3.54	2.33	2.08	3.84	6.10	3.51	3.69
26	2.67	4.21	3.26	4.30	1.79	0.78	3.48	3.26	2.23	2.62	5.40	3.62	26	3.33	4.00	3.32	5.23	3.34	3.91	2.06	2.95	5.37	6.22	2.90	4.98
27	3.27	5.05	4.70	4.49	1.40	3.80	1.55	4.12	3.74	2.82	5.05	5.16	27	2.96	4.12	5.58	3.89	5.17	3.40	1.02	1.79	5.23	3.18	2.91	2.80
28	1.57	5.03	4.79	4.17	2.81	2.62	2.60	5.16	4.45	4.07	3.58	5.30	28	2.05	1.93	4.69	4.57	4.77	2.44	-0.78	1.73	5.05	3.00	2.87	5.20
29	4.28	4.54	4.02	1.67	3.40	-0.17	3.46	3.87	5.46	3.91	2.78	6.00	29	3.65		4.73	4.69	4.34	2.70	0.08	3.56	4.88	3.08	4.35	5.45
30	4.73		1.91	3.12	3.58	0.74	3.32	4.03	3.87	2.89	6.74	2.05	30	2.68		3.51	5.02	3.24	4.58	0.01	3.26	4.80	4.30	6.44	5.51
31	2.00		1.86		2.78		2.91	3.35		2.24		3.36	31	4.67		5.85		4.23		2.01	4.27		4.26		3.61

DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MINIMAS AÑO 2010 – NASA POWER MERRA													DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MINIMAS AÑO 2011 – NASA POWER MERRA												
DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	4.11	5.23	4.86	3.58	2.90	3.87	3.12	4.33	2.61	4.78	1.69	3.79	1	5.26	5.17	1.70	3.03	3.87	-1.37	0.70	1.33	2.38	3.83	2.80	4.71
2	2.80	5.74	4.93	5.01	4.25	3.76	3.18	2.51	3.30	2.75	2.38	6.49	2	5.53	5.08	2.09	4.38	3.93	-0.73	0.28	4.76	1.09	4.30	4.71	2.40
3	1.91	6.82	3.33	4.15	3.24	0.80	3.48	4.92	3.94	1.90	3.58	6.33	3	3.79	5.26	1.98	2.42	3.43	2.09	1.40	4.22	2.35	3.31	4.99	5.12
4	2.72	6.51	3.58	3.21	3.19	3.19	4.12	4.07	4.07	-1.18	4.90	6.24	4	3.81	2.51	2.23	5.35	3.05	1.56	0.77	1.62	3.49	1.83	4.12	3.77
5	5.10	4.41	3.69	4.44	4.99	3.93	4.40	1.88	2.81	3.99	5.85	4.93	5	2.45	3.12	4.33	4.70	2.98	3.52	0.23	2.38	4.30	3.60	2.09	3.18
6	3.98	4.31	3.15	3.51	5.37	2.69	-0.19	-0.23	3.87	4.36	3.93	5.23	6	5.28	2.69	3.89	4.71	-0.64	0.54	1.81	1.03	3.91	2.73	5.26	3.01
7	3.71	5.82	3.25	3.30	2.66	3.71	3.23	-1.48	3.79	4.83	2.42	4.19	7	4.54	3.92	2.06	3.36	-0.09	1.48	-0.30	0.35	2.13	1.83	4.01	4.63
8	4.01	4.73	6.11	3.32	1.91	4.55	2.91	-1.10	3.91	3.60	5.34	3.33	8	2.58	3.23	3.00	2.87	1.92	2.01	1.08	0.82	-0.26	3.66	3.94	2.58
9	2.94	6.31	1.94	5.13	3.25	3.15	2.26	-0.16	4.08	3.18	3.26	3.53	9	4.35	5.40	3.96	2.70	1.64	0.62	-0.53	3.08	5.15	5.26	4.67	3.02
10	2.72	4.69	5.10	3.47	4.50	4.18	1.76	-1.20	3.96	4.89	1.79	5.40	10	5.12	3.48	1.58	0.69	3.83	2.19	-0.76	1.96	2.05	4.88	3.22	1.69
11	4.62	5.24	3.42	4.93	3.96	3.51	3.64	0.96	4.34	5.00	1.97	4.85	11	3.28	4.78	3.10	4.18	4.94	1.66	1.92	2.96	2.34	3.69	3.12	6.31
12	6.21	5.95	4.82	4.98	3.29	3.69	-0.76	2.26	5.62	3.84	3.37	5.26	12	5.18	4.38	2.89	3.90	4.66	3.22	0.35	2.74	1.94	5.99	2.76	6.13
13	4.34	4.60	2.40	2.01	2.46	2.30	3.83	4.05	3.38	2.86	1.98	3.06	13	4.98	1.93	3.15	5.13	3.26	3.62	3.73	2.30	0.53	5.73	4.86	3.66
14	3.12	3.04	3.44	3.26	-0.87	-1.47	3.76	2.66	4.58	4.85	4.80	2.76	14	3.74	4.84	3.18	5.79	3.44	2.43	3.37	3.15	0.96	2.98	4.44	2.78
15	5.64	2.90	2.58	5.04	0.21	1.15	1.54	3.73	2.85	2.47	3.60	3.60	15	2.56	4.43	2.07	2.72	3.70	2.62	3.43	3.28	3.51	6.41	5.62	2.25
16	1.98	4.79	5.62	4.35	3.24	2.75	0.77	1.08	5.57	1.98	2.13	2.68	16	2.73	3.33	5.18	3.42	3.53	3.05	1.80	4.16	2.30	5.79	4.03	4.52
17	4.62	5.97	5.01	4.51	4.41	3.90	1.44	-0.34	3.61	3.08	5.15	2.18	17	4.16	2.03	2.67	3.29	3.44	2.03	2.69	4.67	3.32	2.34	4.37	1.98
18	6.64	5.65	4.90	4.33	5.69	5.04	0.33	0.58	4.58	1.80	3.05	4.91	18	2.17	2.28	3.04	2.15	3.80	3.65	2.18	3.96	1.67	3.49	3.38	3.31
19	5.63	6.44	5.32	4.48	5.11	5.69	-1.37	2.13	3.15	1.93	2.74	2.00	19	2.08	1.80	1.88	3.01	3.86	3.20	2.09	4.69	2.76	3.44	4.58	4.00
20	4.88	5.09	4.57	4.41	4.97	5.34	0.82	0.66	4.94	1.98	5.39	2.10	20	5.52	1.88	3.83	4.28	3.34	0.53	3.52	3.72	3.55	2.59	4.80	3.58
21	3.10	5.34	6.88	6.15	5.63	5.08	1.05	-1.22	4.55	4.99	2.16	1.44	21	6.11	2.25	2.75	5.30	4.11	2.62	3.93	1.44	2.95	2.90	4.40	4.33
22	4.44	4.85	4.59	5.62	4.59	3.85	3.48	0.78	3.72	3.12	5.16	2.69	22	3.51	1.93	1.69	3.09	3.69	3.37	2.32	2.51	2.80	4.21	3.00	2.97
23	2.51	3.08	4.38	3.24	3.52	4.55	4.45	4.15	3.57	4.51	4.08	2.71	23	3.47	4.89	2.57	4.37	4.03	0.98	-0.52	1.84	2.40	2.76	4.78	5.61
24	2.90	3.01	4.10	4.24	3.81	4.36	4.83	5.27	3.48	3.75	3.54	3.80	24	3.33	4.86	2.53	4.30	3.77	3.16	2.07	0.50	2.08	2.01	4.00	5.82
25	2.20	4.37	3.12	3.05	4.73	3.88	3.02	5.33	4.25	4.25	3.27	4.72	25	2.92	3.94	3.60	5.42	4.67	4.55	1.26	2.26	3.33	4.31	2.17	3.08
26	1.67	4.51	5.05	3.31	3.92	2.09	3.49	5.77	2.90	3.37	4.75	4.51	26	2.01	4.41	2.15	2.44	5.02	3.48	1.69	1.81	2.23	4.76	3.90	3.55
27	6.65	5.69	3.84	6.47	4.63	4.13	4.13	4.11	5.40	3.88	5.12	1.78	27	2.12	4.35	4.83	2.21	3.22	2.71	1.06	3.81	3.71	3.01	3.65	3.82
28	3.36	5.55		6.26	3.78	4.69	3.57	3.27	7.33	2.98	4.15	4.54	28	3.61	3.76	5.10	4.48	3.08	0.73	-0.49	4.50	3.80	4.33	4.76	4.25
29	2.37		2.19	5.06	3.39	3.49	4.08	4.18	5.29	6.72	4.72	4.91	29	2.91		4.32	4.76	1.71	1.73	0.98	4.78	2.87	3.94	4.27	4.65
30	4.95		4.83	3.82	4.75	3.42	2.21	4.11	2.84	6.32	3.47	4.26	30	2.65		4.62	5.30	0.33	1.26	3.36	3.35	2.51	2.44	3.98	5.44
31	3.65		4.61		5.36		4.30	2.12		5.09		2.77	31	4.11		2.98		-0.86		3.75	2.98		2.98		4.64

DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MINIMAS AÑO 2012 – NASA POWER MERRA													DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MINIMAS AÑO 2013 – NASA POWER MERRA												
DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	6.46	5.09	3.96	3.59	2.69	2.35	2.98	2.69	0.90	1.71	2.74	2.62	1	5.54	2.48	5.04	4.19	4.12	2.98	2.92	2.39	2.89	5.13	5.04	4.51
2	2.64	2.84	2.34	2.38	2.95	1.25	2.21	1.98	2.55	3.40	1.86	2.84	2	3.76	4.89	3.68	3.58	4.66	4.11	3.71	4.05	1.86	3.26	3.47	4.54
3	2.44	1.60	2.00	4.83	3.02	4.23	1.07	1.55	3.33	4.59	2.43	3.20	3	3.22	4.43	6.08	2.30	5.24	3.05	2.90	3.86	0.92	2.17	2.36	4.65
4	2.77	4.76	3.80	4.57	4.09	3.36	1.18	2.95	3.40	2.18	4.25	2.65	4	3.22	3.94	5.35	3.13	5.15	2.71	3.44	4.76	2.06	4.65	4.87	5.37
5	3.38	4.56	3.94	3.40	3.73	3.75	2.67	2.44	3.56	2.76	2.01	2.47	5	3.90	4.30	5.15	2.12	3.11	3.90	3.73	4.05	2.73	3.99	1.58	5.32
6	3.01	4.36	4.62	5.07	3.18	3.05	0.04	-0.57	4.48	1.72	2.51	2.73	6	5.23	4.78	3.50	4.88	3.58	2.69	1.77	3.16	3.77	5.74	2.69	2.84
7	2.50	3.72	3.30	2.83	4.44	1.26	2.00	-0.44	5.38	3.72	3.90	3.35	7	5.77	4.48	5.78	5.15	5.42	1.98	-1.19	1.37	4.14	5.12	3.67	3.96
8	4.41	3.81	2.32	1.98	4.01	2.35	1.24	-2.64	3.69	4.87	2.69	4.73	8	4.96	2.80	5.26	2.17	3.93	1.66	0.31	0.12	2.78	1.91	3.05	4.96
9	5.65	2.17	1.92	4.14	4.13	1.19	-0.15	-2.72	4.01	5.24	5.87	4.42	9	5.46	4.31	5.48	2.93	5.43	1.36	1.33	3.13	2.18	1.43	5.06	2.06
10	3.66	2.70	1.34	4.63	4.08	-0.41	-2.78	-1.42	5.51	6.40	3.20	2.62	10	5.43	2.90	3.04	6.19	4.80	2.13	3.90	1.65	1.63	1.27	4.08	5.05
11	4.80	4.34	2.79	3.26	0.87	-1.09	-2.06	1.16	3.74	2.00	7.40	5.01	11	4.43	4.65	2.51	3.98	4.44	3.62	3.79	-0.88	3.82	3.25	6.13	5.48
12	6.23	3.72	3.33	3.03	4.11	-2.56	-1.13	2.25	4.77	1.44	5.25	2.63	12	4.54	4.82	3.24	6.08	5.33	2.70	3.80	0.91	4.23	4.59	4.78	4.59
13	4.65	2.02	4.03	4.04	3.34	-1.72	3.12	2.36	2.33	3.96	4.17	5.06	13	2.26	4.74	3.26	4.30	4.19	1.89	1.74	2.47	4.63	2.32	3.22	6.01
14	2.27	3.37	2.46	3.82	4.01	-1.19	4.20	1.37	2.11	4.38	2.36	3.12	14	3.32	2.19	6.41	1.37	4.15	1.44	1.81	3.00	3.89	2.38	4.06	4.40
15	2.33	1.37	1.44	4.79	4.39	0.17	4.01	3.14	3.15	6.11	2.20	3.52	15	2.45	5.51	2.62	3.62	5.23	2.55	1.34	2.50	2.88	4.48	3.10	4.79
16	4.50	1.35	3.98	3.50	2.94	1.93	2.90	3.69	3.78	4.12	2.01	5.04	16	2.91	3.04	3.48	2.80	4.90	3.62	1.50	2.51	3.95	2.34	4.58	4.75
17	3.37	2.14	2.58	1.93	4.06	3.86	2.88	1.90	3.38	2.90	3.45	3.98	17	5.30	4.08	4.31	4.12	4.08	3.70	-0.62	2.86	2.76	5.71	4.02	5.86
18	2.08	2.13	2.40	2.73	4.26	4.26	1.16	2.87	4.15	2.48	3.65	6.06	18	4.44	3.59	2.77	3.04	4.15	2.93	2.51	3.09	2.77	3.24	3.09	6.62
19	2.23	2.37	4.15	3.62	3.48	4.19	0.11	3.08	5.55	5.70	5.05	6.03	19	3.24	3.80	2.77	3.73	3.86	2.04	1.33	2.67	2.06	6.66	1.70	3.33
20	4.07	4.04	3.23	3.14	3.79	4.80	-1.73	3.26	6.02	5.87	4.58	4.32	20	5.02	4.22	4.19	2.91	3.73	3.08	2.44	2.63	4.05	2.90	4.90	3.93
21	2.99	2.48	3.01	4.16	2.44	2.02	-1.76	2.70	3.30	6.33	4.58	5.23	21	2.00	2.15	4.65	4.22	3.01	2.58	3.05	4.40	4.36	6.00	4.44	2.42
22	3.30	2.71	3.40	2.65	1.64	3.01	-0.84	1.32	4.02	5.85	5.40	4.92	22	4.34	3.95	2.71	3.96	4.79	2.90	1.90	4.30	4.43	4.66	2.40	2.82
23	1.78	4.34	3.09	3.43	4.97	1.71	-2.73	4.49	3.39	3.26	6.62	3.98	23	4.87	3.98	3.34	4.43	4.93	3.06	-0.70	3.74	5.21	2.44	2.45	2.27
24	2.95	3.87	2.27	4.38	4.83	1.48	-1.53	3.40	5.56	4.12	5.85	3.01	24	4.81	3.33	5.62	3.37	2.14	2.16	2.37	4.07	2.37	1.82	4.54	2.58
25	4.98	1.76	2.14	4.40	2.86	2.09	2.36	2.19	3.08	4.01	4.91	4.60	25	3.50	4.64	6.34	3.27	2.18	3.18	-0.34	1.93	3.07	2.38	5.69	3.32
26	4.01	5.83	2.04	4.31	1.55	0.60	0.44	1.33	2.56	3.41	4.58	3.86	26	5.54	4.20	5.37	3.59	3.09	3.28	-1.46	0.46	2.76	2.80	4.11	4.20
27	3.83	3.84	4.66	4.98	3.52	2.60	3.21	2.33	2.90	4.13	5.30	5.09	27	4.37	4.83	1.75	5.08	4.82	2.48	-2.57	2.28	3.91	4.90	2.84	4.81
28	4.09	3.65	3.45	2.83	2.77	3.97	3.28	2.80	3.54	3.80	7.55	4.32	28	3.74	4.62	4.08	5.38	4.36	0.80	1.26	1.05	4.27	4.80	2.62	5.17
29	3.26	3.63	3.30	3.87	3.87	3.95	3.24	1.87	3.44	4.92	5.15	3.90	29	4.31		3.79	5.03	2.44	0.76	-0.79	-0.54	3.74	3.77	2.45	5.94
30	5.88		3.51	2.73	2.46	4.46	2.90	-1.55	2.08	4.67	2.98	3.15	30	2.01		5.02	4.17	2.08	2.22	0.77	0.08	5.21	2.94	4.80	6.26
31	2.33		3.63		2.69		1.73	-0.35		5.05		2.15	31	5.30		5.34		3.55		1.93	-1.35		4.15		6.88



DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MINIMAS AÑO 2014 – NASA POWER MERRA													DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MINIMAS AÑO 2015 – NASA POWER MERRA												
DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	5.02	4.47	4.01	4.37	3.51	4.80	2.35	3.70	3.56	5.10	4.87	7.05	1	3.55	3.33	2.34	2.70	5.06	5.08	3.18	0.31	1.12	4.80	4.65	2.07
2	4.74	5.38	5.62	3.62	4.40	3.63	2.58	2.65	3.05	1.85	3.01	4.26	2	6.14	2.59	3.69	3.94	5.62	3.79	4.02	3.26	3.62	4.99	4.94	5.05
3	5.58	2.86	6.03	3.76	2.45	2.93	3.34	3.03	3.65	1.99	4.40	2.83	3	3.03	4.50	3.24	4.67	5.24	2.32	4.48	5.02	4.46	4.81	5.12	5.89
4	2.77	4.13	4.12	4.44	5.26	4.87	2.77	4.69	4.74	4.19	4.89	5.59	4	1.08	6.18	5.15	2.60	5.08	4.55	2.87	5.10	4.12	3.66	4.72	5.58
5	1.46	3.46	3.87	3.23	3.68	3.86	3.33	3.34	3.87	3.99	5.23	4.26	5	3.96	2.00	2.97	2.29	3.76	3.30	1.64	2.39	4.75	5.66	2.32	5.35
6	2.42	5.58	2.63	2.40	3.27	4.30	4.37	2.12	1.44	5.02	6.09	2.55	6	5.03	2.69	2.15	4.42	5.83	4.71	-3.12	3.36	2.73	4.31	3.07	3.65
7	2.22	4.96	2.66	5.49	2.38	1.54	4.06	4.44	4.73	5.15	5.65	2.98	7	3.37	3.98	2.91	4.04	4.33	4.01	-4.49	4.87	5.01	3.14	4.12	1.87
8	2.49	5.34	4.27	4.49	2.55	2.62	3.07	0.99	4.14	3.29	5.80	3.12	8	3.17	2.52	2.28	5.17	4.92	2.73	-2.41	3.75	4.90	2.94	4.58	1.83
9	2.90	3.01	4.33	5.47	2.94	2.35	3.84	0.84	3.93	3.65	6.28	3.40	9	3.50	4.52	3.29	4.45	4.97	2.58	-0.94	3.95	5.41	2.02	5.35	5.90
10	2.08	2.08	3.94	4.70	3.73	3.48	2.70	2.36	4.29	4.53	5.11	3.75	10	2.11	3.33	3.77	1.67	4.80	3.17	-0.91	3.59	6.24	6.94	5.16	5.33
11	2.87	4.80	5.90	5.42	3.65	2.44	1.51	4.76	4.15	4.76	4.15	4.04	11	4.61	2.68	4.51	3.95	1.56	1.48	1.62	1.96	5.73	6.41	3.87	5.65
12	5.12	3.83	5.01	3.94	4.73	2.59	0.64	2.59	3.58	3.42	5.47	3.05	12	2.32	2.64	6.54	4.14	1.63	2.75	4.01	2.69	3.87	4.53	2.32	3.74
13	3.80	2.18	3.58	4.51	3.27	4.44	2.24	2.17	2.48	2.16	2.30	2.26	13	2.16	4.61	4.27	4.62	4.69	2.77	-0.31	4.87	5.08	5.36	4.22	4.09
14	2.70	5.14	2.29	5.24	4.22	2.86	0.16	1.31	4.55	3.94	2.80	5.80	14	4.23	4.71	2.69	4.80	3.24	4.46	3.08	3.33	2.53	5.06	3.78	5.03
15	2.76	2.85	5.51	3.83	3.01	1.36	1.49	1.29	5.71	3.85	4.44	3.95	15	4.22	5.14	5.52	3.31	0.93	3.69	1.67	0.30	4.95	5.52	4.03	4.20
16	2.48	2.87	3.15	4.48	4.45	0.32	2.75	1.80	3.88	5.38	3.50	2.46	16	4.06	4.50	4.82	1.71	0.74	2.08	1.71	4.14	4.58	5.54	5.57	5.72
17	4.28	2.60	2.13	5.38	3.17	3.33	3.03	0.66	4.22	4.33	3.19	3.19	17	4.50	3.83	3.44	3.32	1.53	2.58	2.87	5.11	5.53	1.85	3.87	4.45
18	4.52	4.89	4.54	2.40	2.36	3.22	3.60	3.40	4.47	2.82	5.01	2.23	18	3.96	2.26	2.65	2.89	1.26	1.90	1.52	1.64	5.86	-0.51	3.68	2.26
19	3.72	2.65	4.73	1.35	3.58	2.08	2.27	1.66	5.28	1.58	4.59	3.92	19	1.58	2.55	2.01	5.02	3.05	1.57	2.56	2.39	3.13	3.72	6.82	3.17
20	1.55	5.39	5.24	2.80	4.59	0.63	1.27	0.40	4.92	3.26	6.94	2.92	20	2.40	5.88	2.21	4.28	1.37	1.88	1.23	0.37	2.70	2.55	6.50	4.13
21	6.40	3.58	2.43	1.98	4.01	-0.08	2.03	-2.29	3.40	1.55	5.63	5.51	21	3.08	5.76	1.81	4.62	1.98	2.90	3.96	4.10	5.27	4.30	3.31	4.44
22	2.92	3.34	2.94	4.48	2.90	1.37	1.93	-2.72	2.07	3.54	5.08	6.26	22	2.70	4.51	2.63	3.69	2.61	3.27	3.90	2.20	5.62	2.47	3.16	2.68
23	4.41	4.74	2.77	4.69	2.19	1.48	2.55	-2.97	3.83	3.21	5.65	5.19	23	2.31	3.99	3.51	2.72	5.10	3.57	4.16	5.55	3.75	6.36	5.33	5.55
24	3.53	5.24	4.80	3.76	1.86	3.47	3.27	-1.49	5.61	2.02	5.88	3.42	24	3.68	3.43	4.06	4.17	5.15	2.36	3.80	4.24	3.74	3.47	5.72	4.91
25	4.55	5.88	2.85	4.81	-1.77	4.27	1.83	0.05	4.28	5.64	4.31	5.38	25	3.63	2.53	2.82	3.75	4.58	2.28	4.78	3.75	5.60	2.26	6.08	3.23
26	2.94	4.78	4.00	2.43	-0.59	3.97	1.32	2.09	1.92	4.24	6.43	4.99	26	2.46	1.91	5.71	3.62	3.35	4.26	3.68	2.92	4.84	4.89	3.97	2.74
27	3.72	5.25	2.37	1.16	-0.77	3.25	1.80	3.54	4.57	2.33	4.29	2.61	27	1.62	4.19	5.22	4.22	3.65	3.62	0.74	2.69	3.77	3.16	5.13	2.37
28	3.60	4.37	4.30	4.83	1.85	4.64	2.48	3.78	3.90	5.78	3.33	2.80	28	4.43	2.26	3.33	2.94	4.29	3.90	3.38	0.50	3.26	4.97	3.87	1.55
29	4.56		2.13	2.68	1.12	3.46	0.86	3.04	1.45	3.61	4.18	2.23	29	4.94		2.09	5.51	4.52	1.90	4.35	3.53	5.16	3.83	5.69	4.83
30	5.05		2.82	3.90	0.10	2.08	1.65	3.83	5.05	4.74	5.46	4.67	30	3.47		4.26	4.82	5.13	1.07	3.15	3.43	2.66	5.15	2.50	2.81
31	4.51		2.51		2.23		0.55	3.23		5.22		5.73	31	3.05		2.83		3.87		1.96	2.96		6.23		3.69



DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MINIMAS AÑO 2016 – NASA POWER MERRA													DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MINIMAS AÑO 2017 – NASA POWER MERRA												
DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	3.68	2.76	5.63	3.55	4.08	4.52	1.29	0.65	2.86	3.57	4.29	1.94	1	4.92	4.80	2.12	5.77	4.13	1.87	1.97	4.23	4.64	3.01	3.30	5.02
2	5.39	5.06	6.51	6.26	5.48	2.89	0.99	0.89	2.98	3.22	2.62	4.14	2	6.07	2.91	4.85	6.04	4.82	1.65	1.69	5.01	5.32	1.52	2.79	3.55
3	4.70	6.69	6.35	4.98	4.09	3.79	2.07	2.55	2.00	3.96	1.72	2.43	3	3.64	5.65	4.88	3.69	5.67	2.37	2.01	5.58	4.86	4.17	6.14	4.48
4	4.98	5.86	3.55	6.05	2.65	3.27	1.64	3.33	1.77	2.73	1.81	3.47	4	2.55	5.64	5.19	3.90	5.42	1.56	2.35	4.56	5.08	5.15	3.22	4.88
5	5.20	3.43	2.55	4.81	2.58	4.35	0.78	1.82	2.56	2.37	4.16	2.00	5	4.19	3.12	3.69	3.29	4.28	1.55	1.44	5.33	4.81	5.57	2.12	5.69
6	7.47	2.26	3.03	3.39	5.26	5.55	3.26	4.45	2.89	1.83	2.22	3.05	6	4.74	4.26	3.29	2.74	3.21	2.13	2.73	5.15	3.51	5.39	2.62	4.17
7	3.15	5.46	5.52	5.64	4.93	5.49	3.59	3.58	3.00	2.19	2.16	3.35	7	3.10	2.53	4.73	2.55	2.20	4.12	3.25	5.12	4.35	5.44	2.40	4.32
8	6.15	3.99	3.44	4.44	5.05	3.27	2.44	3.15	4.64	3.73	2.46	5.44	8	1.61	5.90	4.06	4.31	4.27	4.08	2.33	4.69	3.76	3.47	5.19	6.34
9	5.50	3.90	6.03	5.62	4.00	1.55	2.53	3.37	4.24	2.60	2.81	3.58	9	2.14	5.23	5.03	4.74	5.79	2.90	2.98	4.70	4.08	2.73	5.77	4.10
10	3.39	3.30	6.69	4.88	5.05	3.54	1.72	2.60	4.72	3.44	3.20	1.99	10	4.96	5.12	5.85	3.53	6.29	2.67	2.08	2.91	5.40	5.62	4.15	5.91
11	6.51	3.46	5.39	4.47	4.79	4.23	1.54	1.85	4.35	4.56	4.12	3.26	11	5.19	2.49	5.49	2.58	5.12	3.68	2.63	3.83	4.89	5.07	3.75	6.61
12	6.13	3.84	5.20	2.99	4.11	3.03	2.87	3.24	4.43	2.08	4.19	4.65	12	4.65	2.80	4.33	3.01	4.71	1.87	2.20	2.22	4.53	4.19	2.84	4.40
13	5.75	3.09	4.65	5.76	2.62	1.59	4.83	3.97	5.51	2.73	5.73	5.48	13	3.54	2.73	4.63	3.53	6.61	3.92	3.62	3.61	4.13	5.18	4.09	3.62
14	6.43	6.91	3.94	4.55	1.94	1.01	4.27	4.43	5.67	2.99	3.03	4.70	14	3.10	4.61	3.39	4.39	5.94	3.45	3.07	3.40	5.75	5.11	5.06	5.48
15	5.44	5.93	4.56	2.91	2.52	1.44	4.05	3.91	5.80	3.90	4.92	3.19	15	2.40	4.07	4.37	2.85	4.37	2.75	3.04	3.99	5.09	3.94	2.11	2.97
16	2.99	4.89	5.23	4.73	5.16	0.35	4.55	4.90	4.81	5.44	6.39	4.15	16	1.88	2.99	3.16	3.07	2.89	5.12	4.58	4.16	2.72	3.26	4.01	4.94
17	4.81	3.38	3.67	5.50	3.24	2.15	2.76	3.51	5.40	4.53	3.14	2.97	17	3.95	2.19	2.26	2.94	3.73	2.83	5.62	5.52	3.28	5.81	3.13	5.58
18	5.57	6.13	6.05	3.84	3.51	1.55	2.15	3.26	4.76	4.15	2.18	5.22	18	3.39	5.26	2.15	5.05	3.79	5.63	3.90	2.27	3.63	3.69	2.41	6.44
19	2.38	6.02	2.94	5.54	1.78	1.37	3.30	4.31	3.73	2.99	2.17	2.65	19	4.49	5.66	4.33	5.17	5.43	2.67	3.37	-0.54	4.12	3.70	5.69	5.82
20	3.69	5.13	5.82	4.66	1.42	3.20	0.33	1.79	2.20	2.94	5.32	3.05	20	3.44	4.79	2.17	5.48	4.44	1.69	1.65	0.40	4.64	3.60	5.58	5.40
21	3.49	7.28	5.64	5.96	3.42	3.45	0.80	2.62	2.80	3.72	4.90	3.95	21	2.80	2.33	3.30	4.86	2.68	3.69	0.53	2.48	5.34	2.97	4.95	3.12
22	3.82	4.43	6.46	5.49	2.71	3.41	2.19	3.31	4.05	3.29	5.66	2.94	22	2.05	2.72	3.27	4.57	3.23	3.03	-0.68	3.23	5.19	3.73	3.65	6.07
23	3.82	6.19	6.20	5.63	1.79	3.42	3.20	3.07	5.33	3.65	2.74	4.05	23	3.94	2.92	3.14	4.62	2.55	3.08	-1.77	2.83	3.54	2.48	3.75	6.40
24	3.58	6.70	7.53	5.68	3.58	0.84	3.35	2.62	3.89	4.25	3.21	5.33	24	3.43	2.64	3.12	5.28	3.24	1.69	0.57	4.79	4.37	6.29	3.48	6.77
25	3.58	5.28	7.93	3.80	3.42	3.76	2.71	3.57	2.73	2.88	4.48	2.44	25	5.75	4.27	5.23	4.96	3.65	3.85	3.44	3.09	2.37	2.85	6.16	3.67
26	3.45	5.10	4.29	3.90	2.18	3.10	4.62	3.96	3.77	3.17	5.44	3.06	26	3.79	3.36	4.08	4.53	3.58	1.90	4.08	4.45	4.10	3.35	4.19	4.45
27	5.30	3.77	3.98	5.98	4.51	2.03	2.82	4.33	1.87	3.27	1.55	2.97	27	2.52	4.49	5.52	4.74	4.65	4.53	3.01	1.83	4.31	4.87	2.62	3.63
28	3.33	3.80	3.99	4.98	2.98	1.43	4.33	2.14	2.58	0.01	4.68	3.03	28	2.76	3.30	4.81	4.22	1.94	4.87	4.24	4.37	1.78	2.19	3.65	4.31
29	4.95	7.16	4.11	4.13	3.64	-1.07	3.43	2.04	5.54	2.30	4.69	2.30	29	3.40		5.31	3.94	2.26	1.92	4.87	2.65	5.26	2.23	5.22	3.90
30	2.78		2.95	4.80	1.72	-1.36	0.05	3.90	3.82	4.98	1.52	1.80	30	4.42		2.52	3.71	3.06	1.49	3.58	1.65	5.64	2.60	5.82	2.40
31	3.38		4.12		4.69		-0.13	2.40		4.28		2.35	31	4.63		4.58		1.69		4.05	2.74		5.32		3.30

DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MINIMAS AÑO 2018 – NASA POWER MERRA													DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MINIMAS AÑO 2019 – NASA POWER MERRA												
DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	3.53	4.64	4.20	4.48	1.48	4.85	2.70	2.51	4.33	4.90	3.17	5.07	1	4.97	3.77	2.21	4.65	5.99	3.82	4.08	3.26	4.05	3.63	5.48	5.90
2	3.82	4.16	4.48	4.08	1.62	4.80	3.09	1.83	3.04	4.80	2.64	5.57	2	5.65	4.69	5.19	3.19	5.62	5.26	2.85	4.55	2.03	3.33	5.08	3.37
3	2.47	4.19	3.19	3.01	3.53	2.31	1.52	3.62	3.51	5.51	4.53	4.26	3	5.84	2.10	6.20	4.74	6.07	2.87	2.40	3.79	4.48	4.37	3.62	2.80
4	2.39	1.96	3.58	5.02	2.24	2.40	1.80	3.75	1.06	3.19	3.08	4.85	4	3.50	3.44	5.35	5.48	5.93	3.95	5.50	1.80	2.61	6.08	2.30	2.65
5	4.16	3.24	4.76	5.26	2.48	0.87	4.37	1.77	0.67	2.68	2.70	7.34	5	3.76	3.87	4.70	3.51	4.85	4.04	5.86	1.38	0.44	5.23	4.12	6.26
6	2.51	5.38	4.83	3.30	2.12	1.95	3.49	2.15	3.15	4.12	2.74	5.06	6	4.26	4.09	4.45	5.77	4.05	2.51	2.41	-0.69	3.21	3.67	4.22	5.05
7	3.32	3.69	4.23	3.83	2.52	-0.83	1.27	0.83	3.53	5.69	5.12	3.55	7	7.26	4.12	5.44	5.24	4.83	3.48	2.49	-0.52	3.70	1.73	2.97	5.03
8	1.50	2.39	4.55	3.20	4.38	0.73	1.15	2.42	2.85	3.34	2.90	3.16	8	2.87	4.77	3.86	4.52	5.94	4.33	3.38	-1.13	2.38	1.29	2.41	2.94
9	3.51	5.53	3.87	3.44	4.12	1.53	3.84	3.29	2.71	5.93	2.36	2.81	9	3.42	5.36	5.98	4.31	4.67	3.10	2.80	-2.92	4.26	5.36	2.23	3.75
10	3.94	5.11	2.14	4.89	5.11	1.58	2.54	1.97	3.78	6.34	3.96	3.56	10	2.07	3.75	4.01	2.80	4.80	0.66	4.19	0.05	4.59	4.38	3.16	2.49
11	3.87	5.26	3.23	4.60	3.62	0.73	2.44	3.54	3.51	4.57	7.05	4.15	11	4.90	4.96	2.94	3.37	5.30	4.63	4.59	-0.61	4.14	4.37	3.79	2.79
12	3.47	4.80	5.26	5.73	2.31	2.36	2.08	2.19	3.76	2.45	4.50	5.03	12	3.33	6.69	2.68	5.40	4.57	3.11	3.90	2.17	4.30	4.90	2.12	3.33
13	3.25	3.53	2.21	4.00	2.58	2.12	0.77	1.93	4.74	2.19	6.19	3.85	13	4.79	2.62	6.12	4.92	1.97	4.26	5.08	4.54	2.79	5.99	3.10	2.59
14	3.26	4.53	5.20	2.89	4.28	0.94	0.23	3.61	3.30	5.12	5.78	2.83	14	2.80	2.40	4.47	5.87	3.29	3.69	3.93	3.11	3.60	5.48	5.39	2.02
15	2.74	4.08	4.44	4.66	4.87	2.37	1.02	1.45	3.71	4.75	5.39	2.25	15	5.47	5.00	5.40	4.23	3.93	4.86	4.23	2.97	4.37	4.94	4.14	2.76
16	3.48	3.69	2.30	3.83	3.82	1.89	3.14	0.15	2.81	5.81	4.36	3.80	16	4.18	5.62	5.69	3.27	4.44	4.74	2.05	2.98	5.82	4.26	1.80	1.84
17	3.08	4.33	5.22	4.05	1.67	-0.27	0.01	2.97	4.08	2.89	2.90	2.44	17	4.39	2.93	5.97	5.09	2.62	3.54	1.37	2.46	5.36	2.83	3.40	3.71
18	4.37	2.20	4.41	4.25	3.35	-1.09	4.04	3.55	3.51	4.17	3.36	3.94	18	3.30	5.15	2.99	3.44	2.72	3.15	1.11	2.80	5.98	2.87	2.38	5.57
19	3.39	1.85	5.33	3.89	3.58	0.37	3.72	4.41	0.69	2.14	3.30	4.46	19	4.03	5.65	2.77	5.90	3.00	5.98	3.75	4.43	3.62	2.73	4.90	4.38
20	3.10	5.33	2.73	2.12	2.75	1.21	3.08	3.54	3.87	2.67	1.79	1.55	20	4.09	2.86	4.37	3.37	-0.03	3.64	1.96	2.81	5.08	2.94	3.01	4.41
21	3.67	3.46	4.22	2.41	2.83	-0.03	0.82	3.46	2.36	2.63	4.12	6.05	21	1.96	5.86	4.96	4.23	5.65	1.94	3.63	1.19	5.85	4.68	4.01	1.83
22	1.64	1.70	4.19	4.23	3.36	-0.53	0.33	2.36	3.15	4.94	3.97	5.49	22	2.83	5.66	2.30	6.41	4.39	1.30	4.29	4.19	5.03	4.48	2.93	4.76
23	4.90	1.89	2.74	2.82	0.52	-0.05	1.37	3.78	2.82	2.75	4.92	5.87	23	3.74	3.89	3.45	5.44	5.44	3.30	2.89	2.97	3.53	2.65	1.87	3.32
24	4.87	2.50	4.44	4.48	0.32	3.55	1.49	3.46	2.73	5.58	7.43	3.12	24	4.76	2.30	3.94	4.74	2.76	3.01	2.83	2.65	4.93	3.76	4.40	4.04
25	3.79	1.85	4.96	2.86	1.19	2.18	0.35	3.93	2.58	4.59	7.09	3.37	25	3.55	2.83	5.62	4.80	3.20	0.14	2.92	4.05	5.23	4.09	3.98	6.12
26	3.77	2.10	3.32	4.53	3.40	3.87	0.98	1.83	4.25	3.42	3.49	2.19	26	3.19	4.26	5.08	4.83	3.41	2.23	2.54	3.23	2.85	4.76	5.63	5.77
27	4.04	3.36	2.78	5.16	3.90	4.16	-1.32	2.26	3.51	4.71	2.43	3.79	27	2.33	5.07	5.10	2.81	3.76	2.51	2.33	3.04	3.44	4.72	6.23	4.26
28	6.08	5.40	4.40	2.23	4.08	3.22	-2.48	2.45	4.83	4.00	6.04	3.96	28	2.70	3.93	3.89	5.46	3.72	4.08	1.95	3.66	4.63	6.12	3.83	4.45
29	3.40		5.33	2.69	4.95	4.08	-1.68	2.58	3.48	2.93	4.61	2.03	29	1.83		4.09	4.13	1.80	3.25	1.30	3.15	6.26	5.46	3.40	3.13
30	2.62		3.83	2.50	4.32	1.69	0.17	3.65	3.23	5.90	5.57	3.69	30	5.11		3.23	5.32	2.45	4.65	4.69	5.40	5.09	6.65	4.44	2.37
31	4.66		2.28		3.81		3.65	3.94		4.31		3.03	31	3.94		5.05		4.22		4.37	4.60		5.70		3.91

DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MINIMAS AÑO 2020 – NASA POWER MERRA													DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MINIMAS AÑO 2021 – NASA POWER MERRA												
DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	1.60	5.67	2.05	4.83	3.55	0.36	3.82	3.21	3.14	5.08	5.05	3.25	1	2.62	4.97	1.55	3.73	4.32	3.77	1.39	0.86	4.39	5.42	2.88	6.08
2	4.65	5.90	3.87	3.87	5.51	4.30	3.87	1.36	4.19	3.33	4.47	3.37	2	2.65	3.46	3.43	1.83	4.43	4.29	-1.31	1.69	5.39	4.14	2.47	6.57
3	4.69	2.98	3.67	5.17	4.89	4.32	4.63	3.86	5.48	4.74	5.26	2.19	3	2.04	3.29	1.86	2.43	5.47	1.87	-1.85	1.40	5.79	5.08	2.85	3.79
4	1.94	5.34	5.46	4.79	2.54	2.29	3.65	2.23	4.43	4.23	5.87	3.07	4	4.22	1.98	3.28	4.04	5.74	1.99	-2.70	1.30	4.90	4.76	5.23	3.10
5	2.87	4.12	5.44	5.76	3.36	3.12	5.02	3.23	5.59	3.16	2.73	3.53	5	2.97	3.87	3.52	3.08	5.31	1.18	-1.92	-0.31	4.94	3.37	5.71	2.29
6	4.34	6.36	5.02	6.29	3.57	3.84	4.66	2.76	6.18	4.92	5.08	2.40	6	4.51	2.73	2.98	1.94	3.60	3.26	1.05	-0.62	3.00	2.54	4.55	3.82
7	4.72	4.66	5.34	2.96	1.87	3.33	5.38	3.15	5.69	2.60	3.29	2.92	7	4.14	3.73	4.09	4.37	3.80	1.45	0.42	-0.39	4.40	4.66	3.55	4.42
8	2.82	4.17	5.01	4.13	4.58	4.17	2.47	3.57	4.29	3.86	4.43	3.29	8	4.64	5.86	2.90	1.48	4.15	3.33	2.03	1.29	4.93	3.05	4.94	2.14
9	3.48	5.60	3.23	2.56	4.10	2.76	1.31	3.65	4.61	4.80	5.78	3.14	9	2.77	5.32	3.08	4.76	3.91	5.10	2.87	1.51	4.15	2.65	5.98	4.20
10	5.16	4.29	2.58	6.17	5.62	3.96	1.26	1.69	4.73	4.29	3.07	5.60	10	2.74	3.60	1.90	5.12	2.34	4.53	4.43	4.87	3.86	6.05	2.33	5.51
11	3.99	5.06	3.31	5.97	6.26	4.88	1.62	3.45	3.69	5.44	2.35	5.27	11	3.54	1.37	1.59	4.90	3.28	3.96	2.68	3.99	3.69	2.97	5.01	3.08
12	5.77	2.31	5.25	6.12	3.66	5.65	2.66	2.34	3.98	4.56	5.34	2.19	12	3.83	5.44	2.44	4.74	4.03	2.90	1.30	2.98	4.76	4.23	2.48	6.76
13	4.80	2.00	4.60	5.51	1.44	3.76	4.25	2.75	3.78	4.49	5.84	3.06	13	1.58	2.66	2.29	3.44	4.73	2.62	3.79	4.33	6.73	2.73	2.58	6.30
14	4.05	2.84	3.90	6.06	4.95	2.56	4.83	2.26	4.16	4.51	5.44	2.93	14	3.65	2.69	2.90	2.47	5.26	2.83	4.31	3.94	6.69	3.83	6.01	4.91
15	5.40	5.91	3.45	3.58	1.79	3.23	1.87	1.73	5.08	4.58	5.88	2.58	15	4.13	5.01	3.78	5.80	4.19	4.37	2.65	4.49	3.35	6.03	5.48	4.12
16	5.12	6.40	4.46	2.62	3.52	4.71	2.73	1.92	3.37	4.69	4.01	2.91	16	3.43	3.55	4.33	5.56	1.51	3.94	3.15	4.01	4.45	5.06	2.96	4.25
17	4.10	7.25	4.87	3.83	2.05	4.23	2.60	2.49	4.99	2.55	5.22	3.78	17	4.10	5.38	3.65	5.76	3.30	3.79	4.68	2.73	3.19	6.32	5.97	5.78
18	4.39	6.66	3.53	2.87	2.19	5.19	4.44	3.07	2.89	3.35	6.00	3.45	18	5.82	4.71	5.02	6.12	2.58	3.55	2.95	3.94	3.86	5.88	5.79	6.30
19	4.79	6.06	5.73	3.58	3.65	3.60	5.31	5.03	3.46	1.22	4.11	2.05	19	4.11	3.87	1.54	5.81	3.08	4.08	2.48	3.01	4.66	4.34	5.15	5.33
20	5.08	3.13	6.30	4.23	4.97	3.23	4.39	4.70	3.33	4.44	3.44	4.27	20	3.40	2.74	2.30	5.32	3.81	3.71	1.47	2.94	5.24	3.79	3.04	5.80
21	3.22	2.48	5.76	4.30	5.37	4.58	3.00	3.80	4.26	2.49	5.30	3.48	21	3.98	2.90	3.59	5.28	3.86	4.70	2.55	3.99	3.22	4.73	5.26	5.29
22	5.55	4.55	2.33	4.83	3.82	1.98	3.65	2.26	4.12	4.70	5.76	2.58	22	3.34	4.15	3.07	2.47	4.37	3.69	1.68	2.25	3.30	6.37	5.76	4.72
23	5.33	3.12	5.48	5.03	4.02	1.58	3.47	2.19	3.98	2.57	3.82	2.35	23	4.14	3.37	3.01	1.90	3.95	3.85	0.73	4.20	2.98	5.50	6.74	4.40
24	4.87	2.28	5.41	5.97	1.91	3.90	4.49	1.96	3.88	1.88	7.26	3.26	24	4.83	5.03	3.34	3.76	0.87	3.88	0.06	5.16	4.62	6.64	5.76	4.31
25	4.18	3.29	4.30	5.52	1.69	3.81	3.34	1.46	2.68	4.34	4.19	3.77	25	4.31	5.15	3.08	4.47	0.68	4.92	2.56	5.54	4.98	5.06	4.27	4.58
26	6.97	3.80	3.48	2.51	-1.79	3.67	1.15	3.87	2.77	3.23	5.31	2.99	26	4.15	3.81	3.02	4.80	0.22	2.02	0.08	5.32	4.49	3.15	5.84	4.62
27	6.30	3.50	6.20	3.43	-1.56	4.27	1.71	3.19	5.11	5.20	3.84	2.23	27	2.57	2.93	2.95	3.36	1.60	4.27	1.67	3.49	3.67	4.94	1.74	6.04
28	4.93	2.23	5.50	3.92	-1.20	3.28	3.56	5.46	2.96	2.75	3.96	1.54	28	2.78	2.77	2.56	4.53	1.08	2.20	2.85	2.55	5.83	4.29	3.43	2.58
29	3.23	2.69	3.07	5.80	-2.19	0.62	5.44	5.26	2.80	6.42	2.95	3.79	29	3.05		3.56	3.87	1.25	1.33	2.84	2.68	6.23	4.15	6.18	2.62
30	4.19		5.42	4.98	-2.79	-0.31	4.03	4.35	2.37	5.33	5.01	3.68	30	4.10		2.64	3.36	0.52	1.80	2.18	3.34	3.32	4.09	5.37	3.99
31	5.54		2.14		-0.34		4.23	5.05		4.55		2.87	31	5.27		3.87		1.60		0.86	3.33		2.76		2.93

DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MINIMAS AÑO 2022 – NASA POWER MERRA													DATOS HISTORICOS DE TEMPERATURAS MINIMAS AÑO 2023 – NASA POWER MERRA												
DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	DIA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	3.89	4.72	3.44	4.23	4.84	4.31	4.78	6.01	2.94	4.33	4.78	5.10	1	3.33	3.31	4.98	3.66	4.73	1.58	4.37	3.98	5.11	4.68	6.05	5.93
2	5.10	4.78	2.58	3.42	5.51	3.87	4.70	5.72	4.48	5.42	4.34	3.55	2	2.65	3.40	6.28	3.40	2.33	1.38	4.59	2.65	4.23	6.31	6.94	6.08
3	3.91	5.16	3.88	4.11	6.57	2.21	3.28	5.16	3.69	5.02	4.50	4.39	3	6.57	3.20	3.36	2.51	5.39	2.18	5.27	4.31	3.32	3.53	5.38	4.40
4	4.91	2.98	2.42	4.94	5.21	1.75	3.34	5.01	3.47	2.33	3.58	1.67	4	3.40	4.58	2.26	4.90	3.83	4.76	2.36	4.30	4.57	2.40	7.15	2.95
5	2.76	4.51	2.44	4.24	5.09	3.80	4.48	3.37	3.33	2.68	4.36	3.83	5	2.85	3.48	4.48	3.69	4.86	1.79	1.48	3.83	5.58	5.85	5.10	4.11
6	5.89	4.33	2.74	4.09	4.30	3.61	3.37	1.60	3.69	6.03	5.28	3.57	6	2.68	5.76	3.55	2.00	6.19	4.37	4.26	4.05	3.95	6.01	6.43	4.90
7	3.90	3.68	2.52	4.30	4.38	5.27	3.38	1.48	3.64	3.98	5.55	5.26	7	3.30	4.92	5.35	2.65	2.18	5.72	6.33	3.76	2.90	2.71	7.45	3.83
8	3.05	4.59	3.96	3.35	3.78	3.62	3.29	3.64	3.73	2.80	6.15	5.70	8	3.43	4.45	6.55	1.98	1.26	4.44	6.57	4.77	5.11	5.23	4.70	5.73
9	5.12	2.73	4.43	4.05	4.32	-0.63	3.37	3.25	4.26	5.84	6.05	5.35	9	2.72	2.21	5.17	3.34	2.90	4.59	6.40	2.10	5.98	4.40	5.55	5.01
10	4.33	3.19	3.55	3.00	3.79	0.47	2.83	1.91	5.90	5.58	4.16	4.65	10	1.80	3.58	4.53	4.22	3.73	5.56	5.36	2.50	5.23	3.84	3.89	3.76
11	3.73	6.18	4.56	5.80	4.31	1.61	5.49	2.82	4.59	6.15	3.99	5.64	11	3.73	2.83	5.33	3.80	4.41	4.78	3.57	2.75	4.95	6.51	6.65	5.06
12	2.58	4.15	4.51	6.12	2.43	1.34	5.40	4.07	6.56	5.24	4.90	5.01	12	3.51	5.54	4.67	3.63	4.93	4.92	3.51	0.91	4.55	7.55	6.86	3.39
13	4.17	5.19	2.86	5.65	4.48	0.77	4.77	3.87	6.51	5.65	5.20	4.19	13	3.44	6.08	3.82	5.30	4.44	4.80	4.98	3.43	5.40	6.27	7.18	6.83
14	3.04	4.94	4.61	6.81	5.13	-0.13	5.30	4.35	5.89	3.41	7.60	4.77	14	5.49	4.99	2.95	6.14	4.50	3.69	3.78	3.33	4.64	4.37	6.01	3.17
15	2.86	2.98	1.62	5.90	3.60	-0.27	4.97	5.21	3.40	2.55	5.61	6.87	15	4.47	5.38	2.12	3.51	4.19	2.05	5.12	2.30	2.69	4.69	5.41	5.24
16	4.09	3.23	3.51	4.45	2.85	-3.67	2.59	5.32	1.69	5.32	4.98	5.78	16	5.04	4.15	1.94	3.06	5.09	-0.13	5.25	3.72	5.17	4.90	4.10	3.94
17	4.70	3.88	3.90	5.93	1.48	-2.21	3.32	5.91	4.56	2.85	6.18	4.94	17	3.66	2.23	5.15	3.27	5.73	1.49	5.10	4.48	6.15	4.30	3.83	4.35
18	5.69	5.40	4.29	6.05	4.26	1.66	2.58	3.01	5.47	5.05	5.72	3.76	18	1.75	2.65	2.51	1.48	6.36	-0.24	5.23	4.37	3.12	4.12	7.87	3.08
19	4.41	3.26	5.08	2.20	3.65	-0.10	3.98	2.28	6.77	5.75	5.19	3.82	19	1.72	1.68	2.28	6.78	4.18	-0.63	5.22	6.55	5.89	6.80	4.94	6.38
20	2.23	3.45	2.34	4.94	2.76	2.28	1.09	1.30	6.48	6.33	4.19	2.69	20	3.86	4.88	3.62	3.76	4.56	1.85	4.33	7.15	3.99	4.42	4.74	4.17
21	2.12	3.60	3.66	4.46	3.15	0.78	1.91	1.99	5.92	6.80	6.89	5.06	21	3.63	4.70	1.97	4.67	3.16	0.69	4.47	6.45	2.72	3.72	6.42	3.28
22	5.97	4.63	4.61	4.93	4.26	3.00	4.20	0.37	6.26	6.33	5.86	2.88	22	3.68	3.49	3.05	6.77	5.62	1.51	4.28	5.44	4.90	3.57	5.57	7.32
23	4.30	3.90	3.04	6.01	2.69	2.19	4.39	-0.44	4.42	5.93	5.05	4.38	23	4.94	2.88	2.64	4.61	3.27	3.30	4.05	3.69	3.91	6.48	7.06	6.15
24	5.52	3.49	3.14	4.26	2.91	1.03	5.34	1.90	3.26	6.26	4.33	4.42	24	4.47	5.83	4.26	6.01	3.20	4.36	5.02	3.01	5.37	7.40	5.05	6.05
25	4.73	3.79	5.01	5.45	2.42	2.48	2.95	3.06	4.94	4.48	4.14	7.08	25	1.88	6.43	3.19	2.26	5.79	3.54	5.11	6.54	4.30	3.87	3.97	5.09
26	3.55	3.81	4.65	5.28	3.62	0.15	2.72	3.34	4.61	5.83	3.20	5.70	26	2.53	4.30	2.10	5.74	4.89	3.30	4.33	6.12	4.37	5.01	4.36	5.54
27	2.13	3.76	4.02	5.75	4.35	-3.52	4.30	2.03	5.11	6.69	3.62	5.51	27	4.85	4.98	1.87	3.46	5.51	5.34	5.45	5.35	7.72	5.87	2.40	4.23
28	5.77	4.80	4.76	5.60	3.37	-1.17	4.33	4.23	5.12	5.15	4.51	4.44	28	6.20	4.27	3.71	3.98	4.06	4.98	4.84	3.90	5.59	7.81	4.44	4.05
29	4.01		2.83	3.31	4.18	3.19	5.32	3.71	5.26	6.65	2.53	5.44	29	4.26		2.98	4.78	3.76	2.19	2.73	5.44	5.06	5.15	3.55	4.04
30	2.52		2.83	4.48	3.95	3.02	4.76	3.77	1.77	6.11	6.45	4.50	30	2.64		3.73	5.47	0.94	4.39	3.47	2.55	5.58	6.05	6.08	7.49
31	4.42		5.32		2.99		5.54	3.18		7.02		5.53	31	3.30		4.41		3.96		3.38	6.22		6.81		2.86

**Anexo D** Informe de los ensayos de laboratorio para agregados – UNSAAC**EQUIVALENTE DE ARENA**

	<p>TESIS: “EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024”</p>	
---	---	---

Referencia Normativa: NTP 339.146 y MTC E 114

**CANTERA:** AMARU SAN SALVADOR**FECHA:** 21-10-2024**TIPO DE MATERIAL:** ARENA TRITURADA**LUGAR:** LABORATORIO EPIC UNSAAC**RESPONSABLES:** Bach. Rodriguez Suri, Edut

Bach. Zuñiga Orccohuarancca Jean Jaret

**MUESTRA 01**

DESCRIPCION	MUESTRA 01
TIEMPO DE COMIENZO DE SATURACIÓN (min)	10:33:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE SATURACIÓN (min)	10:43:00
TIEMPO DE COMIENZO DE DECANTACIÓN (min)	10:48:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE DECANTACIÓN (min)	11:13:00
A) MEDICION INICIAL (cm)	8.01
B) MEDICION FINAL (cm)	7.01
<b>% EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>87.52</b>

**MUESTRA 02**

DESCRIPCION	MUESTRA 02
TIEMPO DE COMIENZO DE SATURACIÓN (min)	11:21:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE SATURACIÓN (min)	11:31:00
TIEMPO DE COMIENZO DE DECANTACIÓN (min)	11:35:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE DECANTACIÓN (min)	11:55:00
A) MEDICION INICIAL (cm)	7.80
B) MEDICION FINAL (cm)	6.70
<b>% EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>85.90</b>

**MUESTRA 03**

DESCRIPCION	MUESTRA 03
TIEMPO DE COMIENZO DE SATURACIÓN (min)	12:00:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE SATURACIÓN (min)	12:10:00
TIEMPO DE COMIENZO DE DECANTACIÓN (min)	12:14:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE DECANTACIÓN (min)	12:34:00
A) MEDICION INICIAL (cm)	7.60
B) MEDICION FINAL (cm)	6.70
<b>% EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>88.16</b>

**% EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO = 87.19 %**

**EQUIVALENTE DE ARENA**

*TESIS: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO  
VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO  
2024"*



Referencia Normativa: NTP 339.146 y MTC E 114

**CANTERA: AMARU SAN SALVADOR**

**FECHA: 21-10-2024**

**TIPO DE MATERIAL: ARENA LAVADA**

**LUGAR: LABORATORIO EPIC UNSAAC**

**RESPONSABLES:** Bach. Rodriguez Suri, Edut

Bach. Zuñiga Orccohuarancca Jean Jaret

**MUESTRA 01**

DESCRIPCION	MUESTRA 01
TIEMPO DE COMIENZO DE SATURACIÓN (min)	12:34:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE SATURACIÓN (min)	12:44:00
TIEMPO DE COMIENZO DE DECANTACIÓN (min)	12:48:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE DECANTACIÓN (min)	01:08:00
A) MEDICION INICIAL (cm)	7.20
B) MEDICION FINAL (cm)	7.05
<b>% EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>97.92</b>

**MUESTRA 02**

DESCRIPCION	MUESTRA 02
TIEMPO DE COMIENZO DE SATURACIÓN (min)	01:09:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE SATURACIÓN (min)	01:19:00
TIEMPO DE COMIENZO DE DECANTACIÓN (min)	01:23:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE DECANTACIÓN (min)	01:43:00
A) MEDICION INICIAL (cm)	7.15
B) MEDICION FINAL (cm)	6.90
<b>% EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>96.50</b>

**MUESTRA 03**

DESCRIPCION	MUESTRA 03
TIEMPO DE COMIENZO DE SATURACIÓN (min)	11:15:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE SATURACIÓN (min)	01:25:00
TIEMPO DE COMIENZO DE DECANTACIÓN (min)	06:28:48
TIEMPO DE FINALIZACION DE DECANTACIÓN (min)	11:16:48
A) MEDICION INICIAL (cm)	6.23
B) MEDICION FINAL (cm)	6.05
<b>% EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>97.11</b>

**% EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO = 97.18 %**

**EQUIVALENTE DE ARENA**

*TESIS: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO  
VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO  
2024"*



Referencia Normativa: NTP 339.146 y MTC E 114

**CANTERA:** CARMEN BONITA CAY CAY

**FECHA:** 21-10-2024

**TIPO DE MATERIAL:** ARENA LAVADA

**LUGAR:** LABORATORIO EPIC UNSAAC

**RESPONSABLES:** Bach. Rodriguez Suri, Edut

Bach. Zuñiga Orccohuaranca Jean Jaret

**MUESTRA 01**

DESCRIPCION	MUESTRA 01
TIEMPO DE COMIENZO DE SATURACIÓN (min)	10:30:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE SATURACIÓN (min)	10:40:00
TIEMPO DE COMIENZO DE DECANTACIÓN (min)	10:45:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE DECANTACIÓN (min)	11:07:00
A) MEDICION INICIAL (cm)	6.50
B) MEDICION FINAL (cm)	4.70
<b>% EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>72.31</b>

**MUESTRA 02**

DESCRIPCION	MUESTRA 02
TIEMPO DE COMIENZO DE SATURACIÓN (min)	11:16:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE SATURACIÓN (min)	11:26:00
TIEMPO DE COMIENZO DE DECANTACIÓN (min)	11:28:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE DECANTACIÓN (min)	11:48:00
A) MEDICION INICIAL (cm)	7.10
B) MEDICION FINAL (cm)	5.40
<b>% EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>76.06</b>

**MUESTRA 03**

DESCRIPCION	MUESTRA 03
TIEMPO DE COMIENZO DE SATURACIÓN (min)	11:50:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE SATURACIÓN (min)	12:00:00
TIEMPO DE COMIENZO DE DECANTACIÓN (min)	12:02:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE DECANTACIÓN (min)	12:22:00
A) MEDICION INICIAL (cm)	6.90
B) MEDICION FINAL (cm)	5.10
<b>% EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>73.91</b>

**% EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO = 74.09 %**



**EQUIVALENTE DE ARENA**

*TESIS: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO  
VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO  
2024"*



Referencia Normativa: NTP 339.146 y MTC E 114

**CANTERA: VICHO SAN SALVADOR**

**FECHA: 21-10-2024**

**TIPO DE MATERIAL: ARENA TRITURADA**

**LUGAR: LABORATORIO EPIC UNSAAC**

**RESPONSABLES:** Bach. Rodriguez Suri, Edut

Bach. Zuñiga Orccohuarancca Jean Jaret

**MUESTRA 01**

DESCRIPCION	MUESTRA 01
TIEMPO DE COMIENZO DE SATURACIÓN (min)	12:08:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE SATURACIÓN (min)	12:18:00
TIEMPO DE COMIENZO DE DECANTACIÓN (min)	12:20:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE DECANTACIÓN (min)	12:40:00
A) MEDICION INICIAL (cm)	7.60
B) MEDICION FINAL (cm)	7.40
<b>% EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>97.37</b>

**MUESTRA 02**

DESCRIPCION	MUESTRA 02
TIEMPO DE COMIENZO DE SATURACIÓN (min)	12:30:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE SATURACIÓN (min)	12:40:00
TIEMPO DE COMIENZO DE DECANTACIÓN (min)	12:43:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE DECANTACIÓN (min)	01:03:00
A) MEDICION INICIAL (cm)	7.50
B) MEDICION FINAL (cm)	7.30
<b>% EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>97.33</b>

**MUESTRA 03**

DESCRIPCION	MUESTRA 03
TIEMPO DE COMIENZO DE SATURACIÓN (min)	12:50:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE SATURACIÓN (min)	01:00:00
TIEMPO DE COMIENZO DE DECANTACIÓN (min)	01:05:00
TIEMPO DE FINALIZACION DE DECANTACIÓN (min)	01:25:00
A) MEDICION INICIAL (cm)	8.00
B) MEDICION FINAL (cm)	7.80
<b>% EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>97.50</b>

**% EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO = 97.40 %**

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO



TESIS: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO  
VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO  
2024"



Referencia Normativa: NTP 339.128 y MTC E 204

CANTERA: AMARU GORE SAN SALVADOR

FECHA: 18-10-2024

TIPO DE MATERIAL: ARENA TRITURADA Y PIEDRA CHANCADA

LUGAR: LABORATORIO EPIC UNSAAC

RESPONSABLES: Bach. Rodriguez Suri, Edut

Bach. Zuñiga Orcohuarancca Jean Jaret

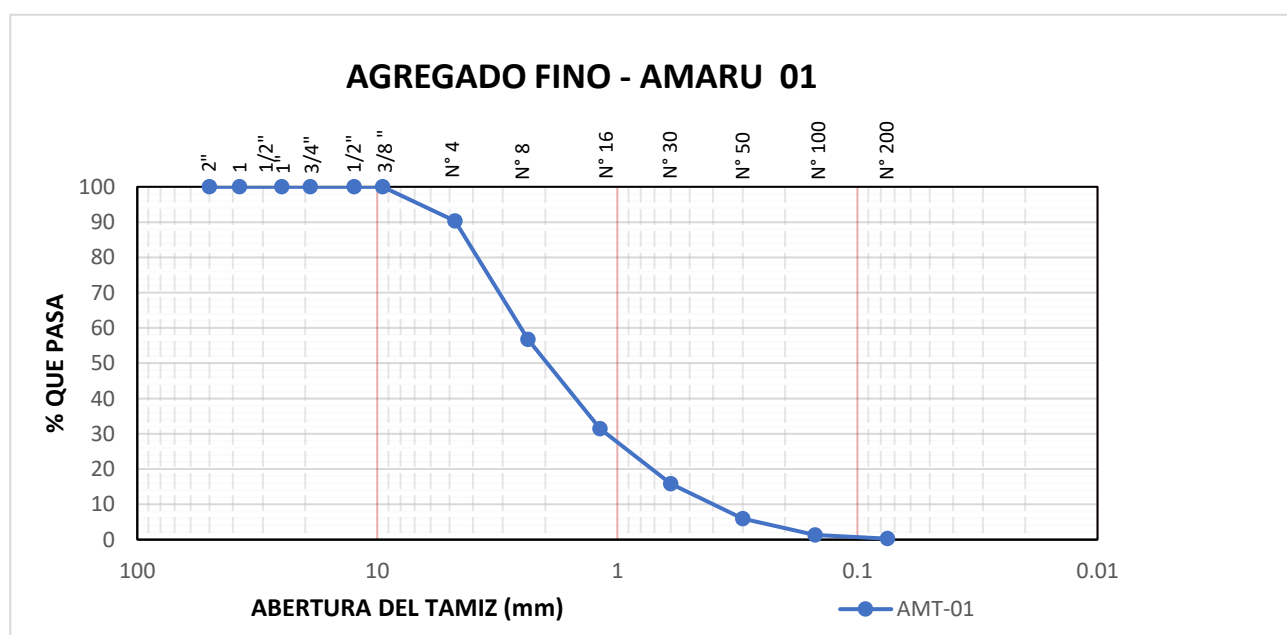
#### MUESTRA 01 – AGREGADO FINO

##### Datos obtenidos en el laboratorio

Peso de Muestra  
Seca=1044.71 gr.

MALLA		Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
No. Tamiz	mm				
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00
# 4	4.75	101.44	9.71	9.71	90.29
# 8	2.36	349.94	33.50	43.21	56.79
# 16	1.18	265.15	25.38	68.59	31.41
# 30	0.6	163.06	15.61	84.19	15.81
# 50	0.3	102.76	9.84	94.03	5.97
# 100	0.15	48.56	4.65	98.68	1.32
# 200	0.075	11.01	1.05	99.73	0.27
Pasa # 200	---	---	0.27	100.00	0.00

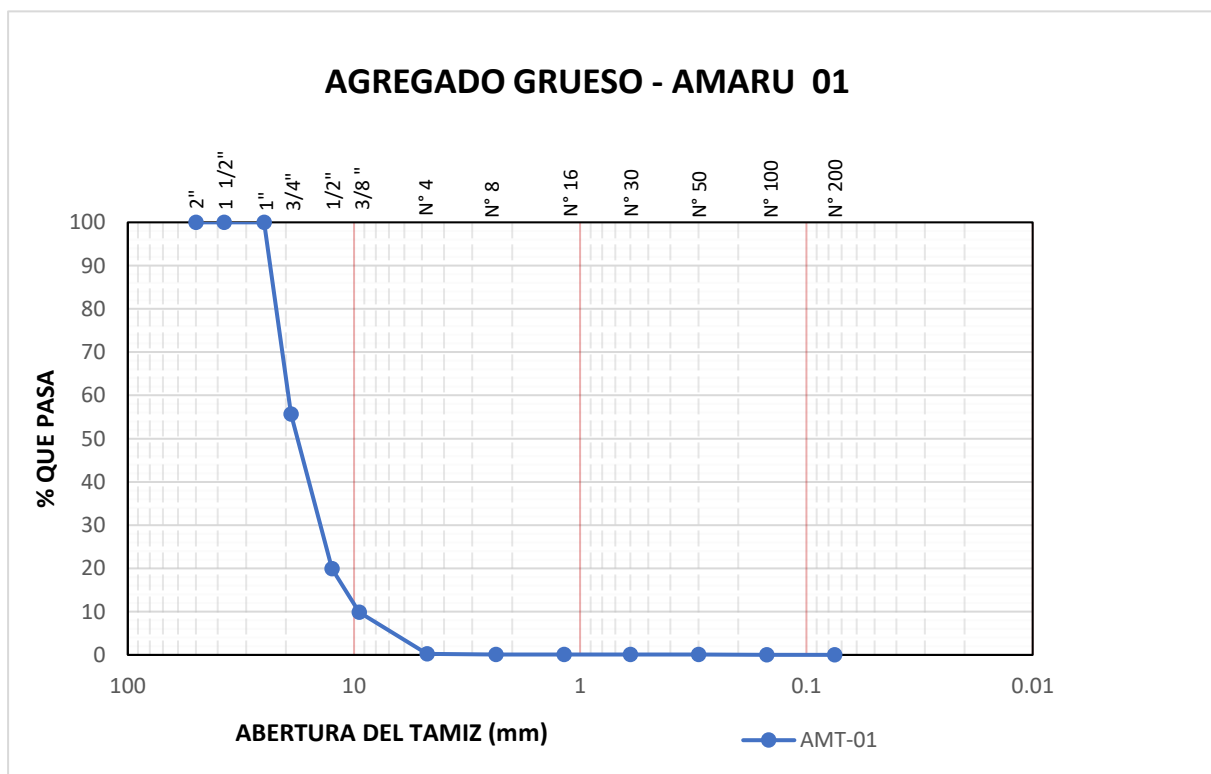
##### Gráfico granulométrico agregado fino



**MUESTRA 01 – AGREGADO GRUESO***Datos obtenidos en el laboratorio*

Peso de Muestra  
Seca = **5001.5 gr.**

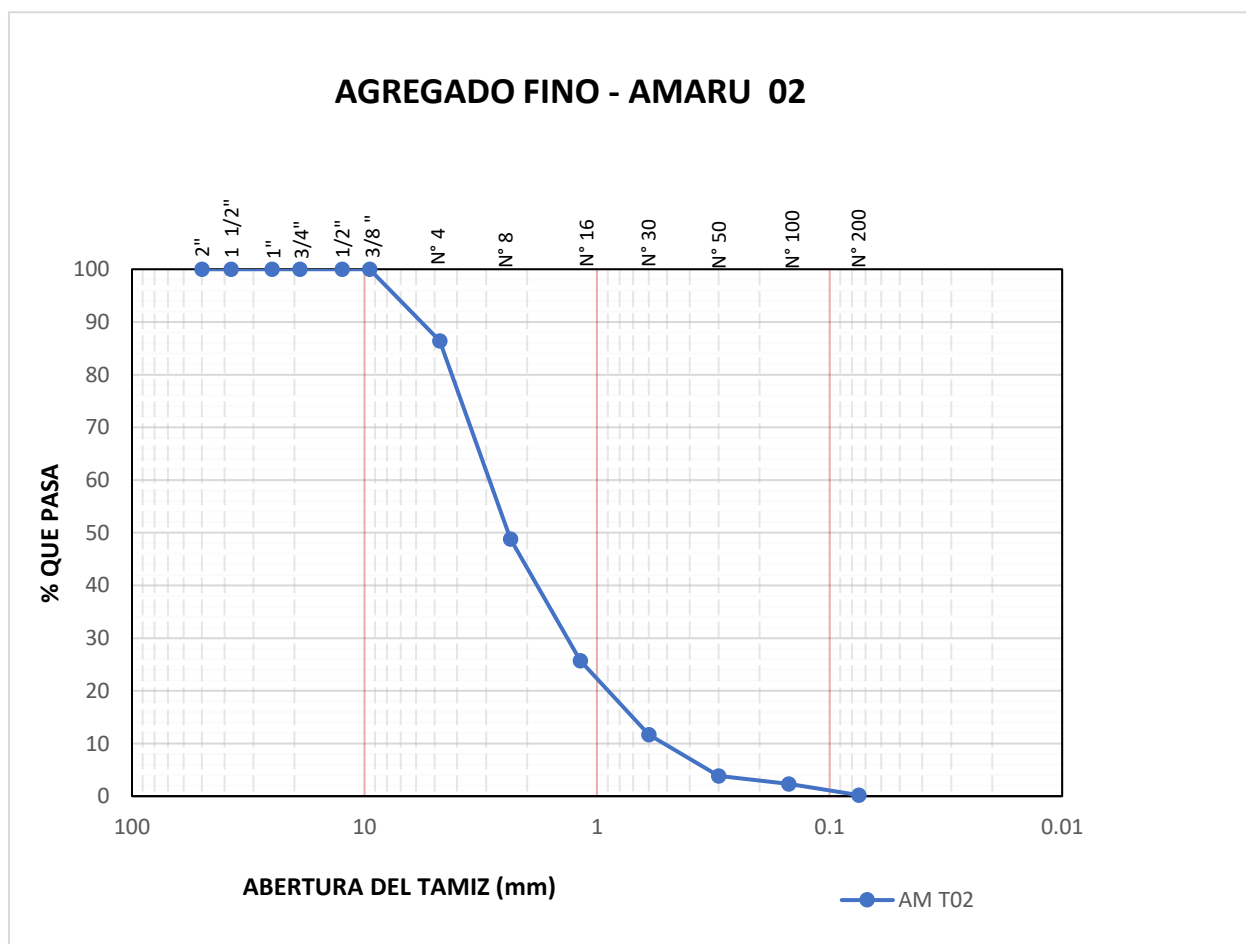
No. Tamiz	MALLA		Peso (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
	mm	mm <sup>0.45</sup>				
2"	50	5.9	0.00	0.00	0.00	100.00
1 ½"	37.5	5.0	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25	4.3	0.00	0.00	0.00	100.00
¾"	19	3.8	2217.03	44.33	44.33	55.67
½"	12.5	3.1	1788.62	35.76	80.09	19.91
⅜"	9.5	2.8	502.37	10.04	90.13	9.87
# 4	4.75	2.0	481.53	9.63	99.76	0.24
# 8	2.36	1.5	6.46	0.13	99.89	0.11
# 16	1.18	1.1	1.25	0.02	99.91	0.09
# 30	0.6	0.8	0.81	0.02	99.93	0.07
# 50	0.3	0.6	0.73	0.01	99.95	0.05
# 100	0.15	0.4	1.17	0.02	99.97	0.03
# 200	0.075	0.3	0.95	0.02	99.99	0.01
Pasa # 200	---	---	0.59	0.01	100.00	0.00

*Gráfico granulométrico agregado grueso*

**MUESTRA 02 – AGREGADO FINO***Datos obtenidos en el laboratorio*

Peso de Muestra  
Seca=1005.0 gr.

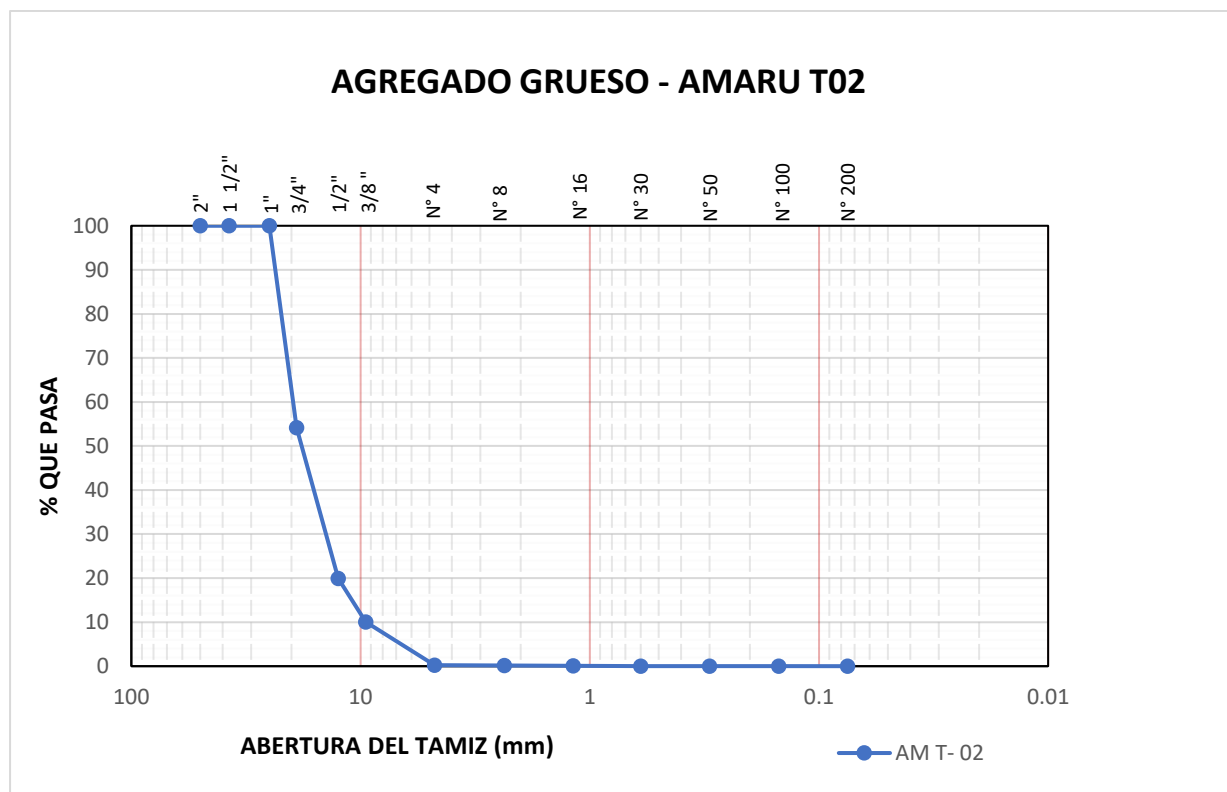
MALLA		Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
No. Tamiz	mm				
3/8"	2.8	0.00	0.00	0.00	100.00
# 4	2.0	136.82	13.61	13.61	86.39
# 8	1.5	377.48	37.56	51.17	48.83
# 16	1.1	232.25	23.11	74.28	25.72
# 30	0.8	141.12	14.04	88.33	11.67
# 50	0.6	78.58	7.82	96.14	3.86
# 100	0.4	15.40	1.53	97.68	2.32
# 200	0.3	21.23	2.11	99.79	0.21
Pasa # 200	---	2.11	0.21	100.00	0.00

*Gráfico granulométrico agregado fino*

**MUESTRA 02 – AGREGADO GRUESO***Datos obtenidos en el laboratorio*

Peso de Muestra  
Seca = **5003.4 gr.**

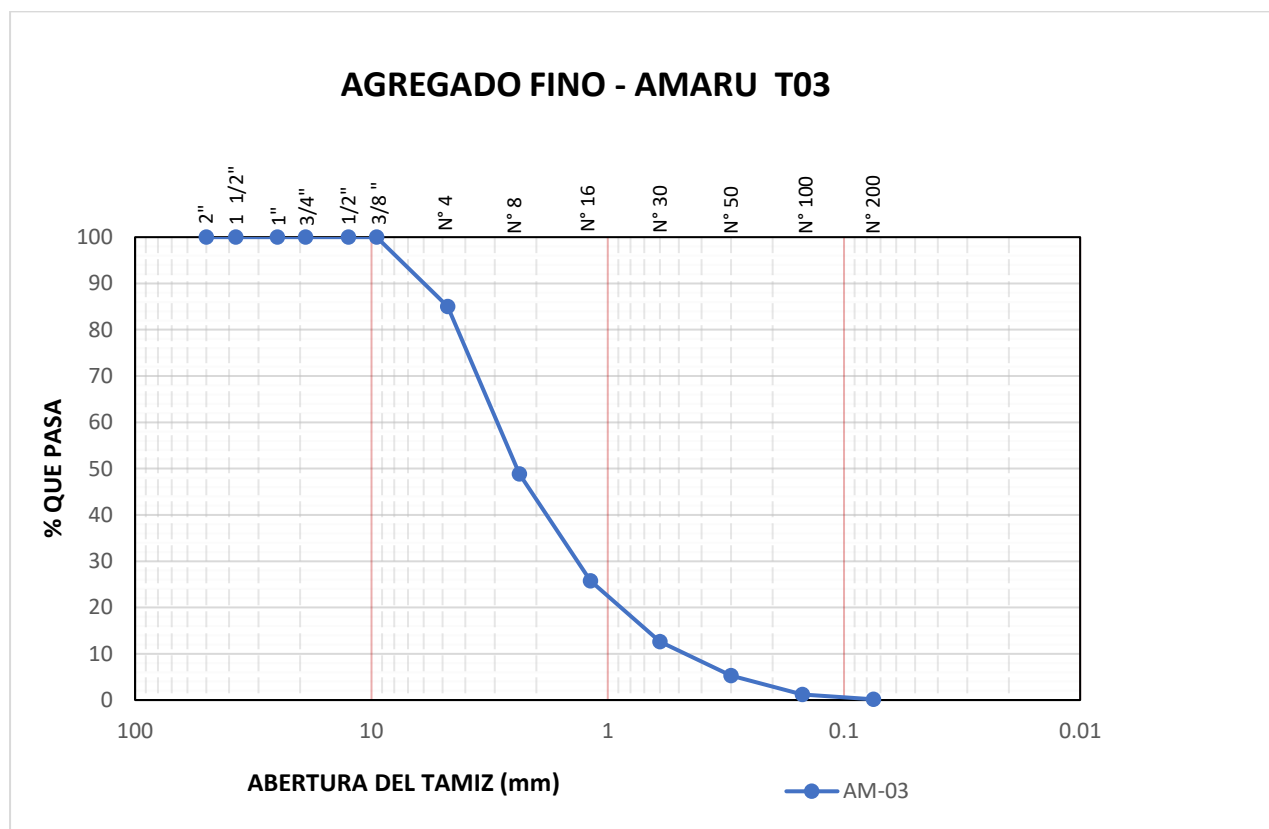
No. Tamiz	MALLA		Peso (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
	mm	mm <sup>0.45</sup>				
2"	50	5.9	0.00	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>
1 ½"	37.5	5.0	0.00	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>
1"	25	4.3	0.00	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>
¾"	19	3.8	2293.80	<b>45.84</b>	<b>45.84</b>	<b>54.16</b>
½"	12.5	3.1	1714.03	<b>34.26</b>	<b>80.10</b>	<b>19.90</b>
⅜"	9.5	2.8	494.48	<b>9.88</b>	<b>89.98</b>	<b>10.02</b>
# 4	4.75	2.0	487.89	<b>9.75</b>	<b>99.73</b>	<b>0.27</b>
# 8	2.36	1.5	6.44	<b>0.13</b>	<b>99.86</b>	<b>0.14</b>
# 16	1.18	1.1	0.69	<b>0.01</b>	<b>99.88</b>	<b>0.12</b>
# 30	0.6	0.8	4.21	<b>0.08</b>	<b>99.96</b>	<b>0.04</b>
# 50	0.3	0.6	0.38	<b>0.01</b>	<b>99.97</b>	<b>0.03</b>
# 100	0.15	0.4	0.61	<b>0.01</b>	<b>99.98</b>	<b>0.02</b>
# 200	0.075	0.3	0.50	<b>0.01</b>	<b>99.99</b>	<b>0.01</b>
Pasa # 200	---	---	0.46	<b>0.01</b>	<b>100.00</b>	<b>0.00</b>

*Gráfico granulométrico agregado grueso*

**MUESTRA 03 – AGREGADO FINO***Datos obtenidos en el laboratorio*

Peso de Muestra  
Seca=1000.10 gr.

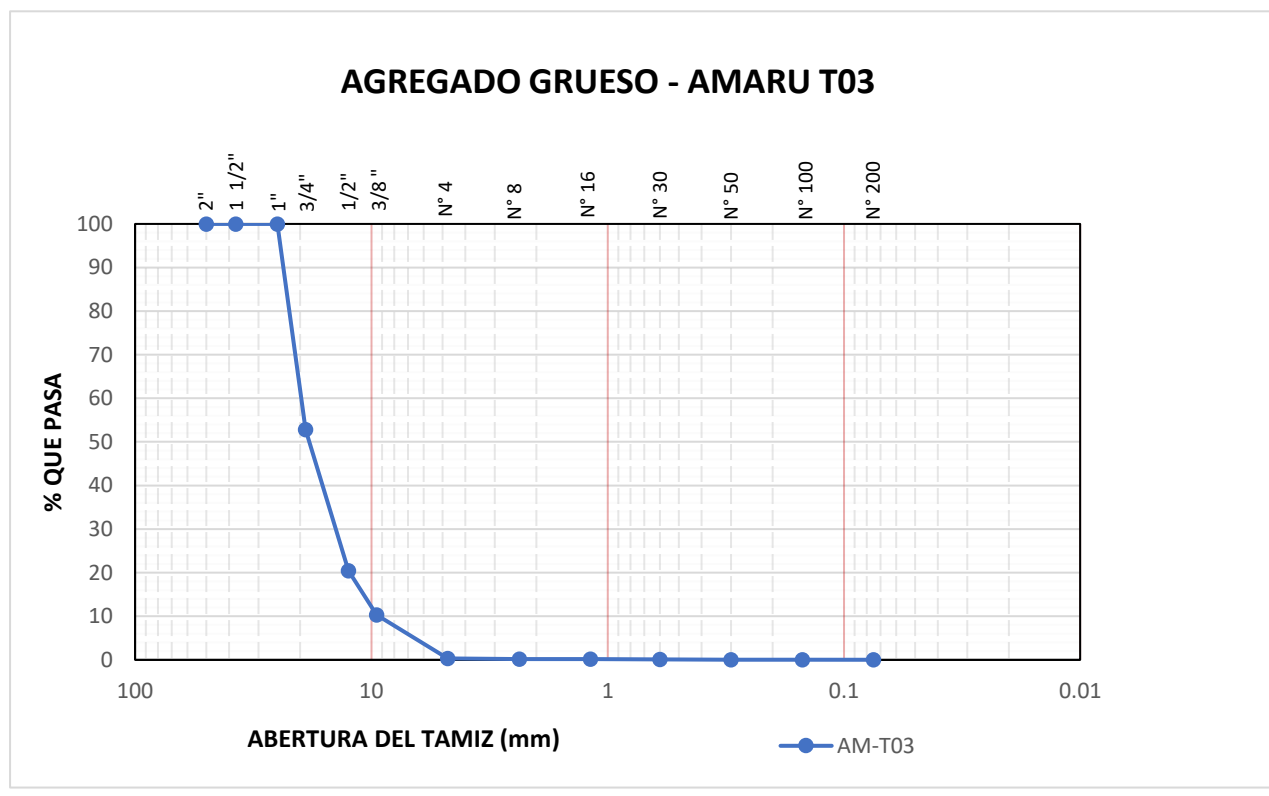
MALLA		Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
No. Tamiz	mm				
3/8"	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
# 4	136.82	149.64	14.96	14.96	85.04
# 8	377.48	362.10	36.21	51.17	48.83
# 16	232.25	230.76	23.07	74.24	25.76
# 30	141.12	131.67	13.17	87.41	12.59
# 50	78.58	73.21	7.32	94.73	5.27
# 100	15.40	40.97	4.10	98.83	1.17
# 200	21.23	10.10	1.01	99.84	0.16
Pasa # 200	2.11	1.64	0.16	100.00	0.00

*Gráfico granulométrico agregado fino*

**MUESTRA 03 – AGREGADO GRUESO***Datos obtenidos en el laboratorio*

Peso de Muestra  
Seca = **5010.2 gr.**

MALLA			Peso (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
No. Tamiz	mm	mm <sup>0.45</sup>				
2"	50	5.9	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.5	5.0	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25	4.3	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	3.8	2362.49	47.15	47.15	52.85
1/2"	12.5	3.1	1622.70	32.39	79.54	20.46
3/8"	9.5	2.8	506.56	10.11	89.65	10.35
# 4	4.75	2.0	501.06	10.00	99.65	0.35
# 8	2.36	1.5	7.18	0.14	99.80	0.20
# 16	1.18	1.1	0.92	0.02	99.81	0.19
# 30	0.6	0.8	4.96	0.10	99.91	0.09
# 50	0.3	0.6	0.92	0.02	99.93	0.07
# 100	0.15	0.4	1.31	0.03	99.96	0.04
# 200	0.075	0.3	1.04	0.02	99.98	0.02
Pasa # 200	---	---	1.07	0.02	100.00	0.00

*Gráfico granulométrico agregado grueso*

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO



*TESIS: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO  
VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO  
2024"*



Referencia Normativa: NTP 339.146 y MTC E 114

**CANTERA: CARMEN BONITA**

**FECHA: 18-10-2024**

**TIPO DE MATERIAL: ARENA TRITURADA Y PIEDRA CHANCADA**

**LUGAR: LABORATORIO EPIC UNSAAC**

**RESPONSABLES:** Bach. Rodriguez Suri, Eduat

Bach. Zuñiga Orcohuarancca Jean Jaret

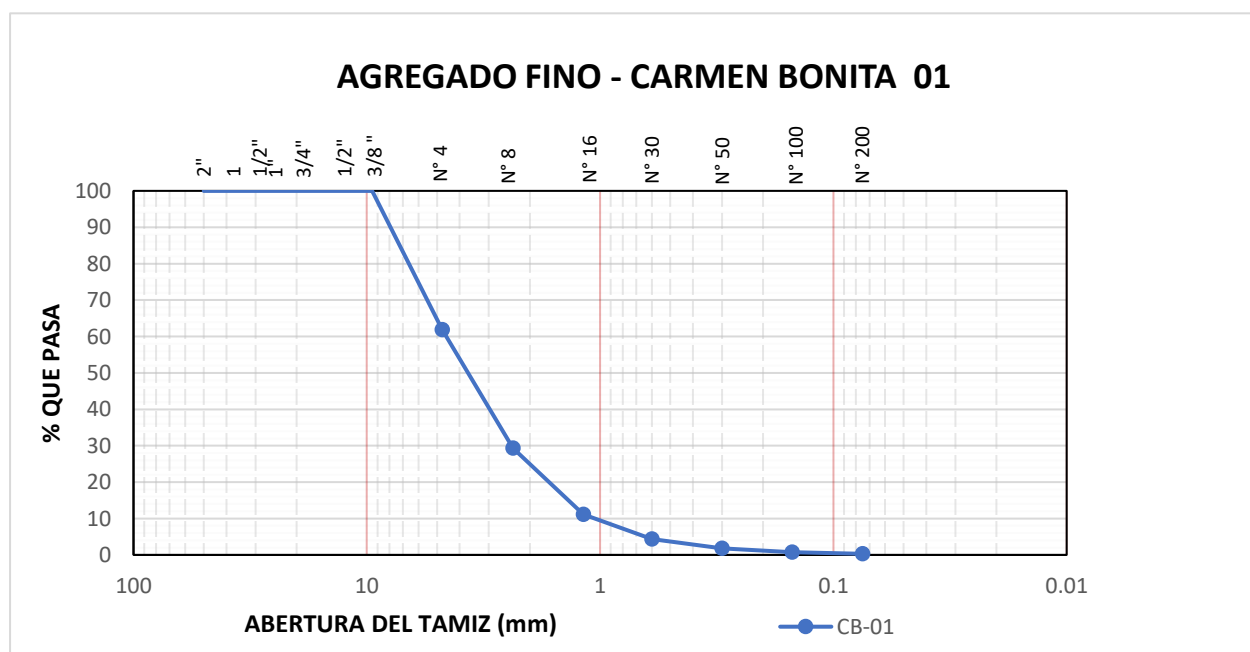
### MUESTRA 01 – AGREGADO FINO

#### *Datos obtenidos en el laboratorio*

Peso de Muestra  
Seca=1098.63 gr.

MALLA		Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
No. Tamiz	mm				
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00
# 4	4.75	418.84	38.12	38.12	61.88
# 8	2.36	357.41	32.53	70.66	29.34
# 16	1.18	200.57	18.26	88.91	11.09
# 30	0.6	74.10	6.74	95.66	4.34
# 50	0.3	27.92	2.54	98.20	1.80
# 100	0.15	11.51	1.05	99.25	0.75
# 200	0.075	4.98	0.45	99.70	0.30
Pasa # 200	---	3.30	0.30	100.00	0.00

#### *Gráfico granulométrico agregado fino*

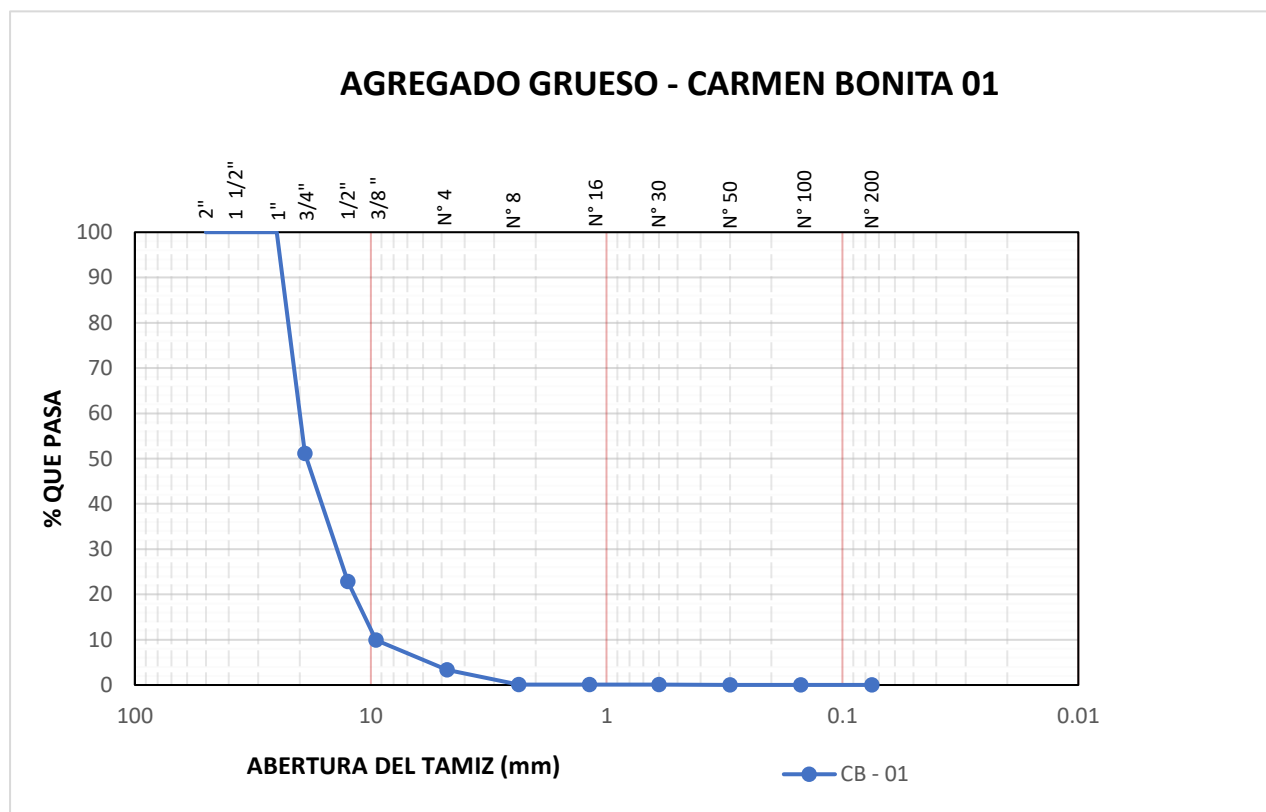




**MUESTRA 01 – AGREGADO GRUESO***Datos obtenidos en el laboratorio*

Peso de Muestra  
Seca = **5008.2 gr.**

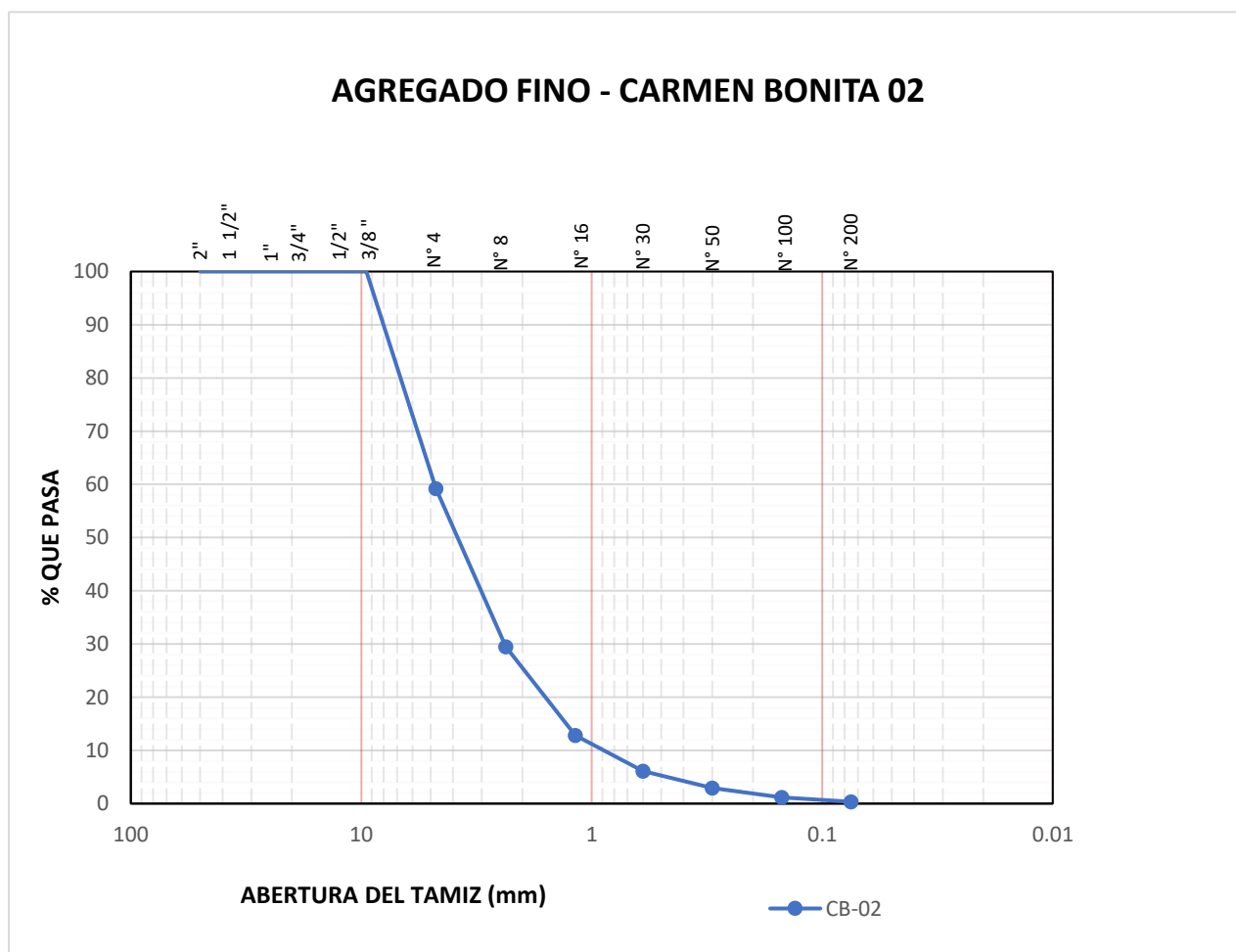
MALLA			Peso (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
No. Tamiz	mm	mm <sup>0.45</sup>				
2"	50	5.9	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.5	5.0	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25	4.3	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	3.8	2446.12	48.84	48.84	51.16
1/2"	12.5	3.1	1417.70	28.31	77.15	22.85
3/8"	9.5	2.8	646.71	12.91	90.06	9.94
# 4	4.75	2.0	330.22	6.59	96.66	3.34
# 8	2.36	1.5	162.54	3.25	99.90	0.10
# 16	1.18	1.1	0.74	0.01	99.92	0.08
# 30	0.6	0.8	0.96	0.02	99.94	0.06
# 50	0.3	0.6	0.74	0.01	99.95	0.05
# 100	0.15	0.4	0.75	0.01	99.97	0.03
# 200	0.075	0.3	0.86	0.02	99.98	0.02
Pasa # 200	---	---	0.89	0.02	100.00	0.00

*Gráfico granulométrico agregado grueso*

**MUESTRA 02 – AGREGADO FINO***Datos obtenidos en el laboratorio*

Peso de Muestra  
Seca=1045.71 gr.

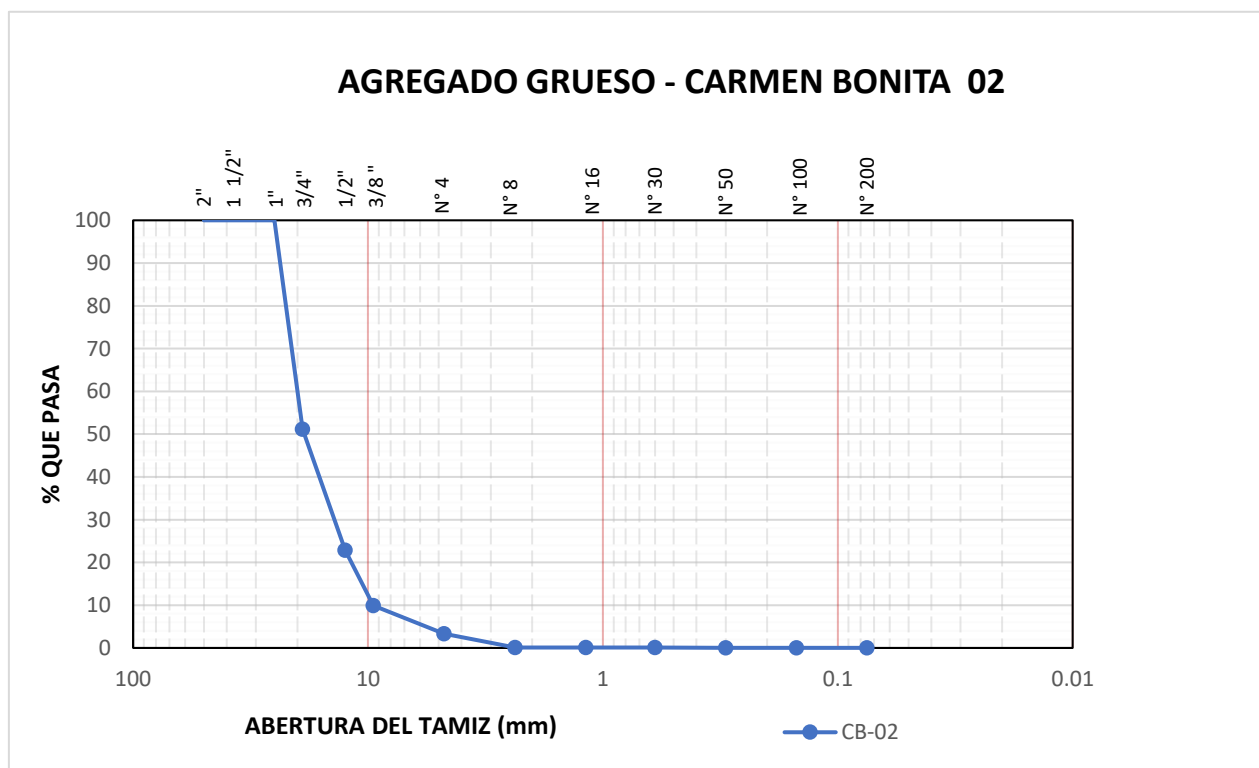
MALLA		Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
No. Tamiz	mm				
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00
# 4	4.75	426.81	40.82	40.82	59.18
# 8	2.36	310.76	29.72	70.53	29.47
# 16	1.18	173.95	16.63	87.17	12.83
# 30	0.6	70.53	6.74	93.91	6.09
# 50	0.3	33.31	3.19	97.10	2.90
# 100	0.15	18.45	1.76	98.86	1.14
# 200	0.075	8.19	0.78	99.65	0.35
Pasa # 200	---	3.71	0.35	100.00	0.00

*Gráfico granulométrico agregado fino*

**MUESTRA 02 – AGREGADO GRUESO***Datos obtenidos en el laboratorio*

Peso de Muestra  
Seca = **5002.90 gr.**

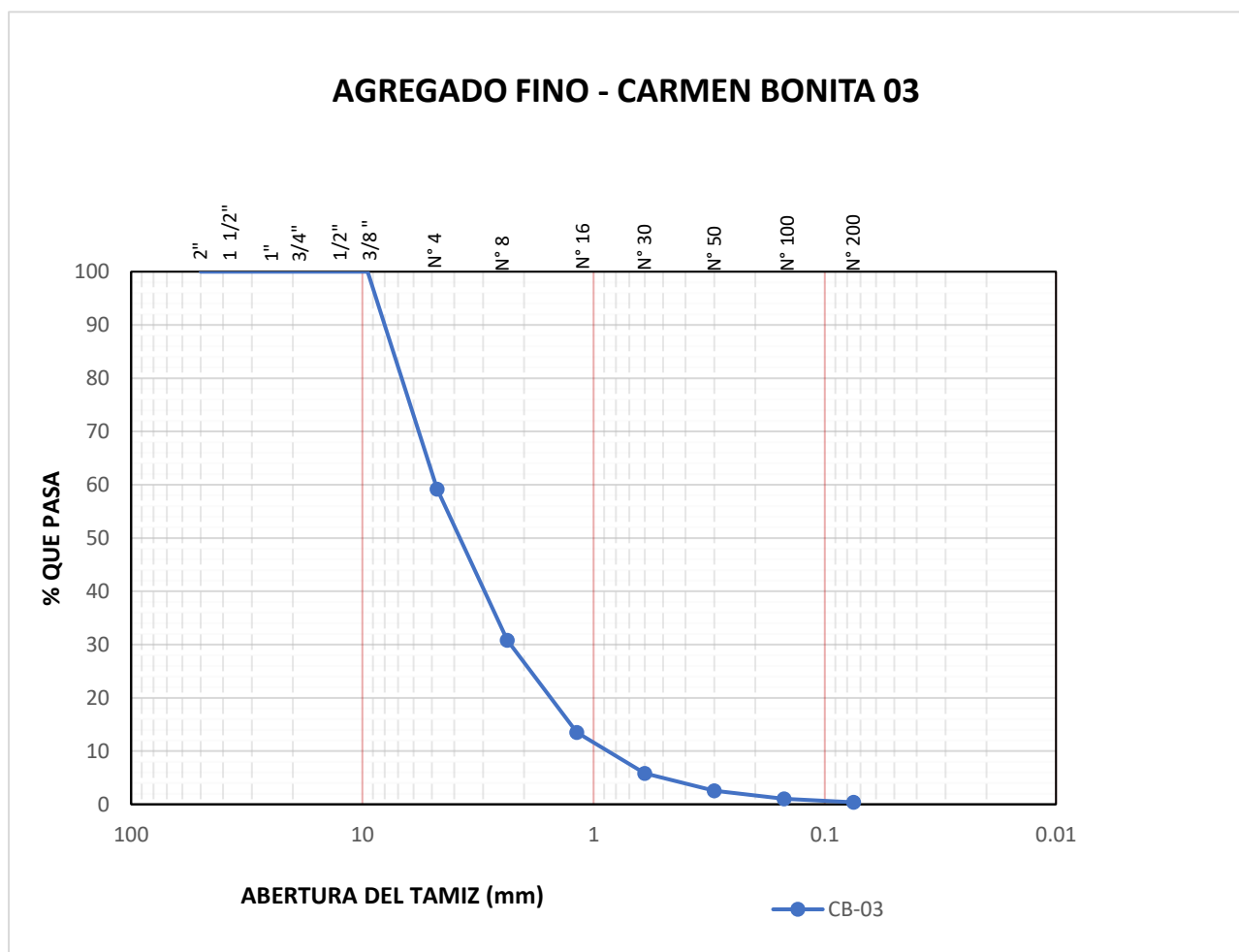
MALLA			Peso (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
No. Tamiz	mm	mm <sup>0.45</sup>				
2"	50	5.9	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.5	5.0	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25	4.3	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	3.8	2443.52	48.84	48.84	51.16
1/2"	12.5	3.1	1416.19	28.31	77.15	22.85
3/8"	9.5	2.8	646.02	12.91	90.06	9.94
# 4	4.75	2.0	329.87	6.59	96.66	3.34
# 8	2.36	1.5	162.37	3.25	99.90	0.10
# 16	1.18	1.1	0.74	0.01	99.92	0.08
# 30	0.6	0.8	0.96	0.02	99.94	0.06
# 50	0.3	0.6	0.74	0.01	99.95	0.05
# 100	0.15	0.4	0.75	0.01	99.97	0.04
# 200	0.075	0.3	0.86	0.02	99.98	0.02
Pasa # 200	---	---	0.89	0.02	100.00	0.00

*Gráfico granulométrico agregado grueso*

**MUESTRA 03 – AGREGADO FINO***Datos obtenidos en el laboratorio*

Peso de Muestra  
Seca=**1078.41 gr.**

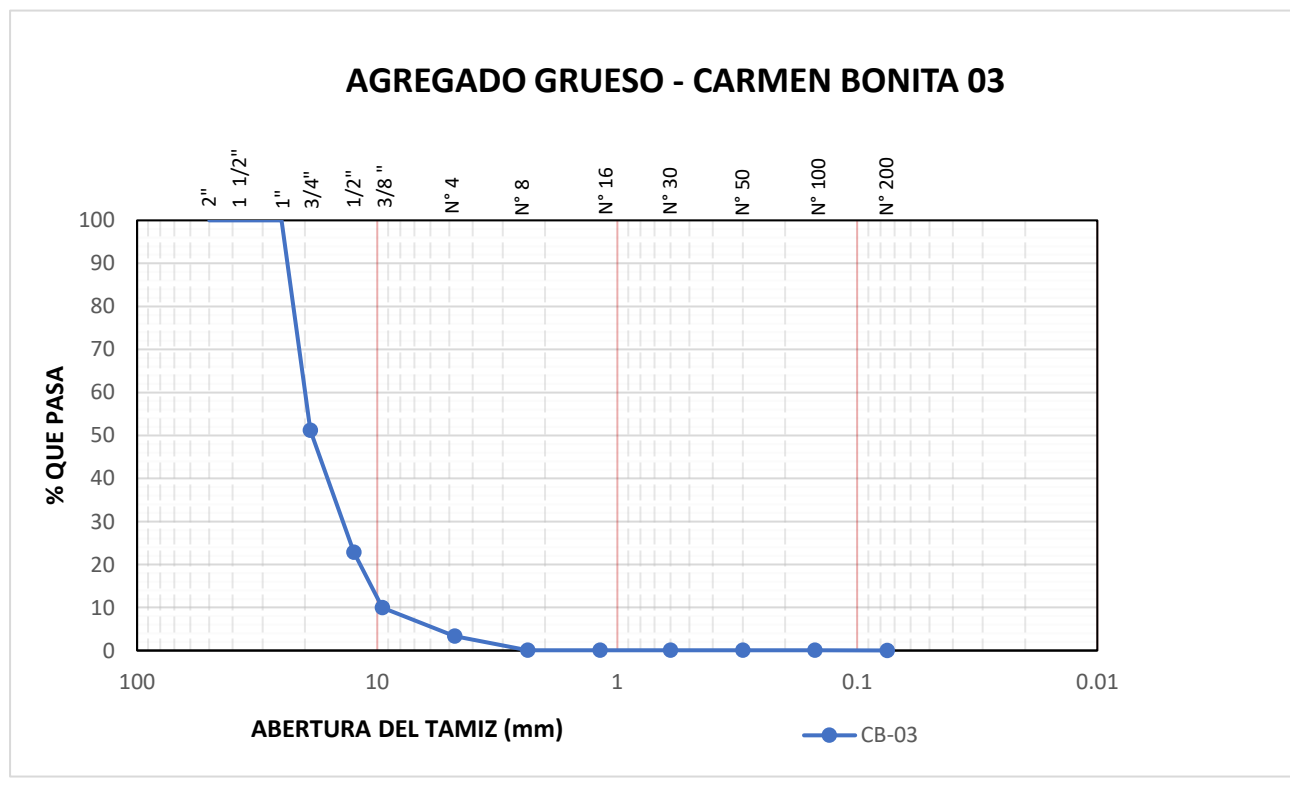
MALLA		Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
No. Tamiz	mm				
3/8"	9.5	0.00	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>
# 4	4.75	440.14	<b>40.81</b>	<b>40.81</b>	<b>59.19</b>
# 8	2.36	305.91	<b>28.37</b>	<b>69.18</b>	<b>30.82</b>
# 16	1.18	186.83	<b>17.32</b>	<b>86.51</b>	<b>13.49</b>
# 30	0.6	82.85	<b>7.68</b>	<b>94.19</b>	<b>5.81</b>
# 50	0.3	35.14	<b>3.26</b>	<b>97.45</b>	<b>2.55</b>
# 100	0.15	16.07	<b>1.49</b>	<b>98.94</b>	<b>1.06</b>
# 200	0.075	7.30	<b>0.68</b>	<b>99.61</b>	<b>0.39</b>
Pasa # 200	---	4.17	<b>0.39</b>	<b>100.00</b>	<b>0.00</b>

*Gráfico granulométrico agregado fino*

**MUESTRA 03 – AGREGADO GRUESO***Datos obtenidos en el laboratorio*

Peso de Muestra  
Seca = **5004.80 gr.**

MALLA			Peso (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
No. Tamiz	mm	mm <sup>0.45</sup>				
2"	50	5.9	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>
1 ½"	37.5	5.0	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>
1"	25	4.3	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>
¾"	19	3.8	<b>2444.45</b>	<b>48.84</b>	<b>48.84</b>	<b>51.16</b>
½"	12.5	3.1	<b>1416.73</b>	<b>28.31</b>	<b>77.15</b>	<b>22.85</b>
⅜"	9.5	2.8	<b>646.27</b>	<b>12.91</b>	<b>90.06</b>	<b>9.94</b>
# 4	4.75	2.0	<b>329.99</b>	<b>6.59</b>	<b>96.66</b>	<b>3.34</b>
# 8	2.36	1.5	<b>162.43</b>	<b>3.25</b>	<b>99.90</b>	<b>0.10</b>
# 16	1.18	1.1	<b>0.74</b>	<b>0.01</b>	<b>99.92</b>	<b>0.08</b>
# 30	0.6	0.8	<b>0.96</b>	<b>0.02</b>	<b>99.94</b>	<b>0.06</b>
# 50	0.3	0.6	<b>0.74</b>	<b>0.01</b>	<b>99.95</b>	<b>0.05</b>
# 100	0.15	0.4	<b>0.75</b>	<b>0.01</b>	<b>99.97</b>	<b>0.03</b>
# 200	0.075	0.3	<b>0.86</b>	<b>0.02</b>	<b>99.98</b>	<b>0.02</b>
Pasa # 200	---	---	<b>0.89</b>	<b>0.02</b>	<b>100.00</b>	<b>0.00</b>

*Gráfico granulométrico agregado grueso*

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO



TESIS: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO  
VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO  
2024"



Referencia Normativa: NTP 339.146 y MTC E 114

**CANTERA: VICHO**

**FECHA: 18-10-2024**

**TIPO DE MATERIAL: ARENA TRITURADA Y PIEDRA CHANCADA**

**LUGAR: LABORATORIO EPIC UNSAAC**

**RESPONSABLES:** Bach. Rodriguez Suri, Edu

Bach. Zuñiga Orcohuarancca Jean Jaret

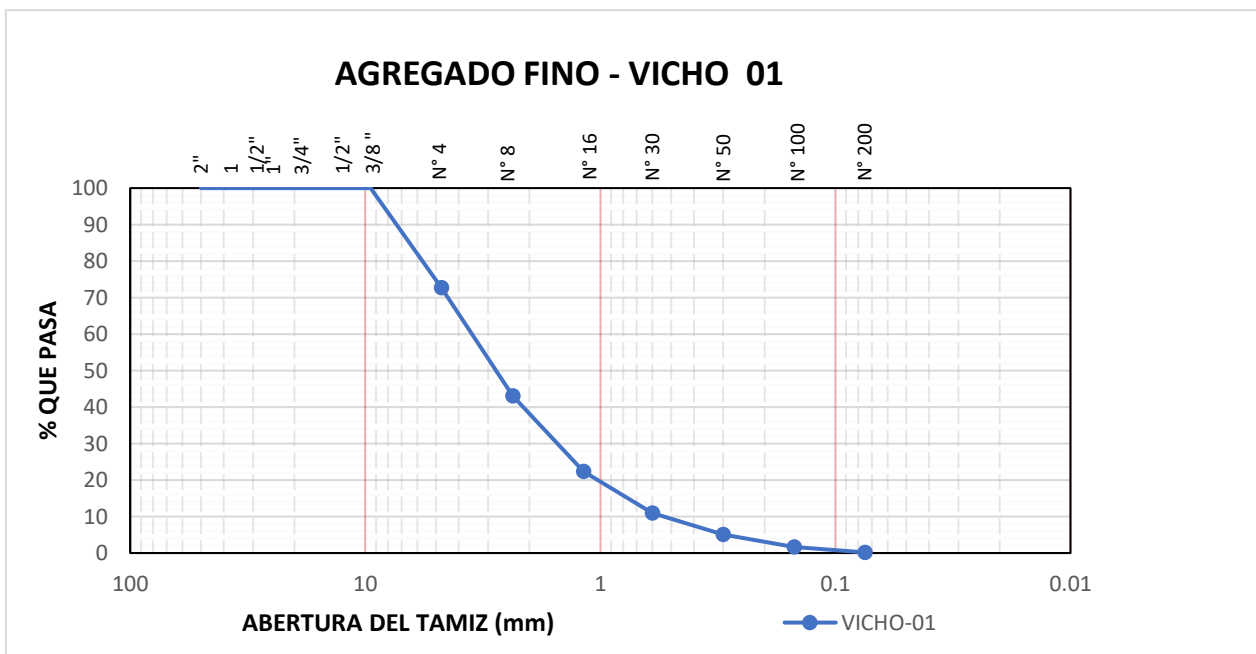
#### MUESTRA 01 – AGREGADO FINO

*Datos obtenidos en el laboratorio*

Peso de Muestra  
Seca=1019.31 gr.

MALLA		Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
No. Tamiz	mm				
3/8"	9.5	0	0.00	0.00	100.00
# 4	4.75	278.28	27.30	27.30	72.70
# 8	2.36	302.27	29.65	56.96	43.04
# 16	1.18	211.09	20.71	77.66	22.34
# 30	0.6	115.96	11.38	89.04	10.96
# 50	0.3	59.83	5.87	94.91	5.09
# 100	0.15	35.30	3.46	98.37	1.63
# 200	0.075	14.71	1.44	99.82	0.18
Pasa # 200	---	1.87	0.18	100.00	0.00

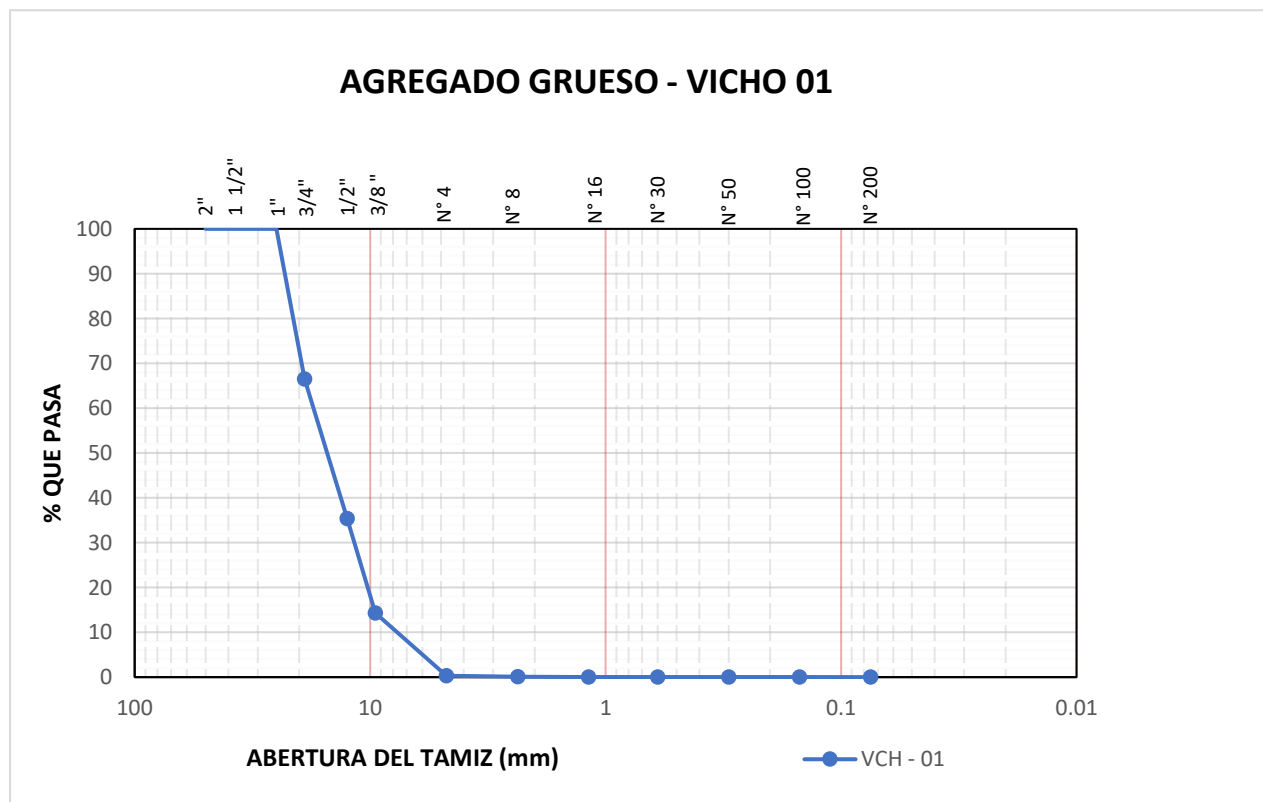
*Gráfico granulométrico agregado fino*



**MUESTRA 01 – AGREGADO GRUESO***Datos obtenidos en el laboratorio*

Peso de Muestra  
Seca = **5010.43 gr.**

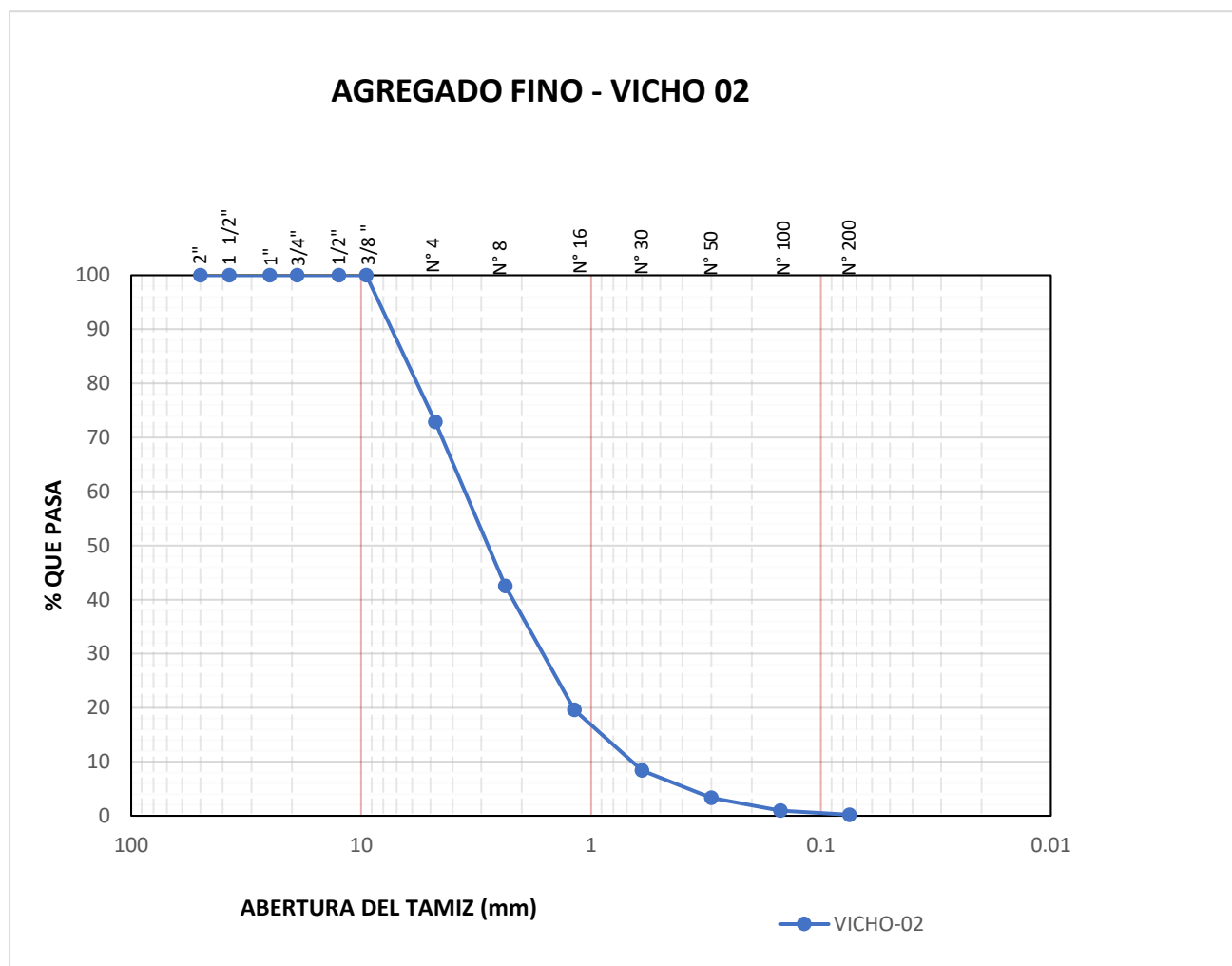
MALLA			Peso (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
No. Tamiz	mm	mm <sup>0.45</sup>				
2"	50	5.9	0.00	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>
1 1/2"	37.5	5.0	0.00	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>
1"	25	4.3	0.00	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>
3/4"	19	3.8	1679.74	<b>33.52</b>	<b>33.52</b>	<b>66.48</b>
1/2"	12.5	3.1	1557.24	<b>31.08</b>	<b>64.60</b>	<b>35.40</b>
3/8"	9.5	2.8	1055.59	<b>21.07</b>	<b>85.67</b>	<b>14.33</b>
# 4	4.75	2.0	703.61	<b>14.04</b>	<b>99.72</b>	<b>0.28</b>
# 8	2.36	1.5	10.52	<b>0.21</b>	<b>99.93</b>	<b>0.07</b>
# 16	1.18	1.1	1.00	<b>0.02</b>	<b>99.95</b>	<b>0.05</b>
# 30	0.6	0.8	0.87	<b>0.02</b>	<b>99.96</b>	<b>0.04</b>
# 50	0.3	0.6	0.73	<b>0.01</b>	<b>99.98</b>	<b>0.02</b>
# 100	0.15	0.4	0.60	<b>0.01</b>	<b>99.99</b>	<b>0.01</b>
# 200	0.075	0.3	0.33	<b>0.01</b>	<b>100.00</b>	<b>0.00</b>
Pasa # 200	---	---	0.20	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>	<b>0.00</b>

*Gráfico granulométrico agregado grueso*

**MUESTRA 02 – AGREGADO FINO***Datos obtenidos en el laboratorio*

Peso de Muestra  
Seca=**1017.29 gr.**

MALLA		Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
No. Tamiz	mm				
3/8"	9.5	0	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>
# 4	4.75	276.26	<b>27.16</b>	<b>27.16</b>	<b>72.84</b>
# 8	2.36	308.70	<b>30.35</b>	<b>57.50</b>	<b>42.50</b>
# 16	1.18	232.98	<b>22.90</b>	<b>80.40</b>	<b>19.60</b>
# 30	0.6	113.95	<b>11.20</b>	<b>91.61</b>	<b>8.39</b>
# 50	0.3	51.43	<b>5.06</b>	<b>96.66</b>	<b>3.34</b>
# 100	0.15	24.16	<b>2.37</b>	<b>99.04</b>	<b>0.96</b>
# 200	0.075	7.86	<b>0.77</b>	<b>99.81</b>	<b>0.19</b>
Pasa # 200	---	1.95	<b>0.19</b>	<b>100.00</b>	<b>0.00</b>

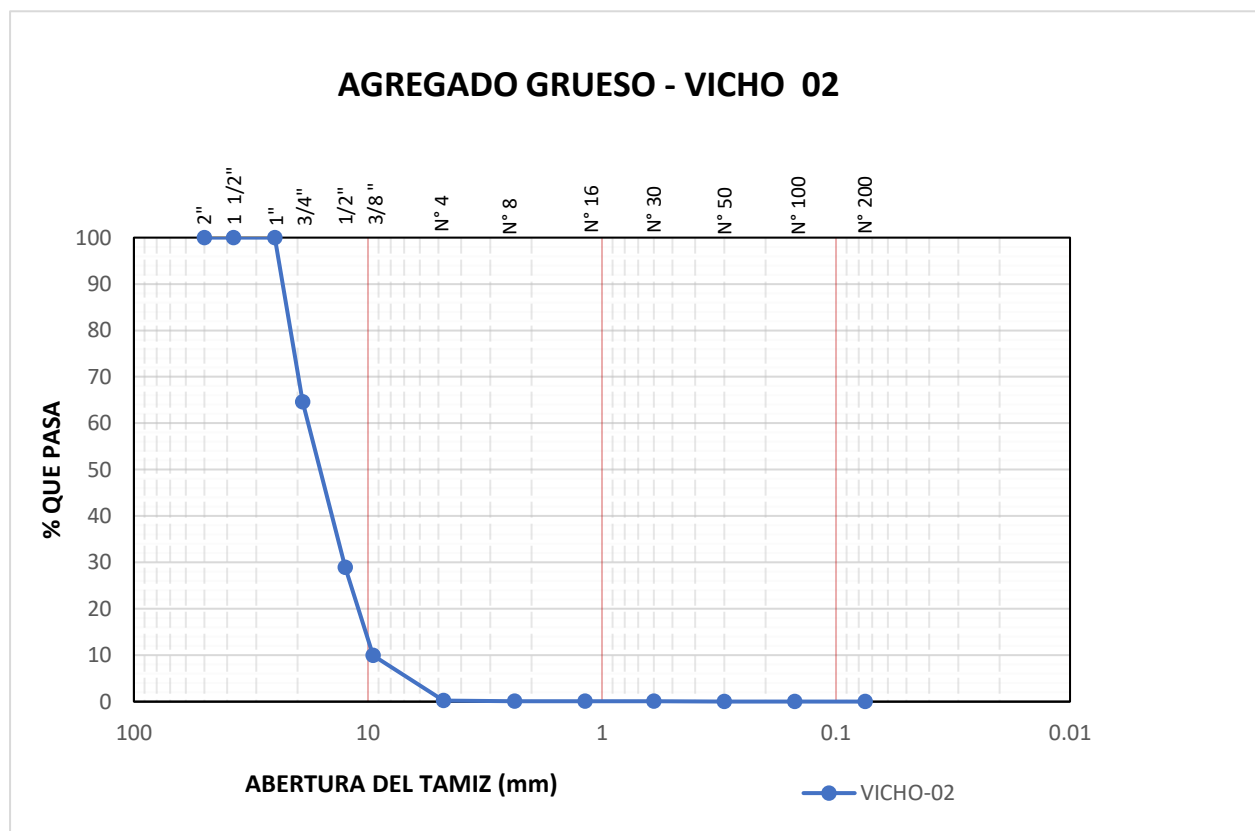
*Gráfico granulométrico agregado fino*



**MUESTRA 02 – AGREGADO GRUESO***Datos obtenidos en el laboratorio*

Peso de Muestra  
Seca = **5010.45 gr.**

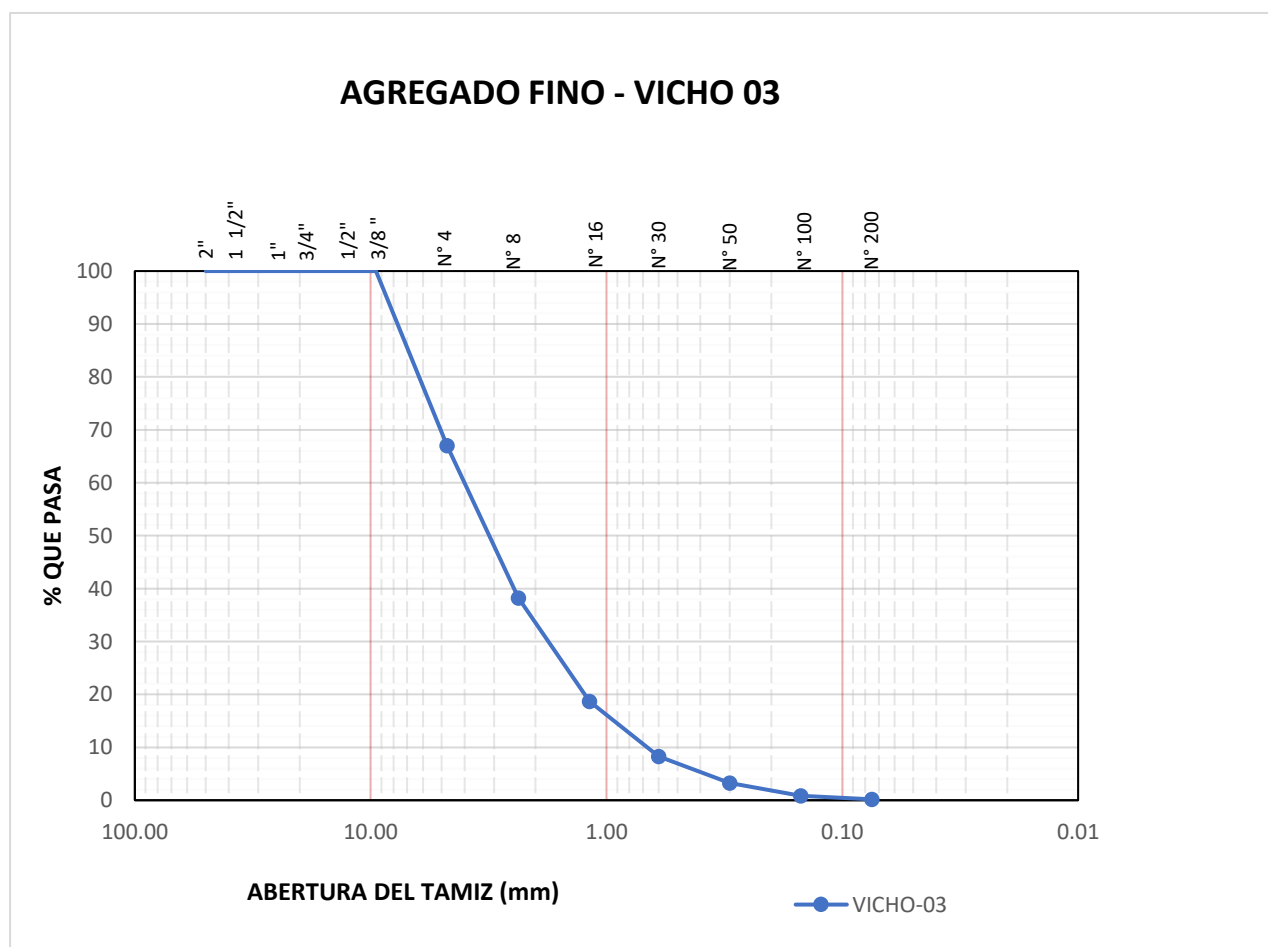
No. Tamiz	MALLA		Peso (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
	mm	mm <sup>0.45</sup>				
2"	50	5.9	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.5	5.0	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25	4.3	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	3.8	1772.93	35.38	35.38	64.62
1/2"	12.5	3.1	1787.05	35.67	71.05	28.95
3/8"	9.5	2.8	951.23	18.98	90.04	9.96
# 4	4.75	2.0	487.85	9.74	99.77	0.23
# 8	2.36	1.5	6.58	0.13	99.90	0.10
# 16	1.18	1.1	1.05	0.02	99.92	0.08
# 30	0.6	0.8	1.01	0.02	99.94	0.06
# 50	0.3	0.6	0.87	0.02	99.96	0.04
# 100	0.15	0.4	0.73	0.01	99.98	0.02
# 200	0.075	0.3	0.64	0.01	99.99	0.01
Pasa # 200	---	---	0.53	0.01	100.00	0.00

*Gráfico granulométrico agregado grueso*

**MUESTRA 03 – AGREGADO FINO***Datos obtenidos en el laboratorio*

Peso de Muestra  
Seca=1022.34 gr.

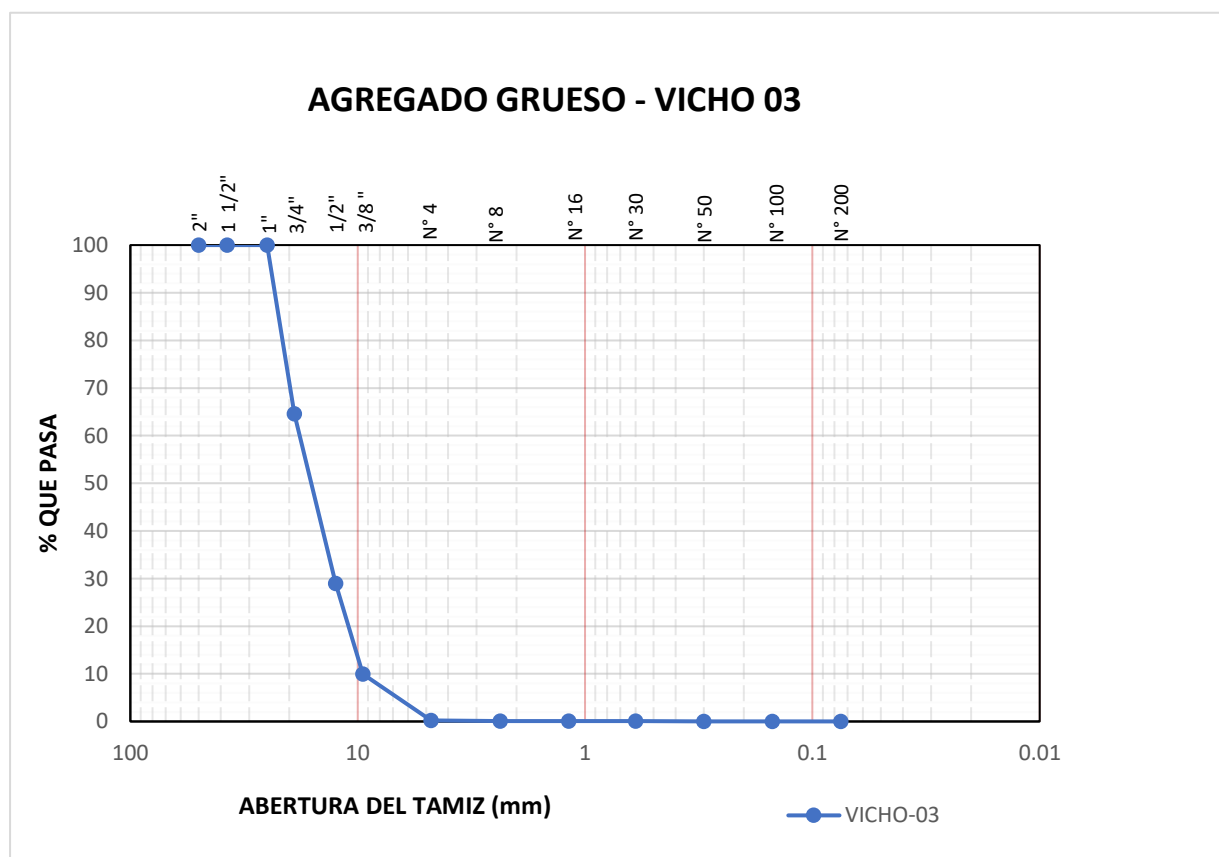
MALLA		Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
No. Tamiz	mm				
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00
# 4	4.75	337.34	33.00	33.00	67.00
# 8	2.36	294.48	28.80	61.80	38.20
# 16	1.18	199.45	19.51	81.31	18.69
# 30	0.6	106.56	10.42	91.73	8.27
# 50	0.3	51.46	5.03	96.77	3.23
# 100	0.15	24.20	2.37	99.13	0.87
# 200	0.075	7.06	0.69	99.82	0.18
Pasa # 200	---	1.80	0.18	100.00	0.00

*Gráfico granulométrico agregado fino*

**MUESTRA 03 – AGREGADO GRUESO***Datos obtenidos en el laboratorio*

Peso de Muestra  
Seca = **5031.3 gr.**

MALLA			Peso (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
No. Tamiz	mm	mm <sup>0.45</sup>				
2"	50	5.9	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.5	5.0	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25	4.3	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	3.8	1570.86	31.22	31.22	68.78
1/2"	12.5	3.1	1538.79	30.58	61.81	38.19
3/8"	9.5	2.8	989.45	19.67	81.47	18.53
# 4	4.75	2.0	917.63	18.24	99.71	0.29
# 8	2.36	1.5	7.87	0.16	99.87	0.13
# 16	1.18	1.1	2.55	0.05	99.92	0.08
# 30	0.6	0.8	1.82	0.04	99.95	0.05
# 50	0.3	0.6	1.02	0.02	99.97	0.03
# 100	0.15	0.4	0.80	0.02	99.99	0.01
# 200	0.075	0.3	0.44	0.01	100.00	0.00
Pasa # 200	---	---	0.07	0.00	100.00	0.00

*Gráfico granulométrico agregado grueso*

# GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS



TESIS: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO  
VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO  
2024"



Referencia Normativa: NTP 400.022 y MTC E 205

**CANTERA: AMARU SAN SALVADOR**

**FECHA: 10-10-2024**

**TIPO DE MATERIAL: ARENA TRITURADA**

**LUGAR: LABORATORIO EPIC UNSAAC**

**RESPONSABLES:** Bach. Rodriguez Suri, Edut

Bach. Zuñiga Orcohuarancca Jean Jaret

## MUESTRA 01

DESCRIPCION	MUESTRA 01
MASA DE MATERIAL SAT. SUP. SECA (gr)	499.92
PESO DEL MATRAZ (gr)	180.00
MASA DEL MATERIAL + MASA DEL MATRAZ (gr)	679.92
PESO DE MATERIAL + MATRAZ + AGUA (gr)	990.68
MASA DEL AGUA (gr)	189.16
MASA DEL MATERIAL SECO (gr)	493.70
P.E. BULK (BASE SECA) (gr/cm <sup>3</sup> )	500.00
P.E. BULK (BASE SATURADA) (gr/cm <sup>3</sup> )	2.61
P.E. APARENTE (BASE SECA) (gr/cm <sup>3</sup> )	2.64
% DE ABSORCION	2.70

## MUESTRA 02



DESCRIPCION	MUESTRA 02
MASA DE MATERIAL SAT. SUP. SECA (gr)	495.83
PESO DEL MATRAZ (gr)	180.00
MASA DEL MATERIAL + MASA DEL MATRAZ (gr)	675.83
PESO DE MATERIAL + MATRAZ + AGUA (gr)	989.79
MASA DEL AGUA (gr)	186.03
MASA DEL MATERIAL SECO (gr)	489.27
P.E. BULK (BASE SECA) (gr/cm <sup>3</sup> )	500.00
P.E. BULK (BASE SATURADA) (gr/cm <sup>3</sup> )	2.63
P.E. APARENTE (BASE SECA) (gr/cm <sup>3</sup> )	2.67
% DE ABSORCION	2.73

DESCRIPCION	PROMEDIO
P.E. BULK	2.63
P.E. BULK	2.66
P.E. APARENTE	2.72
% DE ABSORCION	1.30%

## MUESTRA 03

DESCRIPCION	MUESTRA 03
MASA DE MATERIAL SAT. SUP. SECA (gr)	491.58
PESO DEL MATRAZ (gr)	180.00
MASA DEL MATERIAL + MASA DEL MATRAZ (gr)	671.58
PESO DE MATERIAL + MATRAZ + AGUA (gr)	987.78
MASA DEL AGUA (gr)	183.79
MASA DEL MATERIAL SECO (gr)	485.22
P.E. BULK (BASE SECA) (gr/cm <sup>3</sup> )	500.00
P.E. BULK (BASE SATURADA) (gr/cm <sup>3</sup> )	2.64
P.E. APARENTE (BASE SECA) (gr/cm <sup>3</sup> )	2.67
% DE ABSORCION	2.73

# GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS

	<p>TESIS: “EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024”</p>	
---	---	---

Referencia Normativa: NTP 400.022 y MTC E 205

**CANTERA: VICHO SAN SALVADOR**

**FECHA: 10-10-2024**

**TIPO DE MATERIAL: ARENA TRITURADA**

**LUGAR: LABORATORIO EPIC UNSAAC**

**RESPONSABLES:** Bach. Rodriguez Suri, Edut

Bach. Zuñiga Orcocohuaranca Jean Jaret

## MUESTRA 01

DESCRIPCION	MUESTRA 01
MASA DE MATERIAL SAT. SUP. SECA (gr)	468.14
PESO DEL MATRAZ (gr)	180.00
MASA DEL MATERIAL + MASA DEL MATRAZ (gr)	648.14
PESO DE MATERIAL + MATRAZ + AGUA (gr)	946.94
MASA DEL AGUA (gr)	201.20
MASA DEL MATERIAL SECO (gr)	458.74
P.E. BULK (BASE SECA) (gr/cm <sup>3</sup> )	500.00
P.E. BULK (BASE SATURADA) (gr/cm <sup>3</sup> )	2.28
P.E. APARENTE (BASE SECA) (gr/cm <sup>3</sup> )	2.33
% DE ABSORCION	2.39

## MUESTRA 02



DESCRIPCION	MUESTRA 02
MASA DE MATERIAL SAT. SUP. SECA (gr)	467.61
PESO DEL MATRAZ (gr)	180.00
MASA DEL MATERIAL + MASA DEL MATRAZ (gr)	647.61
PESO DE MATERIAL + MATRAZ + AGUA (gr)	964.87
MASA DEL AGUA (gr)	182.73
MASA DEL MATERIAL SECO (gr)	458.67
P.E. BULK (BASE SECA) (gr/cm <sup>3</sup> )	500.00
P.E. BULK (BASE SATURADA) (gr/cm <sup>3</sup> )	2.51
P.E. APARENTE (BASE SECA) (gr/cm <sup>3</sup> )	2.56
% DE ABSORCION	2.64

DESCRIPCION	PROMEDIO
P.E. BULK	2.31
P.E. BULK	2.36
P.E. APARENTE	2.43
% DE ABSORCION	2.09%

## MUESTRA 03

DESCRIPCION	MUESTRA 03
MASA DE MATERIAL SAT. SUP. SECA (gr)	444.34
PESO DEL MATRAZ (gr)	180.00
MASA DEL MATERIAL + MASA DEL MATRAZ (gr)	624.34
PESO DE MATERIAL + MATRAZ + AGUA (gr)	922.24
MASA DEL AGUA (gr)	202.10
MASA DEL MATERIAL SECO (gr)	434.52
P.E. BULK (BASE SECA) (gr/cm <sup>3</sup> )	500.00
P.E. BULK (BASE SATURADA) (gr/cm <sup>3</sup> )	2.15
P.E. APARENTE (BASE SECA) (gr/cm <sup>3</sup> )	2.20
% DE ABSORCION	2.26

### GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS

	<i>TESIS: “EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024”</i>	
---	---	---

Referencia Normativa: **NTP 400.022 y MTC E 205**

**CANTERA: CARMEN BONITA CAY CAY**

**FECHA: 10-10-2024**

**TIPO DE MATERIAL: ARENA TRITURADA**

**LUGAR: LABORATORIO EPIC UNSAAC**

**RESPONSABLES:** Bach. Rodriguez Suri, Edut

Bach. Zuñiga Orcohuarancca Jean Jaret

#### MUESTRA 01

DESCRIPCION	MUESTRA 01
MASA DE MATERIAL SAT. SUP. SECA (gr)	499.86
PESO DEL MATRAZ (gr)	180.00
MASA DEL MATERIAL + MASA DEL MATRAZ (gr)	679.86
PESO DE MATERIAL + MATRAZ + AGUA (gr)	970.74
MASA DEL AGUA (gr)	208.97
MASA DEL MATERIAL SECO (gr)	489.00
<b>P.E. BULK (BASE SECA) (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	500.00
<b>P.E. BULK (BASE SATURADA) (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.34</b>
<b>P.E. APARENTE (BASE SECA) (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.39</b>
<b>% DE ABSORCION</b>	<b>2.47</b>

#### MUESTRA 02

DESCRIPCION	MUESTRA 02
MASA DE MATERIAL SAT. SUP. SECA (gr)	499.64
PESO DEL MATRAZ (gr)	180.00
MASA DEL MATERIAL + MASA DEL MATRAZ (gr)	679.64
PESO DE MATERIAL + MATRAZ + AGUA (gr)	903.69
MASA DEL AGUA (gr)	223.05
MASA DEL MATERIAL SECO (gr)	488.50
<b>P.E. BULK (BASE SECA) (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	500.00
<b>P.E. BULK (BASE SATURADA) (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.19</b>
<b>P.E. APARENTE (BASE SECA) (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.24</b>
<b>% DE ABSORCION</b>	<b>2.31</b>

DESCRIPCION	PROMEDIO
P.E. BULK	<b>2.25</b>
P.E. BULK	<b>2.30</b>
P.E. APARENTE	<b>2.38</b>
<b>% DE ABSORCION</b>	<b>2.28%</b>

#### MUESTRA 03

DESCRIPCION	MUESTRA 03
MASA DE MATERIAL SAT. SUP. SECA (gr)	499.47
PESO DEL MATRAZ (gr)	180.00
MASA DEL MATERIAL + MASA DEL MATRAZ (gr)	679.47
PESO DE MATERIAL + MATRAZ + AGUA (gr)	959.30
MASA DEL AGUA (gr)	218.83
MASA DEL MATERIAL SECO (gr)	488.00
<b>P.E. BULK (BASE SECA) (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	500.00
<b>P.E. BULK (BASE SATURADA) (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.23</b>
<b>P.E. APARENTE (BASE SECA) (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.28</b>
<b>% DE ABSORCION</b>	<b>2.35</b>

# GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESO



TESIS: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO  
VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO  
2024"



Referencia Normativa: NTP 400.021 y MTC E 206

CANTERA: AMARU SAN SALVADOR

FECHA: 09-10-2024

TIPO DE MATERIAL: PIEDRA CHANCADA

LUGAR: LABORATORIO EPIC UNSAAC

RESPONSABLES: Bach. Rodriguez Suri, Edut

Bach. Zuñiga Orcohuarancca Jean Jaret

## MUESTRA 01

DESCRIPCION	MUESTRA 01
MASA SAT. SUP. SECA (gr)	3003.92
MASA SAT. SUP. SECA SUMERGIDA (gr)	1861.91
PESO SECADA AL HORNO (gr)	2970.77
VOLUMEN DE LA MASA (cm <sup>3</sup> )	1142.01
P.E. BULK DE LA MUESTRA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.601
P.E. BULK DE LA MUESTRA S.S. SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.630
P.E. APARENTE (gr/cm <sup>3</sup> )	2.679
% DE ABSORCION (%)	1.1

## MUESTRA 02



DESCRIPCION	MUESTRA 02
MASA SAT. SUP. SECA (gr)	3008.13
MASA SAT. SUP. SECA SUMERGIDA (gr)	1859.40
PESO SECADA AL HORNO (gr)	2975.12
VOLUMEN DE LA MASA (cm <sup>3</sup> )	1148.733
P.E. BULK DE LA MUESTRA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.590
P.E. BULK DE LA MUESTRA S.S. SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.619
P.E. APARENTE (gr/cm <sup>3</sup> )	2.667
% DE ABSORCION (%)	1.1

DESCRIPCION	PROMEDIO
P.E. BULK	2.605
P.E. BULK	2.642
P.E. APARENTE	2.692
% DE ABSORCION	1.1

## MUESTRA 03

DESCRIPCION	MUESTRA 03
MASA SAT. SUP. SECA (gr)	3006.93
MASA SAT. SUP. SECA SUMERGIDA (gr)	1883.22
PESO SECADA AL HORNO (gr)	2971.51
VOLUMEN DE LA MASA (cm <sup>3</sup> )	1123.707
P.E. BULK DE LA MUESTRA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.624
P.E. BULK DE LA MUESTRA S.S. SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.676
P.E. APARENTE (gr/cm <sup>3</sup> )	2.730
% DE ABSORCION (%)	1.2

# GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESO

	<p>TESIS: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024"</p>	
---	---	---

Referencia Normativa: NTP 400.021 y MTC E 206

**CANTERA: VICHO SAN SALVADOR**

**FECHA: 09-10-2024**

**TIPO DE MATERIAL: PIEDRA CHANCADA**

**LUGAR: LABORATORIO EPIC UNSAAC**

**RESPONSABLES:** Bach. Rodriguez Suri, Edut

Bach. Zuñiga Orcohuarancca Jean Jaret

## MUESTRA 01

DESCRIPCION	MUESTRA 01
MASA SAT. SUP. SECA (gr)	3004.14
MASA SAT. SUP. SECA SUMERGIDA (gr)	1845.75
PESO SECADA AL HORNO (gr)	2992.23
VOLUMEN DE LA MASA (cm <sup>3</sup> )	1158.39
<b>P.E. BULK DE LA MUESTRA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.583</b>
<b>P.E. BULK DE LA MUESTRA S.S. SECA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.593</b>
<b>P.E. APARENTE (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.610</b>
<b>% DE ABSORCION (%)</b>	<b>0.4</b>

## MUESTRA 02

DESCRIPCION	MUESTRA 02
MASA SAT. SUP. SECA (gr)	3005.46
MASA SAT. SUP. SECA SUMERGIDA (gr)	1896.13
PESO SECADA AL HORNO (gr)	2988.56
VOLUMEN DE LA MASA (cm <sup>3</sup> )	1109.33
<b>P.E. BULK DE LA MUESTRA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.694</b>
<b>P.E. BULK DE LA MUESTRA S.S. SECA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.709</b>
<b>P.E. APARENTE (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.736</b>
<b>% DE ABSORCION (%)</b>	<b>0.6</b>

DESCRIPCION	PROMEDIO
P.E. BULK	<b>2.585</b>
P.E. BULK	<b>2.599</b>
P.E. APARENTE	<b>2.622</b>
<b>% DE ABSORCION</b>	<b>0.552</b>

## MUESTRA 03

DESCRIPCION	MUESTRA 03
MASA SAT. SUP. SECA (gr)	3001.43
MASA SAT. SUP. SECA SUMERGIDA (gr)	1798.23
PESO SECADA AL HORNO (gr)	2980.81
VOLUMEN DE LA MASA (cm <sup>3</sup> )	1203.2
<b>P.E. BULK DE LA MUESTRA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.477</b>
<b>P.E. BULK DE LA MUESTRA S.S. SECA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.495</b>
<b>P.E. APARENTE (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.521</b>
<b>% DE ABSORCION (%)</b>	<b>0.7</b>



# GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESO



TESIS: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO  
VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO  
2024"



Referencia Normativa: NTP 400.021 y MTC E 206

CANTERA: CARMEN BONITA CAY CAY

FECHA: 09-10-2024

TIPO DE MATERIAL: PIEDRA

LUGAR: LABORATORIO EPIC UNSAAC

RESPONSABLES: Bach. Rodriguez Suri, Edut

Bach. Zuñiga Orcohuarancca Jean Jaret

## MUESTRA 01

DESCRIPCION	MUESTRA 01
MASA SAT. SUP. SECA (gr)	3003.15
MASA SAT. SUP. SECA SUMERGIDA (gr)	1935.75
PESO SECADA AL HORNO (gr)	2964.69
VOLUMEN DE LA MASA (cm <sup>3</sup> )	1067.4
P.E. BULK DE LA MUESTRA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.777
P.E. BULK DE LA MUESTRA S.S. SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.814
P.E. APARENTE (gr/cm <sup>3</sup> )	2.881
% DE ABSORCION (%)	1.3

## MUESTRA 02



DESCRIPCION	MUESTRA 02
MASA SAT. SUP. SECA (gr)	3008.13
MASA SAT. SUP. SECA SUMERGIDA (gr)	1920.42
PESO SECADA AL HORNO (gr)	2977.74
VOLUMEN DE LA MASA (cm <sup>3</sup> )	1087.71
P.E. BULK DE LA MUESTRA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.738
P.E. BULK DE LA MUESTRA S.S. SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.766
P.E. APARENTE (gr/cm <sup>3</sup> )	2.816
% DE ABSORCION (%)	1.0

DESCRIPCION	PROMEDIO
P.E. BULK	2.748
P.E. BULK	2.780
P.E. APARENTE	2.839
% DE ABSORCION	1.2

## MUESTRA 03

DESCRIPCION	MUESTRA 03
MASA SAT. SUP. SECA (gr)	3006.93
MASA SAT. SUP. SECA SUMERGIDA (gr)	1917.36
PESO SECADA AL HORNO (gr)	2971.81
VOLUMEN DE LA MASA (cm <sup>3</sup> )	1089.57
P.E. BULK DE LA MUESTRA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.728
P.E. BULK DE LA MUESTRA S.S. SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.760
P.E. APARENTE (gr/cm <sup>3</sup> )	2.818
% DE ABSORCION (%)	1.2

### ABRASIÓN DE LOS ÁNGELES

	<i>TESIS: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024"</i>	
---	---	---

Referencia Normativa: **NTP 400.019 y MTC E 207**

**CANTERA: AMARU SAN SALVADOR**

**FECHA: 09-10-2024**

**TIPO DE MATERIAL: PIEDRA CHANCADA**

**LUGAR: LABORATORIO EPIC UNSAAC**

**RESPONSABLES:** Bach. Rodriguez Suri, Edut

Bach. Zuñiga Orccohuaranca Jean Jaret

**MUESTRA 01**

**Peso del Material (gr) = 5080.65 gr**

MEDIDA DEL TAMIZ (in)		MUESTRA 01
QUE PASA	RETENIDO SOBRE	PESO ANTES (gr)
1 1/2"	1"	1282.00
1"	3/4"	1247.16
3/4"	1/2"	1262.55
1/2"	3/8"	1288.94
<b>PESO TOTAL INICIAL (gr)</b>		<b>5080.65</b>
<b>PESO RETENIDO TAMIZ N°12 (gr)</b>		<b>4145.64</b>
<b>% DE DESGASTE</b>		<b>18.40</b>

**MUESTRA 02**

**Peso del Material (gr) = 5062.46 gr**

MEDIDA DEL TAMIZ (in)		MUESTRA 02
QUE PASA	RETENIDO SOBRE	PESO ANTES (gr)
1 1/2"	1"	1255.46
1"	3/4"	1268.08
3/4"	1/2"	1259.12
1/2"	3/8"	1279.80
<b>PESO TOTAL INICIAL (gr)</b>		<b>5062.46</b>
<b>PESO RETENIDO TAMIZ N°12 (gr)</b>		<b>4078.37</b>
<b>% DE DESGASTE</b>		<b>19.44</b>



DESCRIPCION	PROMEDIO
<b>% DE DESGASTE</b>	<b>18.91</b>

**MUESTRA 03**

**Peso del Material (gr) = 5052.88 gr**

MEDIDA DEL TAMIZ (in)		MUESTRA 03
QUE PASA	RETENIDO SOBRE	PESO ANTES (gr)
1 1/2"	1"	1263.15
1"	3/4"	1254.64
3/4"	1/2"	1276.12
1/2"	3/8"	1258.97
<b>PESO TOTAL INICIAL (gr)</b>		<b>5052.88</b>
<b>PESO RETENIDO TAMIZ N°12 (gr)</b>		<b>4098.76</b>
<b>% DE DESGASTE</b>		<b>18.88</b>

# ABRASIÓN DE LOS ÁNGELES

	<p>TESIS: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024"</p>	
---	---	---

Referencia Normativa: NTP 400.019 y MTC E 207

**CANTERA:** CARMEN BONITA CAY CAY

**FECHA:** 09-10-2024

**TIPO DE MATERIAL:** PIEDRA CHANCADA

**LUGAR:** LABORATORIO EPIC UNSAAC

**RESPONSABLES:** Bach. Rodriguez Suri, Edut

Bach. Zuñiga Orcohuarancca Jean Jaret

## MUESTRA 01

Peso del Material (gr) = 5028.96 gr

MEDIDA DEL TAMIZ (in)		MUESTRA 01
QUE PASA	RETENIDO SOBRE	PESO ANTES (gr)
1 1/2"	1"	1286.80
1"	3/4"	1267.55
3/4"	1/2"	1238.36
1/2"	3/8"	1236.25
<b>PESO TOTAL INICIAL (gr)</b>		<b>5028.96</b>
<b>PESO RETENIDO TAMIZ N°12 (gr)</b>		<b>3875.41</b>
<b>% DE DESGASTE</b>		<b>22.94</b>

## MUESTRA 02

Peso del Material (gr) = 5070.00 gr

MEDIDA DEL TAMIZ (in)		MUESTRA 02
QUE PASA	RETENIDO SOBRE	PESO ANTES (gr)
1 1/2"	1"	1284.50
1"	3/4"	1253.91
3/4"	1/2"	1279.52
1/2"	3/8"	1252.07
<b>PESO TOTAL INICIAL (gr)</b>		<b>5070.00</b>
<b>PESO RETENIDO TAMIZ N°12 (gr)</b>		<b>3791.41</b>
<b>% DE DESGASTE</b>		<b>25.22</b>



DESCRIPCION	PROMEDIO
% DE DESGASTE	<b>25.11</b>

## MUESTRA 03

Peso del Material (gr) = 5066.76 gr

MEDIDA DEL TAMIZ (in)		MUESTRA 03
QUE PASA	RETENIDO SOBRE	PESO ANTES (gr)
1 1/2"	1"	1280.61
1"	3/4"	1274.64
3/4"	1/2"	1256.76
1/2"	3/8"	1254.75
<b>PESO TOTAL INICIAL (gr)</b>		<b>5066.76</b>
<b>PESO RETENIDO TAMIZ N°12 (gr)</b>		<b>3690.36</b>
<b>% DE DESGASTE</b>		<b>27.17</b>

# ABRASIÓN DE LOS ÁNGELES

	<p>TESIS: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024"</p>	
---	---	---

Referencia Normativa: NTP 400.019 y MTC E 207

**CANTERA: VICHO SAN SALVADOR**

**FECHA: 09-10-2024**

**TIPO DE MATERIAL: PIEDRA CHANCADA**

**LUGAR: LABORATORIO EPIC UNSAAC**

**RESPONSABLES:** Bach. Rodriguez Suri, Edut

Bach. Zuñiga Orccohuaranca Jean Jaret

## MUESTRA 01

**Peso del Material (gr) = 5054.81 gr**

MEDIDA DEL TAMIZ (in)		MUESTRA 01
QUE PASA	RETENIDO SOBRE	PESO ANTES (gr)
1 1/2"	1"	1275.48
1"	3/4"	1240.82
3/4"	1/2"	1256.13
1/2"	3/8"	1282.38
<b>PESO TOTAL INICIAL (gr)</b>		<b>5054.81</b>
<b>PESO RETENIDO TAMIZ N°12 (gr)</b>		<b>4010.53</b>
<b>% DE DESGASTE</b>		<b>20.66</b>

## MUESTRA 02

**Peso del Material (gr) = 5066.23 gr**

MEDIDA DEL TAMIZ (in)		MUESTRA 02
QUE PASA	RETENIDO SOBRE	PESO ANTES (gr)
1 1/2"	1"	1256.39
1"	3/4"	1269.02
3/4"	1/2"	1260.06
1/2"	3/8"	1280.75
<b>PESO TOTAL INICIAL (gr)</b>		<b>5066.22</b>
<b>PESO RETENIDO TAMIZ N°12 (gr)</b>		<b>3934.89</b>
<b>% DE DESGASTE</b>		<b>22.33</b>

DESCRIPCION	PROMEDIO
% DE DESGASTE	<b>22.01</b>

## MUESTRA 03

**Peso del Material (gr) = 5059.82 gr**

MEDIDA DEL TAMIZ (in)		MUESTRA 03
QUE PASA	RETENIDO SOBRE	PESO ANTES (gr)
1 1/2"	1"	1264.88
1"	3/4"	1256.36
3/4"	1/2"	1277.87
1/2"	3/8"	1260.70
<b>PESO TOTAL INICIAL (gr)</b>		<b>5059.81</b>
<b>PESO RETENIDO TAMIZ N°12 (gr)</b>		<b>3894.56</b>
<b>% DE DESGASTE</b>		<b>23.03</b>

**DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO**

*TESIS: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO  
VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO  
2024"*



Referencia Normativa: **NTP 400.016 y MTC E 209**

**CANTERA: AMARU SAN SALVADOR**

**FECHA: xx-10-2024**

**TIPO DE MATERIAL: ARENA TRITURADA Y PIEDRA CHANCADA**

**LUGAR: LABORATORIO EPIC UNSAAC**

**RESPONSABLES:** Bach. Rodriguez Suri, Edut

Bach. Zuñiga Orcocohuaranca Jean Jaret

**MUESTRA 01 – AGREGADO FINO**



MALLA QUE PASA	TAMIZ QUE RETIENE	% DEL RETENIDO MUESTRA ORIGINAL	% RETENIDO REFERIDO	PESO DE LAS FRACCIONES ANTES DEL ENSAYO (gr)	PESO DESPUES DEL ENSAYO (gr)	PESO DE PERDIDA DESPUES DEL ENSAYO (gr)	% DE PERDIDAS DESPUES DEL ENSAYO (%)	% DE PERDIDAS CORREGIDAS (%)
3/8"	N°04	13.60	17.06	300.15	295.00	5.15	1.72	<b>0.29</b>
N°04	N°08	29.20	36.64	301.10	291.32	9.78	3.25	<b>1.19</b>
N°08	N°16	17.50	21.96	300.08	293.15	6.93	2.31	<b>0.51</b>
N°16	N°30	11.70	14.68	300.00	294.92	5.08	1.69	<b>0.25</b>
N°30	N°50	7.70	9.66	300.03	294.45	5.58	1.86	<b>0.18</b>
N°50	----							

**MUESTRA 01 – AGREGADO GRUESO**

MALLA QUE PASA	TAMIZ QUE RETIENE	% DEL RETENIDO MUESTRA ORIGINAL	% RETENIDO REFERIDO	PESO DE LAS FRACCIONES ANTES DEL ENSAYO (gr)	PESO DESPUES DEL ENSAYO (gr)	PESO DE PERDIDA DESPUES DEL ENSAYO (gr)	% DE PERDIDAS DESPUES DEL ENSAYO (%)	% DE PERDIDAS CORREGIDAS (%)
1"	3/4"	0.00	0.00	1512.74	1495.19	17.55	1.16	<b>0.00</b>
3/4"	1/2"	44.20	49.39	673.30	652.12	21.18	3.15	<b>1.39</b>
1/2"	3/8"	35.70	39.89	330.92	303.75	27.17	8.21	<b>2.93</b>
3/8"	N°04	9.60	10.73	300.74	276.29	24.45	8.13	<b>0.78</b>
		89.50	100.00					

DESCRIPCION	PROMEDIO
% DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO	<b>7.00</b>

**MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE  
PARTÍCULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO**

	<i>TESIS: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024"</i>	
---	---	---

Referencia Normativa: **ASTM D 5821-13 y MTC E 210**

**CANTERA: AMARU SAN SALVADOR**

**FECHA: 02-10-2024**

**TIPO DE MATERIAL: PIEDRA CHANCADA**

**LUGAR: LABORATORIO EPIC UNSAAC**

**RESPONSABLES:** Bach. Rodriguez Suri, Edut

Bach. Zuñiga Orccohuaranca Jean Jaret

**MUESTRA 01**

**Peso del Material (gr) = 1824.79 gr**

PASA (%)	RET. (%)	MUESTRA INICIAL (gr)	% RETENIDO	MASA MUESTRA (gr)	MASA PARTICULAS SIN FRACTURA (gr)	MASA PARTICULAS FRACTURADAS (gr)	% PARTICULAS FRACTURADAS	% INDIVIDUAL PARTICULAS FRACTURADAS
1 1/2"	1"	1824.97	22.35%	408.72	0.00	408.72	100.00%	22.35%
1"	3/4"		61.15%	1114.34	0.00	1114.34	100.00%	61.15%
3/4"	1/2"		15.88%	290.41	0.00	290.41	100.00%	15.88%
1/2"	3/8"		0.62%	11.32	0.00	11.32	100.00%	0.62%

**MUESTRA 02**

**Peso del Material (gr) = 1769.18 gr**

PASA (%)	RET. (%)	MUESTRA INICIAL (gr)	% RETENIDO	MASA MUESTRA (gr)	MASA PARTICULAS SIN FRACTURA (gr)	MASA PARTICULAS FRACTURADAS (gr)	% PARTICULAS FRACTURADAS	% INDIVIDUAL PARTICULAS FRACTURADAS
1 1/2"	1"	1769.18	17.58%	311.86	0.00	311.86	100.00%	17.58%
1"	3/4"		53.72%	947.97	0.00	947.97	100.00%	53.72%
3/4"	1/2"		27.24%	483.27	0.00	483.27	100.00%	27.24%
1/2"	3/8"		1.47%	26.08	0.00	26.08	100.00%	1.47%



**MUESTRA 03**

**Peso del Material (gr) = 1861.00 gr**

PASA (%)	RET. (%)	MUESTRA INICIAL (gr)	% RETENIDO	MASA MUESTRA (gr)	MASA PARTICULAS SIN FRACTURA (gr)	MASA PARTICULAS FRACTURADAS (gr)	% PARTICULAS FRACTURADAS	% INDIVIDUAL PARTICULAS FRACTURADAS
1 1/2"	1"	1861.00	20.05%	373.71	0.00	373.71	100.00%	20.05%
1"	3/4"		55.91%	1039.21	0.00	1039.21	100.00%	55.91%
3/4"	1/2"		23.67%	441.12	0.00	441.12	100.00%	23.67%
1/2"	3/8"		0.37%	6.96	0.00	6.96	100.00%	0.37%

DESCRIPCION	PROMEDIO
% DE PARTICULAS FRACTURADAS	<b>100.00%</b>

**MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE  
PARTÍCULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO**

	<i>TESIS: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024"</i>	
---	---	---

Referencia Normativa: **ASTM D 5821-13 y MTC E 210**

**CANTERA: CARMEN BONITA CAY CAY**

**FECHA: 02-10-2024**

**TIPO DE MATERIAL: PIEDRA**

**LUGAR: LABORATORIO EPIC UNSAAC**

**RESPONSABLES:** Bach. Rodriguez Suri, Edut

Bach. Zuñiga Orccohuaranca Jean Jaret

**MUESTRA 01**

**Peso del Material (gr) = 1764.87 gr**

PASA (%)	RET. (%)	MUESTRA INICIAL (gr)	% RETENIDO	MASA MUESTRA (gr)	MASA PARTICULAS SIN FRACTURA (gr)	MASA PARTICULAS FRACTURADAS (gr)	% PARTICULAS FRACTURADAS	% INDIVIDUAL PARTICULAS FRACTURADAS
1 1/2"	1"	1764.87	20.28%	357.58	30.79	326.79	<b>91.39%</b>	<b>18.53%</b>
1"	3/4"		75.02%	1324.39	59.07	1265.32	<b>95.54%</b>	<b>71.68%</b>
3/4"	1/2"		4.45%	78.48	0.00	78.48	<b>100.00%</b>	<b>4.45%</b>
1/2"	3/8"		0.25%	4.42	0.00	4.42	<b>100.00%</b>	<b>0.25%</b>

**MUESTRA 02**

**Peso del Material (gr) = 1813.36 gr**

PASA (%)	RET. (%)	MUESTRA INICIAL (gr)	% RETENIDO	MASA MUESTRA (gr)	MASA PARTICULAS SIN FRACTURA (gr)	MASA PARTICULAS FRACTURADAS (gr)	% PARTICULAS FRACTURADAS	% INDIVIDUAL PARTICULAS FRACTURADAS
1 1/2"	1"	1813.36	43.34%	787.03	67.46	719.57	<b>91.43%</b>	<b>39.62%</b>
1"	3/4"		51.49%	932.45	155.51	776.94	<b>83.32%</b>	<b>42.90%</b>
3/4"	1/2"		5.17%	93.88	0.00	93.88	<b>100.00%</b>	<b>5.17%</b>
1/2"	3/8"		0.00%	0.00	0.00	0.00	<b>0.00%</b>	<b>0.00%</b>

**MUESTRA 03**



**Peso del Material (gr) = 1975.62 gr**

PASA (%)	RET. (%)	MUESTRA INICIAL (gr)	% RETENIDO	MASA MUESTRA (gr)	MASA PARTICULAS SIN FRACTURA (gr)	MASA PARTICULAS FRACTURADAS (gr)	% PARTICULAS FRACTURADAS	% INDIVIDUAL PARTICULAS FRACTURADAS
1 1/2"	1"	1975.62	40.94%	809.76	0.00	809.76	<b>100.00%</b>	<b>40.94%</b>
1"	3/4"		54.75%	1080.60	62.44	1018.16	<b>94.22%</b>	<b>51.59%</b>
3/4"	1/2"		4.09%	80.82	0.00	80.82	<b>100.00%</b>	<b>4.09%</b>
1/2"	3/8"		0.22%	4.44	0.00	4.44	<b>100.00%</b>	<b>0.22%</b>

DESCRIPCION	PROMEDIO
% DE PARTICULAS FRACTURADAS	<b>93.15%</b>



**MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE  
PARTÍCULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO**

	<i>TESIS: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024"</i>	
---	---	---

Referencia Normativa: **ASTM D 5821-13 y MTC E 210**

**CANTERA: VICHO SAN SALVADOR**

**FECHA: 02-10-2024**

**TIPO DE MATERIAL: PIEDRA CHANCADA**

**LUGAR: LABORATORIO EPIC UNSAAC**

**RESPONSABLES:** Bach. Rodriguez Suri, Edut

Bach. Zuñiga Orccohuaranca Jean Jaret

**MUESTRA 01**

**Peso del Material (gr) = 1794.83 gr**

PASA (%)	RET. (%)	MUESTRA INICIAL (gr)	% RETENIDO	MASA MUESTRA (gr)	MASA PARTICULAS SIN FRACTURA (gr)	MASA PARTICULAS FRACTURADAS (gr)	% PARTICULAS FRACTURADAS	% INDIVIDUAL PARTICULAS FRACTURADAS
1 1/2"	1"	1794.83	21.35%	383.15	0.00	383.15	<b>100.00%</b>	<b>21.35%</b>
1"	3/4"		67.94%	1219.37	119.30	1100.07	<b>90.22%</b>	<b>61.29%</b>
3/4"	1/2"		10.28%	184.45	32.40	152.05	<b>82.43%</b>	<b>8.47%</b>
1/2"	3/8"		0.44%	7.87	0.00	7.87	<b>100.00%</b>	<b>0.44%</b>

**MUESTRA 02**

**Peso del Material (gr) = 1791.27 gr**

PASA (%)	RET. (%)	MUESTRA INICIAL (gr)	% RETENIDO	MASA MUESTRA (gr)	MASA PARTICULAS SIN FRACTURA (gr)	MASA PARTICULAS FRACTURADAS (gr)	% PARTICULAS FRACTURADAS	% INDIVIDUAL PARTICULAS FRACTURADAS
1 1/2"	1"	1791.27	30.67%	549.45	89.45	460.00	<b>83.72%</b>	<b>25.68%</b>
1"	3/4"		52.49%	940.21	0.00	940.21	<b>100.00%</b>	<b>52.49%</b>
3/4"	1/2"		16.11%	288.58	22.30	266.28	<b>92.27%</b>	<b>14.87%</b>
1/2"	3/8"		0.73%	13.04	0.00	13.04	<b>100.00%</b>	<b>0.73%</b>

**MUESTRA 03**



**Peso del Material (gr) = 1918.31 gr**

PASA (%)	RET. (%)	MUESTRA INICIAL (gr)	% RETENIDO	MASA MUESTRA (gr)	MASA PARTICULAS SIN FRACTURA (gr)	MASA PARTICULAS FRACTURADAS (gr)	% PARTICULAS FRACTURADAS	% INDIVIDUAL PARTICULAS FRACTURADAS
1 1/2"	1"	1918.31	30.85%	591.74	23.10	568.64	<b>96.10%</b>	<b>29.64%</b>
1"	3/4"		55.25%	1059.91	146.38	913.53	<b>86.19%</b>	<b>47.62%</b>
3/4"	1/2"		13.60%	260.97	12.64	248.33	<b>95.16%</b>	<b>12.95%</b>
1/2"	3/8"		0.30%	5.70	0.00	5.70	<b>100.00%</b>	<b>0.30%</b>

DESCRIPCION	PROMEDIO
% DE PARTICULAS FRACTURADAS	<b>91.94%</b>



**ARCILLA EN TERRONES Y PARTICULAS DESMENUZABLES EN AGREGADOS**

	<b>TESIS: “EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024”</b>	
---	---	---

Referencia Normativa: **NTP 400.015 y MTC E 212**

**CANTERA: AMARU SAN SALVADOR**

**FECHA: 28-10-2024**

**TIPO DE MATERIAL: ARENA TRITURADA**

**LUGAR: LABORATORIO EPIC UNSAAC**

**RESPONSABLES:** Bach. Rodriguez Suri, Edut

Bach. Zuñiga Orcochuarancca Jean Jaret

**MUESTRA 01**

<b>PASA TAMIZ</b>	<b>RETENIDO EN TAMIZ</b>	<b>GRADACION ORIGINAL (gr)</b>	<b>PESO FRACCION (%)</b>	<b>PESO DESPUES DE ENSAYO (gr)</b>	<b>PERDIDA TOTAL (%)</b>
N°04	N°16	100.85	100.00%	98.42	<b>2.41%</b>

**MUESTRA 02**



<b>PASA TAMIZ</b>	<b>RETENIDO EN TAMIZ</b>	<b>GRADACION ORIGINAL (gr)</b>	<b>PESO FRACCION (%)</b>	<b>PESO DESPUES DE ENSAYO (gr)</b>	<b>PERDIDA TOTAL (%)</b>
N°04	N°16	100.24	100.00%	97.65	<b>2.58%</b>

**MUESTRA 03**

<b>PASA TAMIZ</b>	<b>RETENIDO EN TAMIZ</b>	<b>GRADACION ORIGINAL (gr)</b>	<b>PESO FRACCION (%)</b>	<b>PESO DESPUES DE ENSAYO (gr)</b>	<b>PERDIDA TOTAL (%)</b>
N°04	N°16	100.45	100.00%	98.32	<b>2.12%</b>

<b>DESCRIPCION</b>	<b>PROMEDIO</b>
% ARCILLA EN TERRONES	<b>2.37%</b>

**ARCILLA EN TERRONES Y PARTICULAS DESMENUZABLES EN AGREGADOS**

	<b>TESIS: “EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024”</b>	
---	---	---

Referencia Normativa: **NTP 400.015 y MTC E 212**

**CANTERA: AMARU SAN SALVADOR**

**FECHA: 28-10-2024**

**TIPO DE MATERIAL: ARENA TRITURADA**

**LUGAR: LABORATORIO EPIC UNSAAC**

**RESPONSABLES:** Bach. Rodriguez Suri, Edut

Bach. Zuñiga Orcohuarancca Jean Jaret

**MUESTRA 01**

<b>PASA TAMIZ</b>	<b>RETENIDO EN TAMIZ</b>	<b>GRADACION ORIGINAL (gr)</b>	<b>PESO FRACCION (%)</b>	<b>PESO DESPUES DE ENSAYO (gr)</b>	<b>PERDIDA TOTAL (%)</b>
N°04	N°16	98.23	100.00%	95.37	<b>2.91%</b>

**MUESTRA 02**



<b>PASA TAMIZ</b>	<b>RETENIDO EN TAMIZ</b>	<b>GRADACION ORIGINAL (gr)</b>	<b>PESO FRACCION (%)</b>	<b>PESO DESPUES DE ENSAYO (gr)</b>	<b>PERDIDA TOTAL (%)</b>
N°04	N°16	97.45	100.00%	93.70	<b>3.85%</b>

**MUESTRA 03**

<b>PASA TAMIZ</b>	<b>RETENIDO EN TAMIZ</b>	<b>GRADACION ORIGINAL (gr)</b>	<b>PESO FRACCION (%)</b>	<b>PESO DESPUES DE ENSAYO (gr)</b>	<b>PERDIDA TOTAL (%)</b>
N°04	N°16	96.34	100.00%	93.53	<b>2.91%</b>

<b>DESCRIPCION</b>	<b>PROMEDIO</b>
% ARCILLA EN TERRONES	<b>3.22%</b>

**ARCILLA EN TERRONES Y PARTICULAS DESMENUZABLES EN AGREGADOS**

	<b>TESIS: “EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024”</b>	
---	---	---

Referencia Normativa: **NTP 400.015 y MTC E 212**

**CANTERA: AMARU SAN SALVADOR**

**FECHA: 28-10-2024**

**TIPO DE MATERIAL: PIEDRA CHANCADA**

**LUGAR: LABORATORIO EPIC UNSAAC**

**RESPONSABLES:** Bach. Rodriguez Suri, Edu

Bach. Zuñiga Orcocohuaranca Jean Jaret

**MUESTRA 01**

PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	GRADACION ORIGINAL (gr)	PESO FRACCION (%)	PESO DESPUES DE ENSAYO (gr)	PERDIDA TOTAL (%)
1"	3/4"	3017.64	50.07%	2985.86	<b>1.05%</b>
3/4"	3/8"	2005.15	33.27%	1980.11	<b>1.25%</b>
3/8"	N°04	1004.63	16.67%	991.98	<b>1.26%</b>

**MUESTRA 02**



PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	GRADACION ORIGINAL (gr)	PESO FRACCION (%)	PESO DESPUES DE ENSAYO (gr)	PERDIDA TOTAL (%)
1"	3/4"	3007.56	49.90%	2981.65	<b>0.86%</b>
3/4"	3/8"	2010.45	33.36%	1985.65	<b>1.23%</b>
3/8"	N°04	1001.37	16.61%	989.27	<b>1.21%</b>

**MUESTRA 03**

PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	GRADACION ORIGINAL (gr)	PESO FRACCION (%)	PESO DESPUES DE ENSAYO (gr)	PERDIDA TOTAL (%)
1"	3/4"	3027.87	50.23%	2983.43	<b>1.47%</b>
3/4"	3/8"	2007.34	33.30%	1983.12	<b>1.21%</b>
3/8"	N°04	1004.56	16.67%	991.72	<b>1.28%</b>

DESCRIPCION	PROMEDIO
% PARTICULAS DESMENUZABLES	<b>1.20%</b>

**ARCILLA EN TERRONES Y PARTICULAS DESMENUZABLES EN AGREGADOS**

	<b>TESIS: “EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024”</b>	
---	---	---

Referencia Normativa: **NTP 400.015 y MTC E 212**

**CANTERA: CARMEN BONITA CAY CAY**

**FECHA: 28-10-2024**

**TIPO DE MATERIAL: PIEDRA CHANCADA**

**LUGAR: LABORATORIO EPIC UNSAAC**

**RESPONSABLES:** Bach. Rodriguez Suri, Edut

Bach. Zuñiga Orcohuarancca Jean Jaret

**MUESTRA 01**

PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	GRADACION ORIGINAL (gr)	PESO FRACCION (%)	PESO DESPUES DE ENSAYO (gr)	PERDIDA TOTAL (%)
1"	3/4"	3168.52	50.71%	2954.41	<b>6.76%</b>
3/4"	3/8"	2045.25	32.73%	1955.38	<b>4.39%</b>
3/8"	N°04	1034.77	16.56%	979.49	<b>5.34%</b>

**MUESTRA 02**



PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	GRADACION ORIGINAL (gr)	PESO FRACCION (%)	PESO DESPUES DE ENSAYO (gr)	PERDIDA TOTAL (%)
1"	3/4"	3157.94	50.54%	2955.96	<b>6.40%</b>
3/4"	3/8"	2050.66	32.82%	1961.16	<b>4.36%</b>
3/8"	N°04	1031.41	16.51%	977.32	<b>5.24%</b>

**MUESTRA 03**

PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	GRADACION ORIGINAL (gr)	PESO FRACCION (%)	PESO DESPUES DE ENSAYO (gr)	PERDIDA TOTAL (%)
1"	3/4"	3179.26	50.88%	2939.64	<b>7.54%</b>
3/4"	3/8"	2047.49	32.77%	1959.19	<b>4.31%</b>
3/8"	N°04	1034.70	16.56%	979.04	<b>5.38%</b>

DESCRIPCION	PROMEDIO
% PARTICULAS DESMENUZABLES	<b>5.53%</b>

**ANGULARIDAD DE AGREGADO FINO**

	<b>TESIS: “EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024”</b>	
---	---	---

Referencia Normativa: **MTC E 222****CANTERA: AMARU SAN SALVADOR****FECHA: 04-10-2024****TIPO DE MATERIAL: ARENA TRITURADA****LUGAR: LABORATORIO EPIC UNSAAC****RESPONSABLES:** Bach. Rodriguez Suri, Edut

Bach. Zuñiga Orcohuarancca Jean Jaret

**MUESTRA 01**

	DESCRIPCION	MUESTRA 01
A	PESO DEL CILINDRO SIN CONTENIDO (kg)	5.25
B	PESO DEL CILINDRO CON VOLUMEN DE AGUA (kg)	6.60
C	PESO DEL CILINDRO CONT. CON AGREGADO (kg)	7.15
D	PESO DEL AGREGADO (kg)	1.90
F	T° DEL AGUA (°C)	18.4 °C
G	PESO DEL AGUA (kg)	1.35
H	VALOR DE DENSIDAD DEL AGUA (kg/m <sup>3</sup> )	1.00
I	CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL CILINDRO	1.30

**MUESTRA 02**



	DESCRIPCION	MUESTRA 02
A	PESO DEL CILINDRO SIN CONTENIDO (kg)	5.25
B	PESO DEL CILINDRO CON VOLUMEN DE AGUA (kg)	6.50
C	PESO DEL CILINDRO CONT. CON AGREGADO (kg)	7.10
D	PESO DEL AGREGADO (kg)	1.85
F	T° DEL AGUA (°C)	18.4 °C
G	PESO DEL AGUA (kg)	1.25
H	VALOR DE DENSIDAD DEL AGUA (kg/m <sup>3</sup> )	1.00
I	CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL CILINDRO	1.30

**MUESTRA 03**

	DESCRIPCION	MUESTRA 03
A	PESO DEL CILINDRO SIN CONTENIDO (kg)	5.25
B	PESO DEL CILINDRO CON VOLUMEN DE AGUA (kg)	6.55
C	PESO DEL CILINDRO CONT. CON AGREGADO (kg)	7.20
D	PESO DEL AGREGADO (kg)	1.95
F	T° DEL AGUA (°C)	18.4 °C
G	PESO DEL AGUA (kg)	1.30
H	VALOR DE DENSIDAD DEL AGUA (kg/m <sup>3</sup> )	1.00
I	CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL CILINDRO	1.30

DESCRIPCION	PROMEDIO
% ANGULARIDAD DE FINO	<b>21.45%</b>

### ANGULARIDAD DE AGREGADO FINO

	<i>TESIS: “EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024”</i>	
---	---	---

Referencia Normativa: **MTC E 222**

**CANTERA: CARMEN BONITA CAY CAY**

**FECHA: 04-10-2024**

**TIPO DE MATERIAL: ARENA TRITURADA**

**LUGAR: LABORATORIO EPIC UNSAAC**

**RESPONSABLES:** Bach. Rodriguez Suri, Edut

Bach. Zuñiga Orcohuarancca Jean Jaret

#### MUESTRA 01

	DESCRIPCION	MUESTRA 01
A	PESO DEL CILINDRO SIN CONTENIDO (kg)	5.25
B	PESO DEL CILINDRO CON VOLUMEN DE AGUA (kg)	6.60
C	PESO DEL CILINDRO CONT. CON AGREGADO (kg)	6.85
D	PESO DEL AGREGADO (kg)	1.60
F	T° DEL AGUA (°C)	18.4 °C
G	PESO DEL AGUA (kg)	1.35
H	VALOR DE DENSIDAD DEL AGUA (kg/m <sup>3</sup> )	1.00
I	CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL CILINDRO	1.30

#### MUESTRA 02

	DESCRIPCION	MUESTRA 02
A	PESO DEL CILINDRO SIN CONTENIDO (kg)	5.25
B	PESO DEL CILINDRO CON VOLUMEN DE AGUA (kg)	6.50
C	PESO DEL CILINDRO CONT. CON AGREGADO (kg)	6.90
D	PESO DEL AGREGADO (kg)	1.65
F	T° DEL AGUA (°C)	18.4 °C
G	PESO DEL AGUA (kg)	1.25
H	VALOR DE DENSIDAD DEL AGUA (kg/m <sup>3</sup> )	1.00
I	CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL CILINDRO	1.30

#### MUESTRA 03

	DESCRIPCION	MUESTRA 03
A	PESO DEL CILINDRO SIN CONTENIDO (kg)	5.25
B	PESO DEL CILINDRO CON VOLUMEN DE AGUA (kg)	6.55
C	PESO DEL CILINDRO CONT. CON AGREGADO (kg)	6.80
D	PESO DEL AGREGADO (kg)	1.55
F	T° DEL AGUA (°C)	18.4 °C
G	PESO DEL AGUA (kg)	1.30
H	VALOR DE DENSIDAD DEL AGUA (kg/m <sup>3</sup> )	1.00
I	CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL CILINDRO	1.30

DESCRIPCION	PROMEDIO
% ANGULARIDAD DE FINO	37.87%



## Anexo E Panel fotográfico de los ensayos para agregados



*Ensayo de equivalente de arena CAY CAY (01)*



*Antes, durante y final del ensayo*



*Ensayo de equivalente de arena CAY CAY (02)*



*Colocación de arena sobre el embudo*



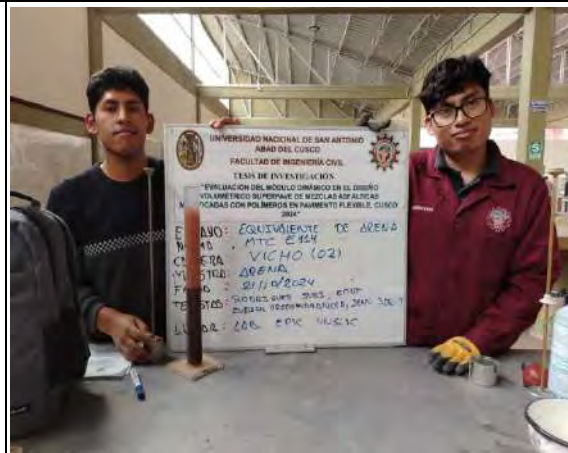
*Ensayo de equivalente de arena Amaru (01)*



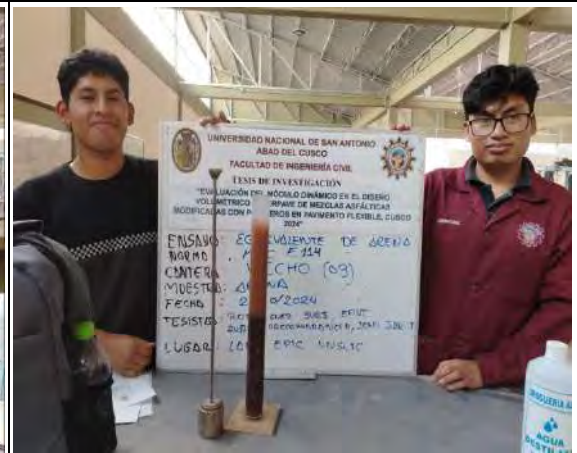
*Ensayo de equivalente de arena Amaru (03)*



*Ensayo de equivalente de arena Vicho (01)*



*Ensayo de equivalente de arena Vicho (02)*



*Ensayo de equivalente de arena Vicho (03)*





*Análisis granulométrico Carmen Bonita (01)*



*Análisis granulométrico Carmen Bonita (01)*



*Análisis granulométrico Carmen Bonita (02)*



*Tamizador mecánico EPIC*



*Análisis granulométrico Vicho (01 y 02)*



*Análisis granulométrico Vicho (01)*

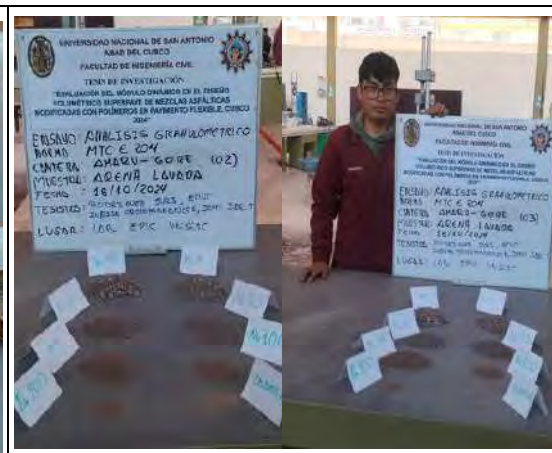




Análisis granulométrico Vicho (03)



Análisis granulométrico Vicho (02)



Análisis granulométrico Amaru (02 y 03)



Análisis granulométrico Amaru San Salvador (02)



Análisis granulométrico Amaru San Salvador (02)



Análisis granulométrico Amaru San Salvador (03)





*Peso Específico Fino Carmen Bonita (01 y 02)*



*Peso Específico y Absorción Fino Carmen Bonita (03)*



*Peso Específico Fino Amaru (01, 02 y 03)*



*Peso Específico y Absorción Fino Amaru (01)*



*Peso Específico y Absorción Fino Amaru (03)*



*Peso Específico y Absorción Fino Vicho (01)*





*Absorción de Finos Amaru San Salvador (01, 02 y 03)*



*Peso E específico y Absorción Fino Vicho (02)*



*Peso Específico y Absorción Grueso Amaru (01 y 02)*



*Absorción de Grueso Carmen Bonita (01 y 02)*



*Absorción de Grueso Amaru Salvador (01, 02 y 03)*



*Peso Específico y Absorción Carmen Bonita (03)*





*Abrasión Gradación Tipo 'A' Carmen Bonita (01)*



*Abrasión Gradación Tipo 'A' Carmen Bonita (01)*



*Abrasión Gradación Tipo 'A' Carmen Bonita (01)*



*Abrasión Gradación Tipo 'A' Carmen Bonita (02)*



*Abrasión Gradación Tipo 'A' Vicho (02)*



*Abrasión Gradación Tipo 'A' Carmen Bonita (03)*





*Abrasión Gradación Tipo 'A' Cantera Amaru (01)*



*Abrasión Gradación Tipo 'A' Cantera Vicho (03)*



*Abrasión Gradación Tipo 'A' Cantera Amaru (02)*



*Abrasión Gradación Tipo 'A' Cantera Vicho (01)*



*Abrasión Gradación Tipo 'A' Cantera Amaru (03)*



*Abrasión Gradación Tipo 'A' Cantera Amaru (03)*





*Resistencia al Sulfato Grueso y fino (01)*



*Resistencia al Sulfato Fino Amaru San Salvador (02)*



*Resistencia al Sulfato Grueso Amaru (01)*



*Resistencia al Sulfato Grueso Amaru (02)*



*Resistencia al Sulfato Grueso Primera Inmersión*



*Resistencia al Sulfato Fino Primera Inmersión*





*Preparación del Sulfato de Magnesio para las muestras*



*Resistencia al Sulfato Grueso y fino Secado de muestras en el horno*



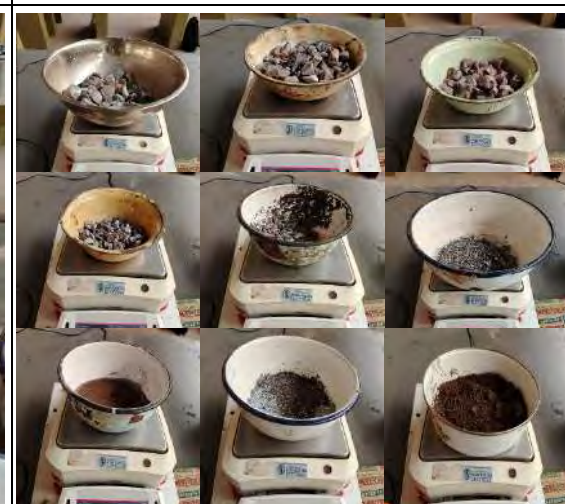
*Resistencia al Sulfato Grueso y Fino Resultado de la Primera Inmersión*



*Resistencia al Sulfato Fino Resultado de la Primera Inmersión*



*Resistencia al Sulfato Grueso Resultado de la Primera Inmersión*



*Resistencia al Sulfato Grueso y Fino Segunda Inmersión*





*Resistencia al Sulfato Grueso y Fino Tercera Inmersión*



*Resistencia al Sulfato Grueso y fino después de secado en el horno*



*Resistencia al Sulfato Grueso y Fino Resultado de la Última Inmersión*



Porcentaje de Caras Fracturadas Carmen Bonita (01)



Porcentaje de Caras Fracturadas Carmen Bonita (02)



Porcentaje de Caras Fracturadas Carmen Bonita (03)



Porcentaje de Caras Fracturadas Carmen Bonita (02)



Resistencia al Sulfato Grueso Primera Inmersión



Porcentaje de Caras Fracturadas Carmen Bonita (03)





*Porcentaje de Caras Fracturadas Amaru (01)*



*Porcentaje de Caras Fracturadas Amaru (01)*



*Porcentaje de Caras Fracturadas Amaru (02)*



*Porcentaje de Caras Fracturadas Amaru (02)*



*Porcentaje de Caras Fracturadas Amaru (03)*



*Porcentaje de Caras Fracturadas Amaru (03)*





*Partículas desmenuzables en Grueso Amaru (01)*



*Partículas desmenuzables en Grueso Amaru (01)*



*Partículas desmenuzables en Grueso Amaru (02)*



*Arcilla en terrones en Fino Amaru (01 y 02)*



*Partículas desmenuzables en Grueso Amaru (03)*



*Partículas desmenuzables Grueso Carmen Bonita (01)*





*Angularidad de Fino Amaru (03)*



*Angularidad de Fino Amaru (01,02 y 03)*



*Angularidad de Fino Amaru (02)*



*Angularidad de Fino Amaru (01)*



*Angularidad de Fino Carmen Bonita*



*Angularidad de Fino Carmen Bonita (01,02 y 03)*

# Anexo F Certificado de uso de laboratorio expedido por la UNSAAC



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO**  
**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 testistas; conducentes a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil; Bach. EDUT RODRIGUEZ SURI y Bach. JEAN JARET ZUÑIGA ORCCOHUARANCA, hizo uso del laboratorio para ejecución de la tesis de investigación: “EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINAMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024”

Los ensayos que realizaron son los siguientes:

Nro	ENSAYO	NORMA	CANT.
01	Ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino	NTP 339.146	12
02	Análisis Granulométrico del agregado fino, grueso y global	NTP 400.012	18
03	Peso específico y absorción del agregado grueso	NTP 400.021	09
04	Peso específico y absorción del agregado fino	NTP 400.022	09
05	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	09
06	Determinación de la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio	NTP 400.016	02
07	Método de ensayo estándar para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso	ASTM D 5821 MTC E 210	09
08	Método de ensayo normalizado para torrones de arcilla y partículas desmenuzables en los agregados	NTP 400.015	12
09	Determinación de la angularidad de agregado fino	MTC E 222	06

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 ABADEL CUSCO  
 Facultad de Ingeniería Civil  
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales




**Ing. Luz Mariela Nieto Palomino**  
 Jefe de Laboratorio



Cusco, 07 de marzo del 2025



# Anexo G Informe de los ensayos para mezcla asfáltica – INGEOCONTROL S.A.C

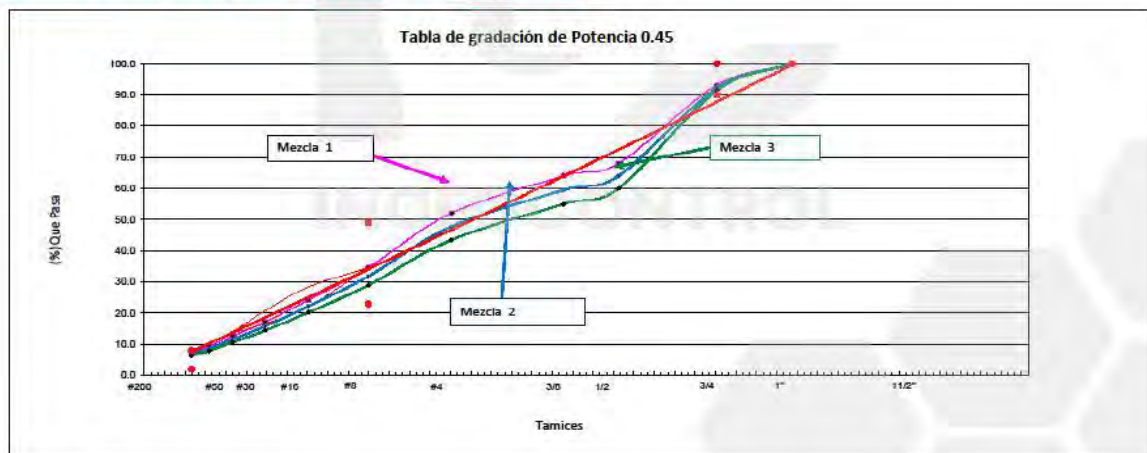
	<b>INFORME</b>		Código	AE-FO-230
	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO SUPERPAVE AASHTO PP20 / EG-2013 SECCIÓN 423		Versión	01
			Fecha	
			Página	1 de 4
Proyecto	"EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024"			Registro N°: L24-242-04
Solicitante	: ZUÑIGA ORCOCOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT			Muestreado por: Solicitante
Cliente	: ZUÑIGA ORCOCOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT			Diseñado por: J. Gutiérrez
Ubicación de Proyecto	: CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN			Fecha de Diseño:
Tipo de Mezcla	: Asfáltica en caliente			
Tipo de Bitumen	: Cemento asfáltico			

## GRANULOMETRIA (ASTM C-136) COMBINACIÓN DE AGREGADOS (TEÓRICO)

MALLA DESIGNADO	mm	Mat. 1	Mat. 2	Mat. 3	Mat. 4	Prueba			Especificación Técnica		Linea de Densidad	Zona Restringida	
		Grava 3/4 triturada	Grava triturada	Arena triturada	Filler	N° 1	N° 2	N° 3	MINIMO	MAXIMO		10	
2 1/2"	63.5	100.00		100.00	100.00	100.0	100.0	100.0					
2"	50.8	100.00		100.00	100.00	100.0	100.0	100.0					
1 1/2"	38.1	100.00		100.00	100.00	100.0	100.0	100.0					
1"	25.4	100.00		100.00	100.00	100.0	100.0	100.0	100	100	100.0		
3/4"	19.0	83.00		100.00	100.00	93.2	92.4	91.5	90	100	88.4		
1/2"	12.7	20.10		100.00	100.00	58.0	64.0	60.1			73.2		
3/8"	9.5	10.00		100.00	100.00	64.0	59.5	55.0			59.6		
4	4.75	0.40		86.40	100.00	92.1	47.8	43.5			49.5		
8	2.36	0.30		57.20	100.00	34.7	31.8	29.0	23	49	34.6	34.6	34.6
16	1.18	0.30		30.80	100.00	24.2	22.2	20.3			25.3	22.3	20.3
30	0.60	0.30		27.90	98.00	17.2	15.8	14.5			16.7	16.7	20.7
50	0.30	0.20		20.30	98.00	12.6	11.6	10.6			13.7	13.7	13.7
100	0.15	0.20		14.90	95.00	9.4	8.7	8.0			10.0		
200	0.075	0.20		11.80	95.00	7.6	6.9	6.3	2	8	7.3		

% MEZCLA					
Mezcla N° 1	40.00%	0.00%	59.50%	0.50%	100.0%
Mezcla N° 2	45.00%	0.00%	54.50%	0.50%	100.0%
Mezcla N° 3	50.00%	0.00%	49.50%	0.50%	100.0%

OK



## OBSERVACIONES:

\* Muestra provista e identificada por el solicitante

\* Prohibida la reproducción de este documento sin la autorización escrita de INGEOCONTROL, salvo que la reproducción sea en su totalidad (INDECOPI: GP: 004: 1993)

<b>INGEOCONTROL SAC</b>		
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b> Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.  Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.  La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.	<b>REVISADO POR</b>  Nombre y firma:  J. de Malgor Angeles JEFE DE LABORATORIO INGEOCONTROL S.A.C.	<b>AUTORIZADO POR</b>  Nombre y firma:  Amador Petel CUSCO CJA: 150140 Gerente Técnico

Teléfono  
01-729 3710  
997069600 / 997070406

Correo electrónico  
laboratorio@ingeocontrol.com.pe  
proyectos@ingeocontrol.com.pe

Dirección  
Jr. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila  
etapa 1 - Comas - Lima

	<b>INFORME</b>		Código	AE-FO-230
	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO SUPERPAVE AASHTO PP28 / EG-2013 SECCIÓN 423		Versión	01
			Fecha	
			Página	2 de 4

Proyecto : EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
 MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024\*  
 Solicitante : ZUÑIGA ORCOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT  
 Cliente : ZUÑIGA ORCOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT  
 Ubicación de Proyecto : CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN  
 Tipo de Mezcla : Asfáltica en caliente  
 Tipo de Bitumen : Cemento asfáltico

Registro N°: L24-242-04  
 Muestreado por: Solicitante  
 Diseñado por: J. Gutiérrez  
 Fecha de Diseño:

### PRUEBA DE MEZCLA

Espesor de la carpeta 4" = 10.0 cm

Características del agregado			
Mezcla de agregados	1	2	3
% Arena triturada	59.5	54.5	49.5
% Grava 3/4 triturada	40.0	45.0	50.0
% Filler	0.5	0.5	0.5
Grav. Esp. Arena triturada	2.623	2.623	2.623
Grav. Esp. Grava 3/4 triturada	2.605	2.605	2.605
Grav. Esp. Filler	3.120	3.120	3.120
Grav. Esp. Arena triturada	2.715	2.715	2.715
Grav. Esp. Grava 3/4 triturada	2.681	2.681	2.681
Grav. Esp. Bulk de la mezcla	2.616	2.515	2.614
Grav. Esp. Apar. de la mezcla	2.701	2.700	2.698

Valores asumidos por la AASHTO PP 28		
		Volumen
a % de Asf.	5.0	0.05
b % de Agreg.	95.0	0.950
c Grav. Esp. Asf.	1.018	
d % de Vacíos	4.0	0.04

Determinación del contenido teórico de asfalto - AASHTO PP 28							
Prueba de mezcla	e Grav. Esp. Bulk del agregado (Gse)	f Grav. Esp. Bulk efectiva (Gse ft)	g Grav. Esp. Aparente del agregado (Gsa)	h Volumen absorbido asf. (Vba)	i Vol. absorbido asf. efectivo (Vbe)	j Peso de la mezcla (Wm in)	k % asfalto (Pb in)
1	2.618	2.686	2.703	0.0220	0.1	2.264	4.7
2	2.617	2.685	2.701	0.0218	0.1	2.263	4.7
3	2.616	2.683	2.700	0.0216	0.1	2.262	4.7

Determinación de moldes de prueba									
Prueba de Mezcla	Gravedad específica bulk de la briqueta (Gmb)				Gravedad específica máximo - Rice (Gmm)				
	Peso seco del molde	Peso sum. del molde	Peso del molde SSS	Gmb	Peso de la mezcla suelta	peso del piconet + agua	peso del piconet + agua + mezcla suelta	Gmm	% de Vacíos
1	4693.7	2709.6	4705.1	2.348	1255.3	13538.0	14276.7	2.430	3.4
2	4699.3	2703.1	4715.8	2.335	1222.5	13538.0	14260.1	2.443	4.4
3	4690.0	2695.2	4700.5	2.334	1302.8	13538.0	14308.7	2.440	4.7

(Considerar el % de vacío mas cercano a 4%)

Determinación de la densificación para la mezcla de prueba									
Diametro del molde = 150 mm									
Prueba de Mezcla	%				%				Constante C
	Altura Nini	Grav. Esp. Bulk de la briqueta (Gmb) Nini	Altura Ndis	Grav. Esp. bulk de la briqueta (Gmb) Ndis	% compact. Nini	% compact. Ndis	% de vacíos	Vacíos del agregado mineral (VMA)	
1	122.2	2.195	110.3	2.348	89.1	96.6	3.4	14.8	0.2
2	122.7	2.158	110.2	2.335	88.3	95.8	4.4	15.7	0.2
3	122.3	2.157	110.5	2.334	88.1	95.3	4.7	15.9	0.2

Nini = Número inicial de giros (8 giros)

Ndis = Número de giros de diseño (100 giros)

Nmáx = Número de giros máximo (160 giros)

Constante C

0.1 si Va es menor a 4% y 0.2 si el Va es mayor a 4%.

Determinación del contenido de asfalto para alcanzar un 4 % de vacíos (96 % de compactación Ndis)						
Prueba de Mezcla	s Porcentaje de asfalto Pb,est	t Vacíos del agregado mineral (VMA,est)	u Vacíos llenos de asfalto (VFA,est)	v % compactación Nini Pb,est	w % asfalto efectivo Pbe,est	x Relación de polioleofina op
1	4.4	14.9	73.2	88.5	3.5	1.26
2	4.9	15.8	74.4	88.8	3.9	1.07
3	4.9	15.8	74.7	88.8	4.0	1.00

$$Pb\ est = \frac{k \cdot (0.4 \cdot (d - q))}{1 + (0.2 \cdot (d - q))}$$

$$N\ ini\ Pb\ est = \frac{0.4 \cdot (d - q)}{1 + (0.2 \cdot (d - q))}$$

$$VMA\ est = \frac{r \cdot (0.4 \cdot (d - q))}{1 + (0.2 \cdot (d - q))}$$

$$Pbe\ est = \frac{s \cdot ((b \cdot c) \cdot (t - e))}{((t \cdot e))}$$

$$VFA\ est = \frac{100 \cdot (t - d) \cdot t}{100 \cdot (t - d) \cdot t}$$

$$DP = \frac{\% \text{ malla } 200}{w}$$

#### OBSERVACIONES:

\* Muestra provista e identificada por el solicitante

\* Prohibida la reproducción de este documento sin la autorización escrita de INGEOCONTROL, salvo que la reproducción sea en su totalidad (INDECOPI: GP: 004: 1993)

INGEOCONTROL SAC		
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b> Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.  Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.  La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.	<b>REVISADO POR</b> Nombre y firma:  Lita Melgar Angeles JEFE DE LABORATORIO INGEOCONTROL S.A.C.	<b>AUTORIZADO POR</b> Nombre y firma:  Arnaldo Pérez Ccooscco CJP: 190140 Gerente Técnico





# INFORME

## DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO SUPERPAVE AASHTO PP28 / EG-2013 SECCIÓN 423

Código AE-FO-238

Versión 01

Fecha

Página 3 de 4

Proyecto : "EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Registro N°: L23-173-01

Solicitante : MODIFICADAS CON POLIMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024\*

Muestreado por: Solicitante

Cliente : ZUÑIGA ORCOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT

Diseñado por: J. Gutiérrez

Ubicación : CUSCO - CUSCO - SAN SEBASTIAN

Fecha de Diseño:

Tipo de Mezcla : Asfáltica en caliente

Tipo de Bitumen : Cemento asfáltico

### DISEÑO VOLUMÉTRICO

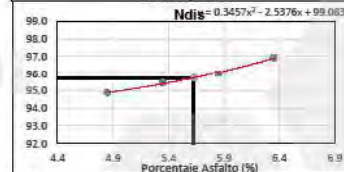
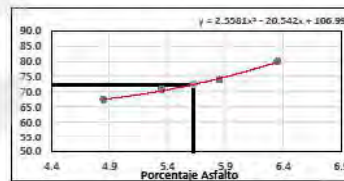
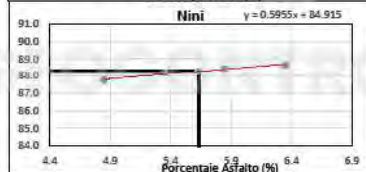
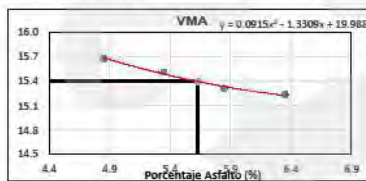
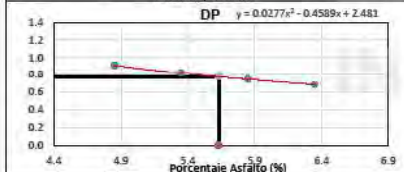
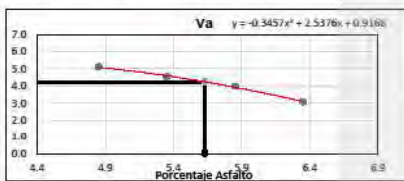
Características del agregado	
Porcentaje del Ag. grueso	45.0
Porcentaje del Ag. Fino	54.5
Gravedad esp. Bulk de la mezcla	2.615
Gravedad esp. Apar. de la mezcla	2.700

Valores asumidos por la ASHTO PP 28		
	Volumen	
% de Asf.	5.0	0.05
% de Agreg.	95.0	0.95
Grav. Esp. Asf.	1.018	
% de Vacíos	4.0	0.04

DISEÑO SEGÚN ESALS	
Altura de carpeta	100 mm
Nini	8
Ndis	100
Nmáx	160

Prueba de Mezcla	% asfalto (Pb,ini)	Grav. Esp. máx. - Ríce (Gmm)	Grav. Esp. Bulk efectiva (Gse,ini)	% absorbido (por el agregado)
I	4.9	2.443	2.531	0.24

Prueba de Mezcla	% asfalto	Propiedades Gravimétricas						Propiedades Volumétricas				Datos Volumétricos							
		Peso seco del molde	Peso sumergido del molde	Peso del molde SSS	Prom. (Gmb)	Altura Nini	Altura Ndis	Grav. Esp. Bulk de la briqueta (Gmb) Nini	Promedio Gmb Nini	% Compact Nini	Grav. Esp. Bulk briqueta (Gmb) Ndis	Promedio (Gmb) Ndis	Rice Gmm	% de Vacíos	Vacíos del agregado mineral (VMA)	Vacíos llenos de C.A. (VFA)	% asfalto efectivo (Pbe,est)	Relación de Fibras DP	% Compact. Ndis
1A	4.9	4698.8	2695.3	4715.9	2.321	121.4	112.2	2.145	2.146	87.7	2.190	2.321	2.446	5.1	15.7	67.4	4.6	0.91	94.9
1B	4.9	4696.1	2687.9	4715.2		121.5	111.7	2.147			2.187								
2A	5.4	4699.3	2699.1	4711.8	2.326	122.0	111.6	2.156	2.148	88.2	2.180	2.326	2.436	4.5	15.5	70.8	5.1	0.82	95.5
2B	5.4	4699.7	2693.9	4712.9		121.1	111.2	2.140			2.196								
3A	5.9	4698.1	2694.3	4705.2	2.331	121.3	111.0	2.144	2.147	88.4	2.192	2.331	2.428	4.0	15.3	73.9	5.6	0.75	96.0
3B	5.9	4695.8	2685.3	4704.3		121.7	110.5	2.151			2.183								
4A	6.4	4695.3	2693.0	4700.9	2.333	121.0	109.1	2.138	2.134	88.7	2.196	2.333	2.407	3.1	15.2	79.9	6.1	0.69	96.9
4B	6.4	4691.0	2680.8	4698.0		120.5	109.3	2.129			2.203								



Resumen de Ensayo					Porcentaje Óptimo			Especificación según EG 2013	
Porcentaje C.A.	4.9	5.4	5.9	6.4	5.43	5.63	5.83	Vacíos N dis	4%
Porcentaje Vacíos (Va)	5.1	4.5	4.0	3.1	4.5	4.2	4.0	VMA	13% Mín.
Vacíos del agregado mineral (VMA)	15.7	15.5	15.3	15.2	15.5	15.4	15.3	VFA	65% - 75%
Vacíos llenos de C.A. (VFA)	67.4	70.8	73.9	79.9	70.9	72.4	74.2	DP	0.6% - 1.3%
Relación de polvos/asfalto (DP)	0.9	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7	%compactación N ini	89 % Máx.
Porcentaje de compactación (Nini)	87.7	88.2	88.4	88.7	88.1	88.3	88.4	%compactación N dis	96 % Máx.
Porcentaje de compactación (Ndis)	94.9	95.5	96.0	96.9	95.5	95.8	96.0		

#### OBSERVACIONES:

\* Muestra provista e identificada por el solicitante

\* Prohibida la reproducción de este documento sin la autorización escrita de INGECONTROL, salvo que la reproducción sea en su totalidad (INDECOPI GP: 004/1993)

#### INGECONTROL SAC

##### AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGECONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

##### REVISADO POR

Nombre y firma:

*[Firma]*  
LIFE MARGA ANGELAS  
JEFE DE LABORATORIO  
INGECONTROL S.A.C.

##### AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

*[Firma]*  
ARMANDO PEREZ COSCO  
CIP: 190140  
Gerente Técnico




Teléfono  
01-729 3710  
997069600 / 997070406



Correo electrónico  
laboratorio@ingeocontrol.com.pe  
proyectos@ingeocontrol.com.pe



Dirección  
Jr. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila  
etapa 1- Comas - Lima

	<b>INFORME</b>		Código	AE-FO-230
	<b>DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE</b> <b>MÉTODO SUPERPAVE</b> <b>AASHTO PP28 / EG-2013 SECCIÓN 423</b>		Versión	01
			Fecha	
			Página	1 de 4

Proyecto	:"EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024"	Registro N°:	L24-242-05
Solicitante	: ZUÑIGA ORCOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	Muestreado por:	Solicitante
Cliente	: ZUÑIGA ORCOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	Diseñado por:	J. Gutiérrez
Ubicación de Proyecto	: CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN	Fecha de Diseño:	
Tipo de Mezcla	: Asfáltica en caliente		
Tipo de Bitumen	: Cemento asfáltico modificado con 4% Polímero SBS		

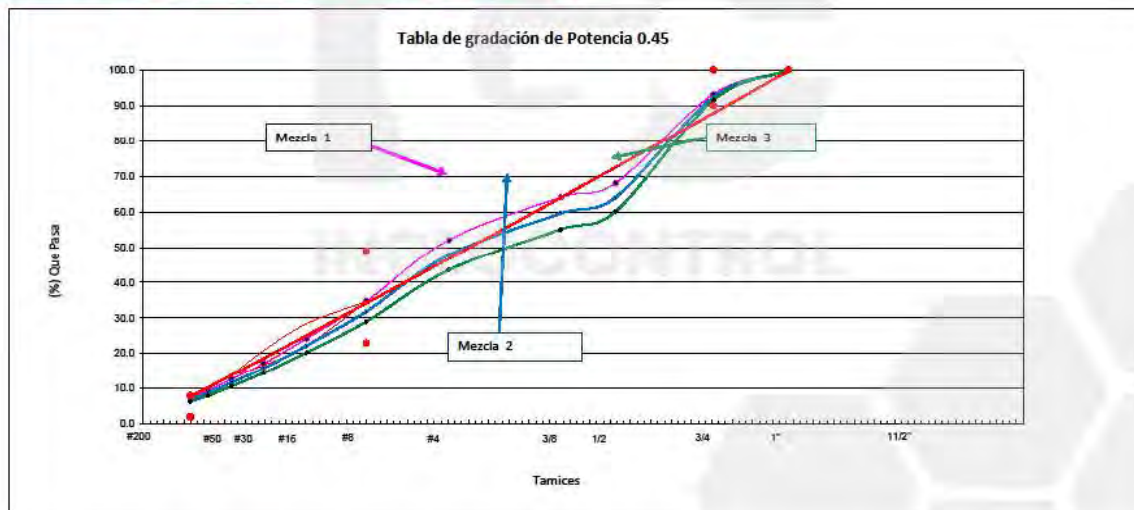
### GRANULOMETRÍA (ASTM C-136) COMBINACIÓN DE AGREGADOS (TEÓRICO)

MALLA DESIGNADO	mm	Mat. 1	Mat. 2	Mat. 3	Mat. 4	Prueba			Especificación Técnica		Línea de Densidad	Zona Restringida	
		Arena 3/4 triturada	Grava triturada	Arena triturada	Filler	N° 1	N° 2	N° 3	MINIMO	MAXIMO		19	
2 1/2"	63.5	100.00		100.00	100.00	100.0	100.0	100.0					
2"	50.8	100.00		100.00	100.00	100.0	100.0	100.0					
1 1/2"	38.1	100.00		100.00	100.00	100.0	100.0	100.0					
1"	25.4	100.00		100.00	100.00	100.0	100.0	100.0	100	100	100.0		
3/4"	19.0	83.00		100.00	100.00	93.2	92.4	91.5	90	100	88.4		
1/2"	12.7	20.10		100.00	100.00	68.0	64.0	60.1			73.2		
3/8"	9.5	10.00		100.00	100.00	64.0	59.5	55.0			59.6		
4	4.75	0.40		86.40	100.00	52.1	47.8	43.5			49.5		
8	3.36	0.30		57.20	100.00	34.7	31.8	29.0	23	49	34.6	34.6	34.6
16	1.18	0.30		39.60	100.00	24.2	22.2	20.3			25.3	22.3	20.3
30	0.60	0.30		27.80	98.00	17.2	15.8	14.5			18.7	16.7	20.7
50	0.30	0.20		20.30	98.00	12.6	11.6	10.6			13.7	13.7	13.7
100	0.15	0.20		14.90	95.00	8.4	8.7	8.0			10.0		
200	0.075	0.20		11.80	95.00	7.6	6.9	6.3	2	8	7.3		

#### % MEZCLA

Mezcla N° 1	40.00%	0.00%	53.50%	0.50%	100.0%
Mezcla N° 2	45.00%	0.00%	54.50%	0.50%	100.0%
Mezcla N° 3	50.00%	0.00%	49.50%	0.50%	100.0%

OK



#### OBSERVACIONES:

\* Muestra provista e identificada por el solicitante

\* Prohibida la reproducción de este documento sin la autorización escrita de INGEOCONTROL, salvo que la reproducción sea en su totalidad (INDECOPI: GP: 004: 1993)

INGEOCONTROL SAC		
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b> Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad. Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA. La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.	<b>REVISADO POR</b> Nombre y firma:  LUIS MELGAR ANGELES JEFE DE LABORATORIO INGEOCONTROL S.A.C.	<b>AUTORIZADO POR</b> Nombre y firma:  Amador Perez Ccoscco C.P. 190140 Gerente Técnico



Teléfono  
01-729 3710  
997069600 / 997070406




Correo electrónico  
laboratorio@ingeocontrol.com.pe  
proyectos@ingeocontrol.com.pe



Dirección  
Jr. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila  
etapa 1- Comas - Lima



	<b>INFORME</b>	Código	AE-FO-230
	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO SUPERPAVE AASHTO PP28 / EG-2013 SECCIÓN 423	Versión	01
		Fecha	
		Página	2 de 4

Proyecto: EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
 MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024\*  
 Solicitante: ZUÑIGA ORCOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT  
 Cliente: ZUÑIGA ORCOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT  
 Ubicación de Proyecto: CUSCO - CUSCO - SAN SEBASTIAN  
 Tipo de Mezcla: Asfáltica en caliente  
 Tipo de Bitumen: Cemento asfáltico modificado con 4% Polímero SBS

Registro N°: L24-242-05  
 Muestreado por: Solicitante  
 Diseñado por: J. Gutiérrez  
 Fecha de Diseño:

### PRUEBA DE MEZCLA

Espesor de la carpeta 4" = 10.0 cm

Características del agregado			
Mezcla de agregados	1	2	3
% Arena triturada	59.5	54.5	49.5
% Grava 3/4 triturada	40.0	45.0	50.0
% Filler	0.5	0.5	0.5
Grav. Esp. Arena triturada	2.623	2.624	2.623
Grav. Esp. Grava 3/4 triturada	2.606	2.605	2.605
Grav. Esp. Filler	3.120	3.120	3.120
Grav. Esp. Arena triturada	2.715	2.715	2.715
Grav. Esp. Grava 3/4 triturada	2.681	2.681	2.681
Grav. Esp. Bulk de la mezcla	2.618	2.615	2.614
Grav. Esp. Acar. de la mezcla	2.701	2.700	2.698

Valores asumidos por la AASHTO PP 28		
		Volumen
a % de Asf.	5.0	0.05
b % de Agreg.	95.0	0.950
c Grav. Esp. Asf.	1.023	
d % de Vacíos	4.0	0.04

Determinación del contenido teórico de asfalto - AASHTO PP 28							
Prueba de mezcla	e Grav. Esp. Bulk del agregado (Gsb)	f Grav. Esp. Bulk efectiva (Gse It)	g Grav. Esp. Aparente del agregado (Gsa)	h Volumen absorbido asf. (Vba)	i Vol. absorbido asf. efectivo (Vbe)	j Peso de la mezcla (Ws It)	k % asfalto (Pb It)
1	2.618	2.686	2.703	0.0220	0.1	2.266	4.7
2	2.617	2.685	2.701	0.0218	0.1	2.265	4.7
3	2.616	2.683	2.700	0.0217	0.1	2.263	4.7

Determinación de moldes de prueba								
Prueba de Mezcla	Gravedad específica bulk de la briqueta				Gravedad específica maximo - Rice			
	(Gmb)				(Gmm)			
	Peso seco del molde	Peso sum. del molde	Peso del molde SSS	Gmb	Peso de la mezcla suelta	peso del piconmet. + agua	peso del piconmet. + agua+ mezcla suelta	Gmm
1	4600.9	2706.0	4703.0	2.349	1234.9	13538.0	14266.0	2.438
2	4694.6	2703.4	4710.2	2.339	1253.7	13538.0	14279.2	2.448
3	4688.2	2693.1	4707.3	2.328	1266.0	13538.0	14287.7	2.452

(Considerar el % de vacío mas cercano a 4%)

Determinación de la densificación para la mezcla de prueba									
Diametro del molde = 150 mm					% de compactación con el % teorico del asf.				
Prueba de Mezcla	Altura Nini	Grav. Esp. Bulk de la briqueta (Gmb) Nini	Altura Ndis	Grav. Esp. Bulk de la briqueta (Gmb) Ndis	% compact. Nini	% compact. Ndis	% de vacíos	Vacíos del agregado mineral (VMA)	Constante C
1	122.6	2.180	110.5	2.349	88.7	98.4	3.6	14.8	0.2
2	122.4	2.155	110.3	2.339	88.1	95.6	4.4	15.5	0.2
3	122.8	2.153	110.8	2.328	87.8	94.9	5.1	16.1	0.2

Nini = Número inicial de giros (8 giros)

Ndis = Número de giros de diseño (100 giros)

Nmáx = Número de giros máximo (160 giros)

Constante C

0.1 si Va es menor a 4% y 0.2 si el Va es mayor a 4%

Determinación del contenido de asfalto para alcanzar un 4 % de vacíos (96 % de compactación Ndes)						
Prueba de Mezcla	s Porcentaje de asfalto Pb,est	t Vacíos del agregado mineral (VMA,est)	u Vacíos llenos de asfalto (VFA,est)	v % compactación Nini Pb,est	w % asfalto efectivo Pbe,est	x Relación de polvo/asfalto DP
1	4.5	14.8	73.0	88.2	3.8	1.22
2	4.8	15.4	74.0	88.5	3.9	1.07
3	5.1	15.9	74.8	88.9	4.2	0.95


$$\begin{aligned}
 Pb_{est} &= \frac{k \cdot (0.4 \cdot (d - q))}{r + (0.2 \cdot (d - q))} & Nini &= \frac{d \cdot (d - q)}{s \cdot ((b \cdot c) \cdot (f - e)) / ((f \cdot e))} \\
 VMA_{est} &= \frac{100 \cdot (t - d) / t}{DP} & Pbe_{est} &= \frac{s \cdot ((b \cdot c) \cdot (f - e)) / ((f \cdot e))}{\% \text{ malla } 200 / w}
 \end{aligned}$$

#### OBSERVACIONES:

\* Muestra provista e identificada por el solicitante

\* Prohibida la reproducción de este documento sin la autorización escrita de INGEOCONTROL, salvo que la reproducción sea en su totalidad (INDECOPI: GP: 004: 1993)

INGEOCONTROL SAC		
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b> Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad. Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA. La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.	<b>REVISADO POR</b> Nombre y firma:  Luis Miguel Angelis JEFE DE LABORATORIO INGEOCONTROL S.A.C.	<b>AUTORIZADO POR</b> Nombre y firma:  Arnaldo Pérez Coscco CIP: 190140 Gerente Técnico

	<b>INFORME</b>		Código	AE-FO-230
	<b>DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE</b>		Versión	01
	<b>MÉTODO SUPERPAVE</b>		Fecha	
	<b>AASHTO PP28 / EG-2013 SECCIÓN 423</b>		Página	3 de 4

Proyecto	: "EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024"	Registro N°:	L24-242-05
Solicitante	: ZUÑIGA ORCOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	Muestreado por:	Solicitante
Cliente	: ZUÑIGA ORCOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	Diseñado por:	J. Gutiérrez
Ubicación	: CUSCO - CUSCO - SAN SEBASTIAN	Fecha de Diseño:	
Tipo de Mezcla	: Asfáltica en caliente		
Tipo de Bitumen	: Cemento asfáltico modificado con 4% Polímero SBS		

## DISEÑO VOLUMÉTRICO

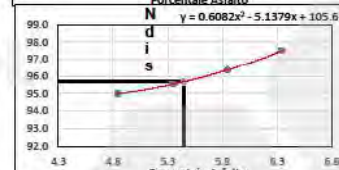
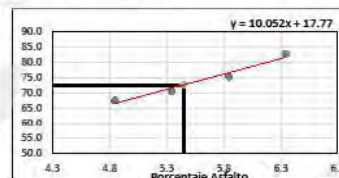
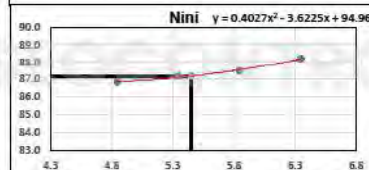
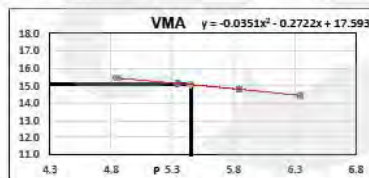
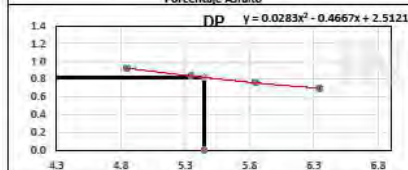
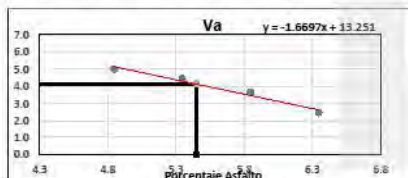
Características del agregado	
Porcentaje del Ag. grueso	45.0
Porcentaje del Ag. Fino	54.5
Gravedad esp. Bulk de la mezcla	2.615
Gravedad esp. Apar. de la mezcla	2.700

Valores asumidos por la AASHTO PP 28		
% de Asf.	5.0	0.05
% de Agreg.	95.0	0.95
Grav. Esp. Asf.	1.023	
% de Vacíos	4.0	0.04

DISEÑO SEGÚN EBA3	
Altura de carpeta	100 mm
Nini	8
Ndie	100
Nmáx	160

Prueba de Mezcla	% asfalto (Pb, ni)	Grav. Esp. máximo - Rho (Gmm)	Grav. Esp. Bulk efectiva (Gse, ni)	% absorbido por el agregado
1	4.8	2.446	2.633	0.27

Prueba de Mezcla	% asfalto	Propiedades Gravimétricas					Propiedades Volumétricas					Datos Volumétricos							
		Peso seco del molde	Peso sumergido del molde	Peso del molde SSS	Prom. (Gmb)	Altura Nini	Altura Ndis	Grav. Esp. Bulk de la brigueta (Gmb) Nini	Promedio Gmb Nini	% Compact. Nini	Grav. Esp. Bulk brigueta (Gmb) Nides	Promedio (Gmb) Nides	Rice Gmm	% de Vacíos	Vacíos del agregado mineral (VMA)	Vacíos llenos de C.A. (VFA)	% asfalto efectivo (Pbe,as)	Relación de Filler/asf DP	% Compact. Nides
1A	4.8	4699.3	2690.0	4707.8	2.327	120.2	112.2	2.124	2.128	86.8	2.208	2.327	2.450	5.0	15.5	67.6	4.6	0.91	95.0
1B	4.8	4692.4	2699.1	4712.7		120.6	112.0	2.131			2.202								
2A	5.3	4685.8	2685.2	4701.8	2.336	120.7	111.3	2.133	2.131	87.2	2.197	2.336	2.445	4.5	15.1	70.5	5.1	0.82	95.5
2B	5.3	4687.9	2699.7	4705.7		120.5	110.2	2.129			2.201								
3A	5.8	4699.1	2705.2	4707.9	2.345	120.5	109.2	2.129	2.129	87.5	2.207	2.345	2.434	3.7	14.8	75.3	5.6	0.75	96.3
3B	5.8	4697.0	2701.1	4705.5		120.5	109.0	2.129			2.206								
4A	6.3	4685.1	2706.0	4688.7	2.355	120.2	108.4	2.124	2.130	88.2	2.206	2.355	2.415	2.5	14.4	82.7	6.1	0.69	97.5
4B	6.3	4705.4	2704.8	4710.1		120.9	108.9	2.136			2.202								



Resumen de Ensayo					Porcentaje Óptimo				Especificación según EG 2013			
Porcentaje C.A.	4.8	5.3	5.8	6.3	Porcentaje C.A.	5.25	5.45	5.65	Vacíos N die	4%		
Porcentaje Vacíos (Va)	5.0	4.5	3.7	2.5	Porcentaje Vacíos (Va)	4.5	4.2	3.8	VMA	13% Mín.		
Vacíos del agregado mineral (VMA)	15.5	15.1	14.8	14.4	Vacíos del agregado mineral (VMA)	15.2	15.1	14.8	VFA	65% - 75%		
Vacíos llenos de C.A.(VFA)	67.6	70.5	75.3	82.7	Vacíos llenos de C.A.(VFA)	70.5	72.6	74.6	DP	0.6% - 1.3%		
Relación de polvo/asfalto (DP)	0.9	0.8	0.8	0.7	Relación de polvo/asfalto (DP)	0.8	0.8	0.8	% compactación N ini	85 % Máx.		
Porcentaje de compactación (Nini)	86.8	87.2	87.5	88.2	Porcentaje de compactación (Nini)	87.0	87.2	87.3	% compactación N die	96 % Máx.		
Porcentaje de compactación (Nides)	95.0	95.5	96.3	97.5	Porcentaje de compactación (Nides)	95.4	95.7	96.0				

## OBSERVACIONES:

\* Muestra provista e identificada por el solicitante

\* Prohibida la reproducción de este documento sin la autorización escrita de INGENIOCONTROL, salvo que la reproducción sea en su totalidad (INDECOPI GP: 004: 1993)

## INGEOCONTROL SAC

## AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:


Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

## REVISADO POR

Nombre y firma:


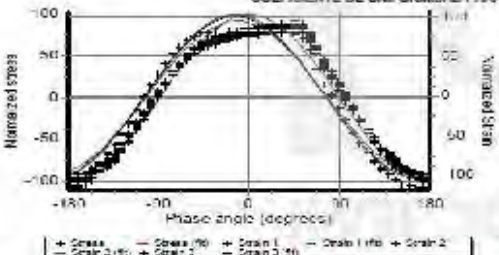
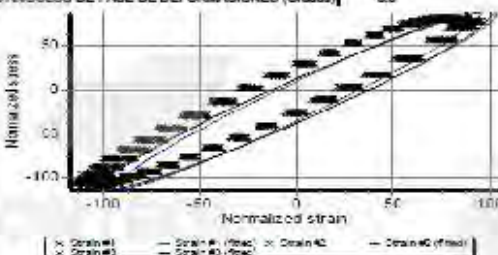
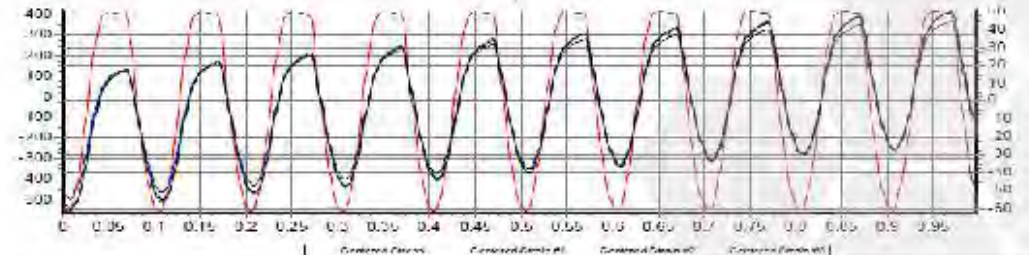


  
Luis Melgar Arroyave  
JEFE DE LABORATORIO  
INGEOCONTROL SAC


## AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

  
Arnaldo Pérez Cuscosco  
CIP: 190140  
Gerente Técnico



 <b>REPORT DE ENSAYO</b>		Código	AB-PO-230			
<b>ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO PARA MEZCLAS AASHTO TP 79 / AASHTO T 342</b>		Versión	01			
Proyecto	EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024	Registro N°:	L24-242-06			
Solicitante	ZUÑIGA ORCOCCHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	Muestreado por:	Solicitante			
Cliente	ZUÑIGA ORCOCCHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	Diseñado por:	J. Gutiérrez			
Ubicación de Proyecto	CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN					
Tipo de Mezcla	Asfalto convencional					
<b>DATOS GENERALES DE MEZCLA</b>						
PIEDRA CHANCADA 3/4 (Cané.)	: 45.0 %	TIPO DE PRODUCCIÓN	: Laboratorio			
ARENA CHANCADA (Cané.)	: 54.5 %	TIPO DE COMPACTACIÓN	: Compactador Giratorio			
FILLER CAL HIDRATADA	: 0.5 %	% VACÍOS	: 5.00 %			
TIPO DE ASFALTO CONVENCIONAL	: 50 / 70	DENSIDAD MÁXIMA RICE	: 2.437 Gmm			
		% ASFALTO	: 5.53 %			
		OPERADOR				
<b>DATOS INICIALES DE PRUEBA</b>						
Nº DE LA MUESTRA	: 1	ANCHO DE PULSO DE CARGA	: 10 Hz			
NOMBRE DE LA MUESTRA	: E*	TEMPERATURA DE ENSAYO	: 6.0 °C			
DIÁMETRO	: 104.6 mm	ACONDICIONADO AL AIRE	: 24 Horas.			
ALTURA	: 152.6 mm					
AREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL	: 8585.0 mm²					
<b>RESULTADO DEL PROCESAMIENTO DE ENSAYO A</b>						
10 Hz    6 °C						
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	13694	CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	1.6			
ÁNGULO DE FASE (Grados)	13.82	ERROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	10.9			
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	5.8	PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	-90.0			
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	0	PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	9.9			
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	76	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	3.4			
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD PARA LOS ÁNGULOS DE FASE DE DEFORMACIONES (Grados)	0.8					
 						
						
<b>INGEOCONTROL SAC</b>						
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b>  Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (JEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.  Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.  La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.	<b>REVISADO POR</b>  Nombre y firma:   J. Gutiérrez JEFE DE LABORATORIO INGEOCONTROL SAC	<b>AUTORIZADO POR</b>  Nombre y firma:   J. Gutiérrez JEFE DE LABORATORIO INGEOCONTROL SAC				
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 33%;"> <b>Teléfono</b>            01-729 3730            997059600 / 997070406         </td> <td style="width: 33%;"> <b>Correo electrónico</b>            laboratorio@ingeocontrol.com.pe            proyectos@ingeocontrol.com.pe         </td> <td style="width: 33%;"> <b>Dirección</b>            Jr. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila            etapa 1 - Comas - Lima         </td> </tr> </table>				<b>Teléfono</b> 01-729 3730 997059600 / 997070406	<b>Correo electrónico</b> laboratorio@ingeocontrol.com.pe proyectos@ingeocontrol.com.pe	<b>Dirección</b> Jr. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila etapa 1 - Comas - Lima
<b>Teléfono</b> 01-729 3730 997059600 / 997070406	<b>Correo electrónico</b> laboratorio@ingeocontrol.com.pe proyectos@ingeocontrol.com.pe	<b>Dirección</b> Jr. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila etapa 1 - Comas - Lima				

	<b>REPORTE DE ENSAYO</b>	Código	AB-PO-230
	<b>ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO PARA MEZCLAS AASHTO TP 79 / AASHTO T 342</b>	Versión	01

<b>Proyecto</b> : EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024*	<b>Registro N°</b> : L24-242-05
<b>Solicitante</b> : ZUÑIGA ORCOOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	<b>Muestreado por</b> : Solicitante
<b>Cliente</b> : ZUÑIGA ORCOOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	<b>Diseñado por</b> : J. Gutiérrez
<b>Ubicación de Proyecto</b> : CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN	
<b>Tipo de Mezcla</b> : Asfalto convencional	

---

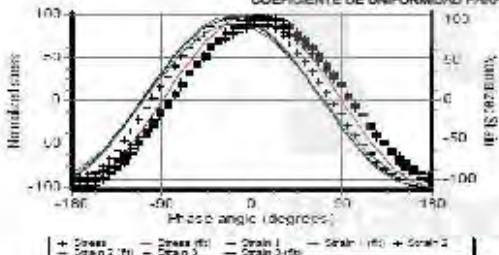
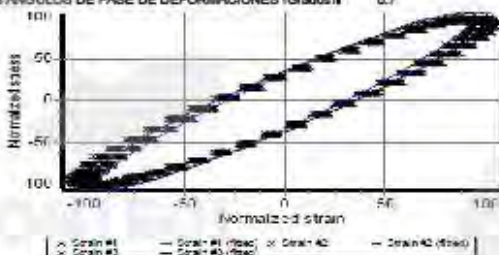
<b>DATOS GENERALES DE MEZCLA</b>			
PIEDRA CHANCADA 3/4 (Can.)	: 45.0	%	
ARENA CHANCADA (Can.)	: 54.5	%	
FILLER CAL HIDRATADA	: 0.5	%	
<b>TIPO DE ASFALTO CONVENCIONAL</b> : 50 / 70			
<b>TIPO DE PRODUCCIÓN</b> : Laboratorio		<b>TIPO DE COMPACTACIÓN</b> : Compactador Giretorio	
<b>% VACÍOS</b> : 5.00		%	
<b>DENSIDAD MÁXIMA RICE</b> : 2.437		Gmm	
<b>% ASFALTO</b> : 5.53		%	
<b>OPERADOR</b> :			

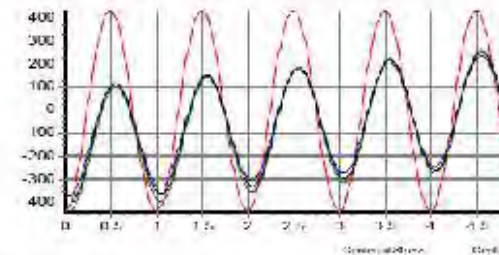
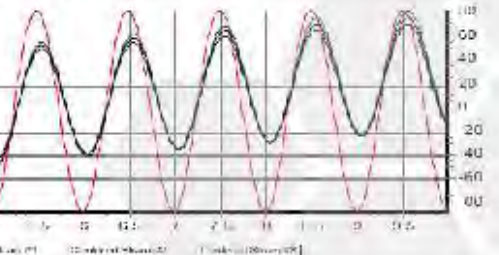
---

<b>DATOS INICIALES DE PRUEBA</b>			
<b>N° DE LA MUESTRA</b> : 1			
<b>NOMBRE DE LA MUESTRA</b> : E*			<b>ANCHO DE PULSO DE CARGA</b> : 1
<b>DIÁMETRO</b> : 104.6	mm		<b>TEMPERATURA DE ENSAYO</b> : 6.0
<b>ALTURA</b> : 152.6	mm		<b>ACONDICIONADO AL AIRE</b> : 24
<b>AREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL</b> : 8585.0	mm <sup>2</sup>		Horas.



---

<b>RESULTADO DEL PROCESAMIENTO DE ENSAYO A</b>		<b>1 Hz</b>	<b>6°C</b>
<b>MÓDULO DINÁMICO (Mpa)</b> : 9080 <b>ÁNGULO DE FASE (Grados)</b> : 19.20 <b>PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)</b> : 5.0 <b>PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)</b> : 0 <b>PROMEDIO DE MICRO-STRAIN</b> : 96	<b>CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)</b> : 0.1 <b>ERROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)</b> : 0.6 <b>PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)</b> : -129.1 <b>PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)</b> : 1.6 <b>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)</b> : 4.1 <b>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD PARA LOS ÁNGULOS DE FASE DE DEFORMACIONES (Grados)</b> : 0.7		


---

<b>INGEOCONTROL SAC</b>		
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD</b>  Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (JEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.  Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPA NO CONTROLADA.  La interpretación y uso de los resultados escritos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.	<b>REVISADO POR</b>  Nombre y firma:   J. Gutiérrez JEFE DE LABORATORIO INGEOCONTROL SAC	<b>AUTORIZADO POR</b>  Nombre y firma:   J. Gutiérrez JEFE DE LABORATORIO INGEOCONTROL SAC

---

<b>Teléfono</b> 01-729 3770 997059600 / 997070406	<b>Correo electrónico</b> laboratorio@ingeocontrol.com.pe proyectos@ingeocontrol.com.pe	<b>Dirección</b> Jr. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila etapa 1- Comas - Lima
---	---	---



	<b>REPORTE DE ENSAYO</b>		Código	AB-PO-230
	<b>ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO PARA MEZCLAS AASHTO TP 79 / AASHTO T 342</b>		Versión	01

<b>Proyecto</b> : EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024*	<b>Registro N°</b> : L24-242-05
<b>Solicitante</b> : ZUÑIGA ORCOOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	<b>Muestreado por</b> : Solicitante
<b>Cliente</b> : ZUÑIGA ORCOOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	<b>Diseñado por</b> : J. Gutiérrez
<b>Ubicación de Proyecto</b> : CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN	
<b>Tipo de Mezcla</b> : Asfalto convencional	

---

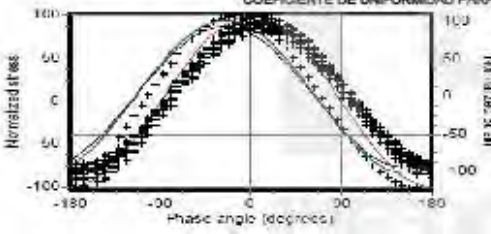
<b>DATOS GENERALES DE MEZCLA</b>			
PIEDRA CHANCADA 3/4 (Cané.)	: 45.0	%	
ARENA CHANCADA (Cané.)	: 54.5	%	
FILLER CAL HIDRATADA	: 0.5	%	
<b>Tipo de Asfalto Convencional</b> : 50 / 70			
<b>Tipo de Producción</b> : Laboratorio		<b>Tipo de Compactación</b> : Compactador Gíatorio	
<b>% Vacíos</b> : 5.00		%	
<b>Densidad Máxima Rice</b> : 2.437		Gmm	
<b>% Asfalto</b> : 5.53		%	
<b>Operador</b> :			

---


<b>DATOS INICIALES DE PRUEBA</b>			
N° de la Muestra	: 1		
Nombre de la Muestra	: E*		
Diámetro	: 104.6	mm	<b>Ancho de Pulso de Carga</b> : 0.1 Hz
Altura	: 152.6	mm	<b>Temperatura de Ensayo</b> : 6.8 °C
Área de Sección Transversal	: 8585.0	mm²	<b>Acondicionado al Aire</b> : 24 Horas

---

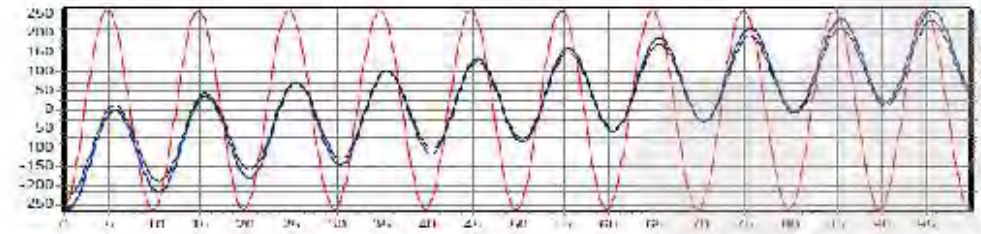
<b>RESULTADO DEL PROCESAMIENTO DE ENSAYO A</b>		<b>0.1 Hz    6 °C</b>
<b>Módulo Dinámico (Mpa)</b> : 5471 <b>Ángulo de Fase (Grados)</b> : 25.53 <b>Promedio de Temperatura (°C)</b> : 5.0 <b>Promedio de Presión de Confinamiento (kPa)</b> : 0 <b>Promedio de Micro-strain</b> : 95	<b>Carga Aplicada a la Deriva (%)</b> : -0.3 <b>Error Estándar para la Carga Aplicada (%)</b> : 0.4 <b>Promedio de Deformaciones a la Deriva (%)</b> : -245.3 <b>Promedio Estándar de Error de Deformaciones (%)</b> : 6.1 <b>Coefficiente de Uniformidad de Deformaciones (%)</b> : 3.8 <b>Coefficiente de Uniformidad para los Ángulos de Fase de Deformaciones (Grados)</b> : 0.4	



Normalized Stress vs Phase Angle (degrees)





Normalized Stress vs Normalized Strain




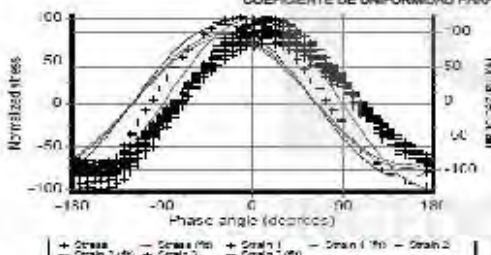
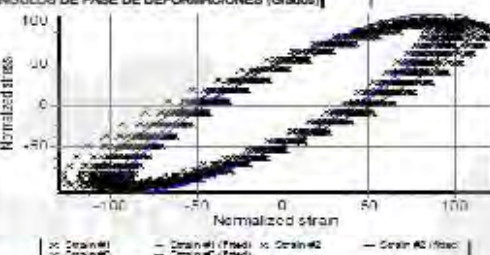
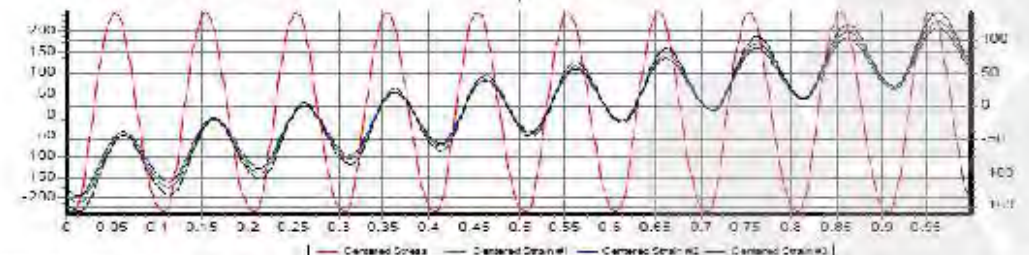

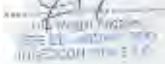


Normalized Stress vs Time (seconds)

---


INGEOCONTROL SAC		
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b>  Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Asesoramiento de la Calidad.  Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.  La interpretación y uso de los resultados emitidos quedan a entera responsabilidad del usuario solicitante.	<b>REVISADO POR</b>  Nombre y firma: 	<b>AUTORIZADO POR</b>  Nombre y firma: 

---

<b>Teléfono</b> 01-729 3770 997059600 / 997070406	<b>Correo electrónico</b> laboratorio@ingeocontrol.com.pe proyectos@ingeocontrol.com.pe	<b>Dirección</b> Jr. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila etapa 1 - Comas - Lima
---	---	--

 <b>REPORT DE ENSAYO</b>		Código	AB-PO-230
<b>ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO PARA MEZCLAS AASHTO TP 79 / AASHTO T 342</b>		Versión	01
Proyecto	: EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024	Registro N°:	L24-242-05
Solicitante	: ZUÑIGA ORCOCHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	Muestreado por:	Solicitante
Cliente	: ZUÑIGA ORCOCHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	Diseñado por:	J. Gutiérrez
Ubicación de Proyecto	: CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN		
Tipo de Mezcla	: Asfalto convencional		
<b>DATOS GENERALES DE MEZCLA</b>			
PIEDRA CHANCADA 3/4 (Cané.)	: 45.0 %	TIPO DE PRODUCCIÓN	: Laboratorio
ARENA CHANCADA (Cané.)	: 54.5 %	TIPO DE COMPACTACIÓN	: Compactador Giratorio
FILLER CAL HIDRATADA	: 0.5 %	% VACÍOS	: 5.00 %
TIPO DE ASFALTO CONVENCIONAL	: 50 / 70	DENSIDAD MÁXIMA RICE	: 2.437 Gmm
		% ASFALTO	: 5.53 %
		OPERADOR	
<b>DATOS INICIALES DE PRUEBA</b>			
N° DE LA MUESTRA	: 2	ANCHO DE PULSO DE CARGA	: 10 Hz
NOMBRE DE LA MUESTRA	: E"	TEMPERATURA DE ENSAYO	: 20 °C
DIÁMETRO	: 104.6 mm	ACONDICIONADO AL AIRE	: 4 Horas.
ALTURA	: 152.6 mm		
AREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL	: 8585.0 mm <sup>2</sup>		
<b>RESULTADO DEL PROCESAMIENTO DE ENSAYO A 10 Hz 20 °C</b>			
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	5253	CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	0.4
ÁNGULO DE FASE (Grados)	28.35	EROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	3.2
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	20	PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	-411.6
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	0	PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	6.8
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	92	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	8.0
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD PARA LOS ÁNGULOS DE FASE DE DEFORMACIONES (Grados)			
			
			
<b>INGEOCONTROL SAC</b>			
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b>  Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.  Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento; toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.  La interpretación y uso de los resultados entienda queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.	<b>REVISADO POR</b>  Nombre y firma:   	<b>AUTORIZADO POR</b>  Nombre y firma:   	



	<b>REPORTE DE ENSAYO</b>		Código	AB-PO-230
	<b>ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO PARA MEZCLAS AASHTO TP 79 / AASHTO T 342</b>		Versión	01

Proyecto	: EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024	Registro N°:	L24-242-05
Solicitante	: ZUÑIGA ORCOOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	Muestreado por:	Solicitante
Cliente	: ZUÑIGA ORCOOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	Diseñado por:	J. Gutiérrez
Ubicación de Proyecto	: CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN		
Tipo de Mezcla	: Asfalto convencional		

---

<b>DATOS GENERALES DE MEZCLA</b>			
PIEDRA CHANCADA 3/4 (Cant.)	: 45.0	%	TIPO DE PRODUCCIÓN
ARENA CHANCADA (Cant.)	: 54.5	%	: Laboratorio
FILLER CAL HIDRATADA	: 0.5	%	TIPO DE COMPACTACIÓN
			: Compactador Giratorio
			% VACÍOS
			: 6.00
			DENSIDAD MÁXIMA RICE
			: 2.437
			% ASFALTO
			: 5.53
			OPERADOR
TIPO DE ASFALTO CONVENCIONAL	: 50 / 70		

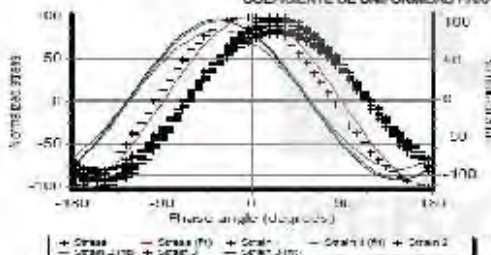
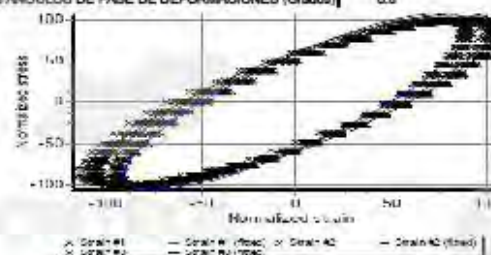
---

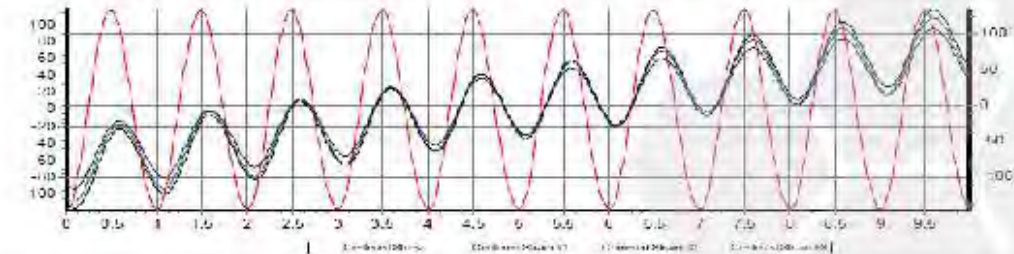
<b>DATOS INICIALES DE PRUEBA</b>			
N° DE LA MUESTRA	: 2	ANCHO DE PULSO DE CARGA	: 1 Hz
NOMBRE DE LA MUESTRA	: E*	TEMPERATURA DE ENSAYO	: 20 °C
DIÁMETRO	: 104.6 mm	ACONDICIONADO AL AIRE	: 4 Horas.
ALTURA	: 152.6 mm		
AREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL	: 8585.0 mm <sup>2</sup>		

---


<b>RESULTADO DEL PROCESAMIENTO DE ENSAYO A</b>		<b>1 Hz    20 °C</b>
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	: 2498	CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)
ÁNGULO DE FASE (Grados)	: 33.37	: 0.2
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	: 20	EROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	: 0	: 1.5
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	: 94	PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)
		: -351.2
		PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)
		: 3.3
		COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)
		: 6.5
		COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD PARA LOS ÁNGULOS DE FASE DE DEFORMACIONES (Grados)
		: 0.8

<b>INGEOCONTROL SAC</b>		
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b> Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.  Prohíbese la reproducción total o parcial del presente documento. Toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.  La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.	<b>REVISADO POR</b>  Nombre y firma:  J. GUTIÉRREZ JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES (LEM-INGEOCONTROL SAC)	<b>AUTORIZADO POR</b>  Nombre y firma:  J. GUTIÉRREZ JEFE TÉCNICO

	<b>REPORTE DE ENSAYO</b>		Código	AB-PO-230
	<b>ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO PARA MEZCLAS AASHTO TP 79 / AASHTO T 342</b>		Versión	01

<b>Proyecto</b> : EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024*	<b>Registro N°</b> : L24-242-05
<b>Solicitante</b> : ZUÑIGA ORCOCHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	<b>Muestreado por</b> : Solicitante
<b>Cliente</b> : ZUÑIGA ORCOCHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	<b>Diseñado por</b> : J. Gutiérrez
<b>Ubicación de Proyecto</b> : CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN	
<b>Tipo de Mezcla</b> : Asfalto convencional	

---

<b>DATOS GENERALES DE MEZCLA</b>			
PIEDRA CHANCADA 3/4 (Cané.)	: 45.0	%	TIPO DE PRODUCCIÓN
ARENA CHANCADA (Cané.)	: 54.5	%	: Laboratorio
FILLER CAL HIDRATADA	: 0.5	%	TIPO DE COMPACTACIÓN
			: Compactador Giratorio
			% VACÍOS
			: 5.00
			DENSIDAD MÁXIMA RICE
			: 2.437
			% ASFALTO
			: 5.53
			OPERADOR
TIPO DE ASFALTO CONVENCIONAL	: 50 / 70		

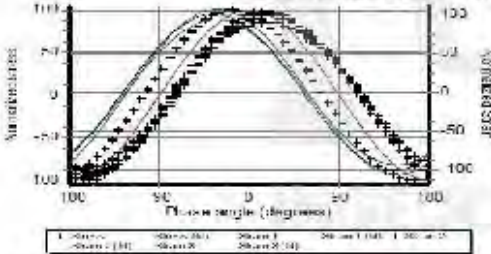
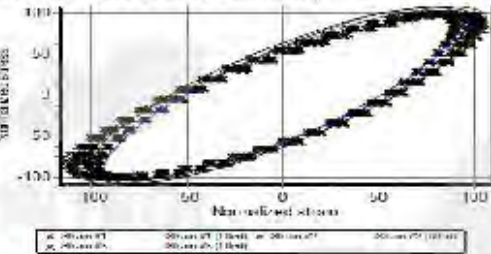
---

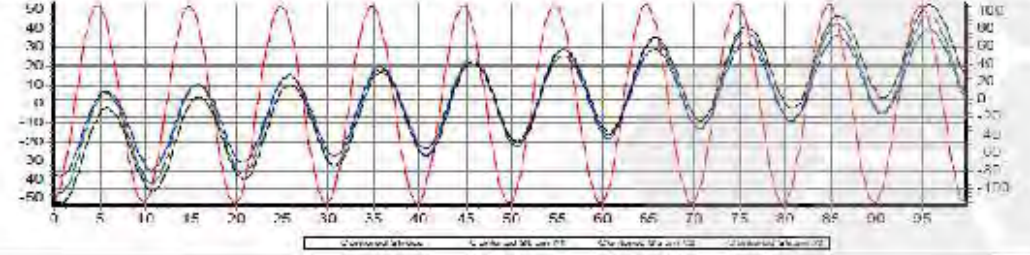
<b>DATOS INICIALES DE PRUEBA</b>			
N° DE LA MUESTRA	: 2	ANCHO DE PULSO DE CARGA	: 0.1 Hz
NOMBRE DE LA MUESTRA	: E*	TEMPERATURA DE ENSAYO	: 20 °C
DIÁMETRO	: 104.6 mm	ACONDICIONADO AL AIRE	: 4 Horas.
ALTURA	: 152.6 mm		
AREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL	: 8585.0 mm <sup>2</sup>		



---

<b>RESULTADO DEL PROCESAMIENTO DE ENSAYO A 0.1 Hz 20 °C</b>			
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	: 1043	CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	: 0.3
ÁNGULO DE FASE (Grados)	: 33.80	EROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	: 0.7
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	: 20	PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	: -206.3
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	: 0	PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	: 2.8
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	: 99	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	: 5.3
		COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD PARA LOS ÁNGULOS DE FASE DE DEFORMACIONES (Grados)	: 1.7


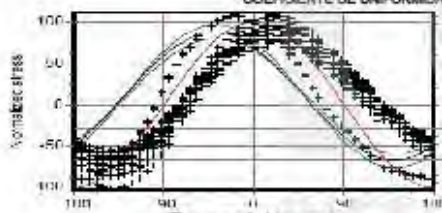
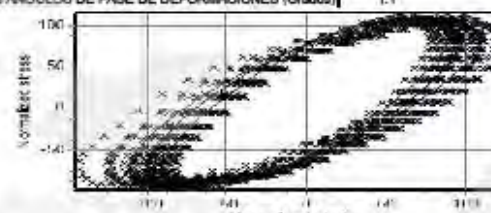
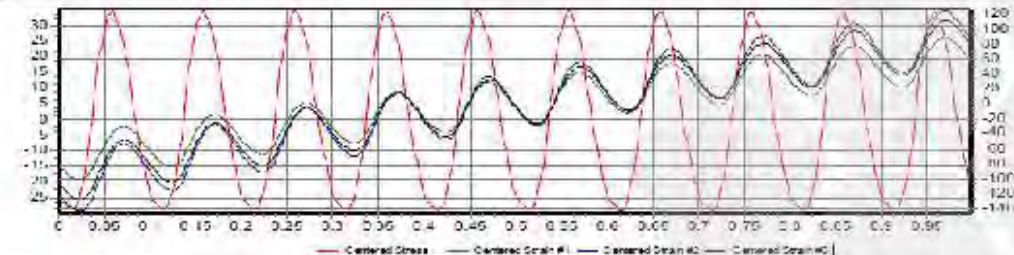


  

  


INGEOCONTROL SAC		
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b>  Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.  Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento; toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.  La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.	<b>REVISADO POR</b>  Nombre y firma:   JEFE DE LABORATORIO INGEOCONTROL SAC	<b>AUTORIZADO POR</b>  Nombre y firma:   Gerente Técnico

<b>Teléfono</b> 01-729 3780 997059600 / 997070406	<b>Correo electrónico</b> laboratorio@ingeocontrol.com.pe proyectos@ingeocontrol.com.pe	<b>Dirección</b> Av. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila etapa 1 - Comas - Lima
---	---	--



 <b>REPORT DE ENSAYO</b>		Código	AB-PO-230
<b>ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO PARA MEZCLAS AASHTO TP 79 / AASHTO T 342</b>		Versión	01
Proyecto	: EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024		Registro N°: L24-242-05
Solicitante	: ZUÑIGA ORCOCHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	Muestreado por:	Solicitante
Cliente	: ZUÑIGA ORCOCHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	Diseñado por:	J. Gutiérrez
Ubicación de Proyecto	: CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN		
Tipo de Mezcla	: Asfalto convencional		
<b>DATOS GENERALES DE MEZCLA</b>			
PIEDRA CHANCADA 3/4 (Cant.)	: 45.0 %	TIPO DE PRODUCCIÓN	: Laboratorio
ARENA CHANCADA (Cant.)	: 54.5 %	TIPO DE COMPACTACIÓN	: Compactador Giratorio
FILLER CAL HIDRATADA	: 0.5 %	% VACÍOS	: 6.00 %
TIPO DE ASFALTO CONVENCIONAL	: 50 / 70	DENSIDAD MÁXIMA RICE	: 2.437 Gmm
		% ASFALTO	: 5.53 %
		OPERADOR	
<b>DATOS INICIALES DE PRUEBA</b>			
Nº DE LA MUESTRA	: 3	ANCHO DE PULSO DE CARGA	: 10 Hz
NOMBRE DE LA MUESTRA	: E*	TEMPERATURA DE ENSAYO	: 40 °C
DIÁMETRO	: 104.6 mm	ACONDICIONADO AL AIRE	: 3 Horas.
ALTURA	: 152.6 mm		
AREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL	: 8585.0 mm²		
<b>RESULTADO DEL PROCESAMIENTO DE ENSAYO A 10 Hz 40 °C</b>			
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	: 934.2	CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	: -2.3
ÁNGULO DE FASE (Grados)	: 38.92	EROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	: 8.2
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	: 40	PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	: -494.6
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	: 0	PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	: 11.8
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	: 68	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	: 8.6
		COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD PARA LOS ÁNGULOS DE FASE DE DEFORMACIONES (Grados)	: 1.1
 			
			
<b>INGEOCONTROL SAC</b>			
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b> Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad. Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento; toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA. La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.	<b>REVISADO POR</b> Nombre y firma:  J. Gutiérrez JEFE DE LABORATORIO INGEOCONTROL SAC	<b>AUTORIZADO POR</b> Nombre y firma:  J. Gutiérrez JEFE TÉCNICO INGEOCONTROL SAC	
Teléfono: 01-729 370 997059600 / 997070406	Correo electrónico: laboratorio@ingeocontrol.com.pe proyectos@ingeocontrol.com.pe	Dirección: Jr. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila etapa 1 - Comas - Lima	

	<b>REPORTE DE ENSAYO</b>	Código	AB-PO-230
	<b>ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO PARA MEZCLAS AASHTO TP 79 / AASHTO T 342</b>	Versión	01

<b>Proyecto</b> : EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024*	<b>Registro N°</b> : L24-242-05
<b>Solicitante</b> : ZUÑIGA ORCOOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	<b>Muestreado por</b> : Solicitante
<b>Cliente</b> : ZUÑIGA ORCOOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	<b>Diseñado por</b> : J. Gutiérrez
<b>Ubicación de Proyecto</b> : CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN	
<b>Tipo de Mezcla</b> : Asfalto convencional	

---

<b>DATOS GENERALES DE MEZCLA</b>	
<b>PIEDRA CHANCADA 3/4 (Cant.)</b> : 45.0 %	<b>TIPO DE PRODUCCIÓN</b> : Laboratorio
<b>ARENA CHANCADA (Cant.)</b> : 54.5 %	<b>TIPO DE COMPACTACIÓN</b> : Compactador Giratorio
<b>FILLER CAL HIDRATADA</b> : 0.5 %	<b>% VACÍOS</b> : 6.00 %
<b>TIPO DE ASFALTO CONVENCIONAL</b> : 80 / 70	<b>DENSIDAD MÁXIMA RICE</b> : 2.437 Gmm
	<b>% ASFALTO</b> : 5.63 %
	<b>OPERADOR</b> :

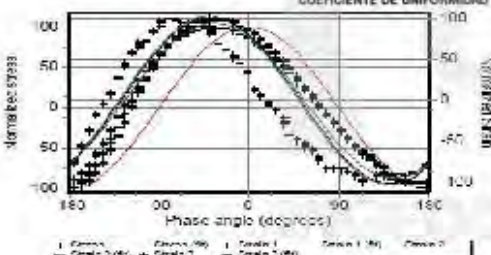
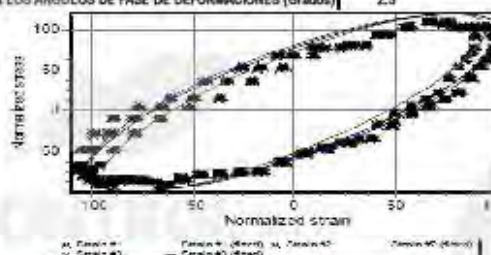
---

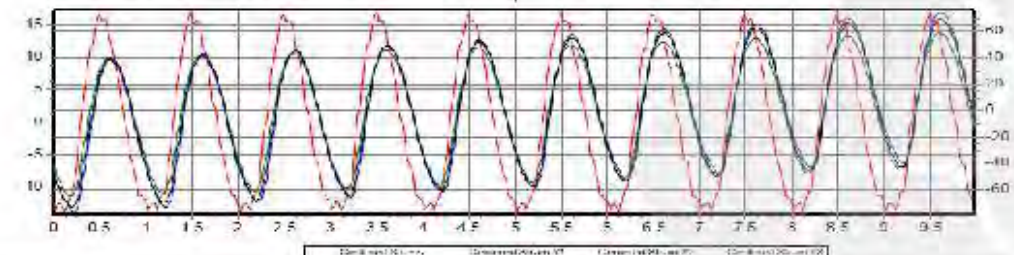
<b>DATOS INICIALES DE PRUEBA</b>	
<b>N° DE LA MUESTRA</b> : 3	<b>ANCHO DE PULSO DE CARGA</b> : 1 Hz
<b>NOMBRE DE LA MUESTRA</b> : E*	<b>TEMPERATURA DE ENSAYO</b> : 40 °C
<b>DIÁMETRO</b> : 104.6 mm	<b>ACONDICIONADO AL AIRE</b> : 3 Horas.
<b>ALTURA</b> : 152.6 mm	
<b>AREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL</b> : 8586.0 mm <sup>2</sup>	



---

<b>RESULTADO DEL PROCESAMIENTO DE ENSAYO A</b>	
<b>MÓDULO DINÁMICO (Mpa)</b> : 277.2	<b>CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)</b> : 0.0
<b>ÁNGULO DE FASE (Grados)</b> : 37.51	<b>ERROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)</b> : 10.8
<b>PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)</b> : 40	<b>PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)</b> : -58.3
<b>PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)</b> : 0	<b>PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)</b> : 9.1
<b>PROMEDIO DE MICRO-STRAIN</b> : 100	<b>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)</b> : 3.7
	<b>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD PARA LOS ÁNGULOS DE FASE DE DEFORMACIONES (Grados)</b> : 2.3


  

  

INGEOCONTROL SAC		
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b>  Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (JEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.  Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.  La interpretación y uso de los resultados quedan a entera responsabilidad del usuario solicitante.	<b>REVISADO POR</b>  Nombre y firma: 	<b>AUTORIZADO POR</b>  Nombre y firma: 

<b>Teléfono</b> 01-729 3730 997059600 / 997070406	<b>Correo electrónico</b> laboratorio@ingeocontrol.com.pe proyectos@ingeocontrol.com.pe	<b>Dirección</b> Av. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila etapa 1 - Comas - Lima
---	---	--



	<b>REPORTE DE ENSAYO</b>		Código	AB-PO-230
	<b>ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO PARA MEZCLAS AASHTO TP 79 / AASHTO T 342</b>		Versión	01

<b>Proyecto</b> : EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024*	<b>Registro N°</b> : L24-242-05
<b>Solicitante</b> : ZUÑIGA ORCOCHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	<b>Muestreado por</b> : Solicitante
<b>Cliente</b> : ZUÑIGA ORCOCHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	<b>Diseñado por</b> : J. Gutiérrez
<b>Ubicación de Proyecto</b> : CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN	
<b>Tipo de Mezcla</b> : Asfalto convencional	

---

<b>DATOS GENERALES DE MEZCLA</b>	
<b>PIEDRA CHANCADA 3/4 (Cant.)</b> : 45.0 % <b>ARENA CHANCADA (Cant.)</b> : 54.5 % <b>FILLER CAL MIBRATADA</b> : 0.5 %	<b>TIPO DE PRODUCCIÓN</b> : Laboratorio <b>TIPO DE COMPACTACIÓN</b> : Compactador Giratorio <b>% VACÍOS</b> : 6.00 % <b>DENSIDAD MÁXIMA RICE</b> : 2.437 Gmm <b>% ASFALTO</b> : 5.63 % <b>OPERADOR</b> :
<b>TIPO DE ASFALTO CONVENCIONAL</b> : 60/70	

---

<b>DATOS INICIALES DE PRUEBA</b>	
<b>N° DE LA MUESTRA</b> : 3 <b>NOMBRE DE LA MUESTRA</b> : E* <b>DIÁMETRO</b> : 104.6 mm <b>ALTURA</b> : 152.6 mm <b>ÁREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL</b> : 8595.0 mm <sup>2</sup>	<b>ANCHO DE PULSO DE CARGA</b> : 0.1 Hz <b>TEMPERATURA DE ENSAYO</b> : 40 °C <b>ACONDICIONADO AL AIRE</b> : 3 Horas.

---

<b>RESULTADO DEL PROCESAMIENTO DE ENSAYO A</b> <span style="float: right;">0.1 Hz 40 °C</span>	
<b>MÓDULO DINÁMICO (Mpa)</b> : 96.1 <b>ÁNGULO DE FASE (Grados)</b> : 32.88 <b>PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)</b> : 40 <b>PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)</b> : 0 <b>PROMEDIO DE MICRO-STRAIN</b> : 105	<b>CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)</b> : 11.1 <b>EROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)</b> : 10.5 <b>PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)</b> : 47.9 <b>PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)</b> : 11.9 <b>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)</b> : 6.4 <b>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD PARA LOS ÁNGULOS DE FASE DE DEFORMACIONES (Grados)</b> : 0.9

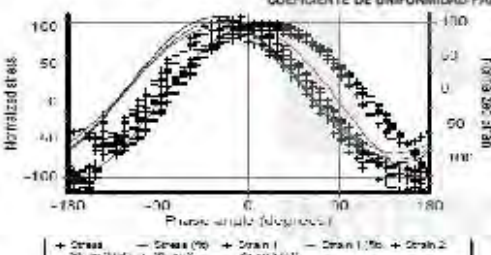


Gráfico 1: Normalized stress vs. Normalized strain. Legend: Stress, Stress (%), Strain I, Strain I (%), Strain II, Strain II (%).

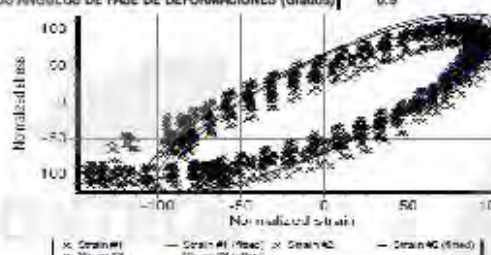


Gráfico 2: Normalized stress vs. Normalized strain. Legend: Strain III, Strain III (%), Strain IV, Strain IV (%).

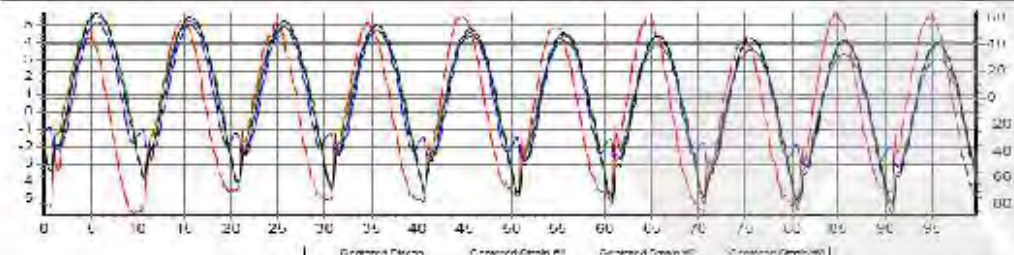




Gráfico 3: Time series plot of stress and strain. Legend: Stress, Strain, Stress (%), Strain (%).


---

INGEOCONTROL SAC		
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b>  Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.  Prohíbese la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.  La interpretación y uso de los resultados entienda queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.	<b>REVISADO POR</b>  Nombre y firma:  Jefe de Laboratorio INGEOCONTROL SAC	<b>AUTORIZADO POR</b>  Nombre y firma:  Gerente General INGEOCONTROL SAC

**Teléfono**  
 01-729 3770  
 997059600 / 997070406

**Correo electrónico**  
 laboratorio@ingeocontrol.com.pe  
 proyectos@ingeocontrol.com.pe

**Dirección**  
 Jr. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila  
 etapa 1 - Comas - Lima

	REPORTES DE ENSAYO	Código	AE-PO-208
	ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO PARA MEZCLAS AASHTO TP 79 / AASHTO T 342	Versión	01

Proyecto : EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024\* Registro N°: L24-242-05  
 Solicitante : ZUÑIGA ORCOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT Muestreado por: Solicitante  
 Cliente : ZUÑIGA ORCOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT Diseñado por: J. Gutiérrez  
 Ubicación de Proyecto : CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN  
 Tipo de Mezcla : Asfalto convencional

RESUMEN DE RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO DE ENSAYO A 5°C			
	10 Hz	1 Hz	0.1 Hz
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	13694	9080	5471
ÁNGULO DE FASE (Grados)	13.82	19.20	25.53
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	5.0	5.0	5.0
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	0	0	0
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	76	96	95
CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	1.6	0.1	-0.3
ERROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	10.9	0.6	0.4
PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	-90.0	-129.1	-245.3
PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	9.9	1.6	6.1
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	3.4	4.1	3.8
UNIFORMIDAD DE ÁNGULO DE FASE (Grados)	0.8	0.7	0.4

RESUMEN DE RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO DE ENSAYO A 20°C			
	10 Hz	1 Hz	0.1 Hz
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	5253	2498	1043
ÁNGULO DE FASE (Grados)	28.35	33.37	33.80
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	20.0	20.0	20.0
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	0	0	0
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	92	94	99
CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	0.4	0.2	0.3
ERROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	3.2	1.5	0.7
PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	-411.6	-351.2	-206.3
PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	6.8	3.3	2.8
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	8.0	6.5	5.3
UNIFORMIDAD DE ÁNGULO DE FASE (Grados)	1	0.8	1.7

RESUMEN DE RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO DE ENSAYO A 40°C			
	10 Hz	1 Hz	0.1 Hz
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	934	277	96
ÁNGULO DE FASE (Grados)	36.92	37.51	32.68
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	40.0	40.0	40.0
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	0	0	0
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	66	106	105
CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	-2.3	0.0	11.1
ERROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	8.2	10.8	10.5
PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	-494.6	-68.3	47.9
PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	11.8	9.1	11.9
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	8.6	3.7	6.4
UNIFORMIDAD DE ÁNGULO DE FASE (Grados)	1.1	2.3	0.9


INGEOCONTROL SAC		
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b> Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (JEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad. Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA. La interpretación y uso de los resultados entiendo queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.	<b>REVISADO POR</b> Nombre y firma:  J. Gutiérrez JEFE DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD	<b>AUTORIZADO POR</b> Nombre y firma:  J. Gutiérrez JEFE DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

Teléfono  
 01-729 3780  
 997059600 / 997070406

Correo electrónico  
 laboratorio@ingeocontrol.com.pe  
 proyectos@ingeocontrol.com.pe

Dirección  
 H. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila  
 Plaza T. Comas - Lima



 <b>INGEOCONTROL</b> <small>LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIAS</small>	<b>REPORTE DE ENSAYO</b>	Código	AS-PO-230
	<b>ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO PARA MEZCLAS AASHTO TP 79 / AASHTO T 342</b>	Versión	01

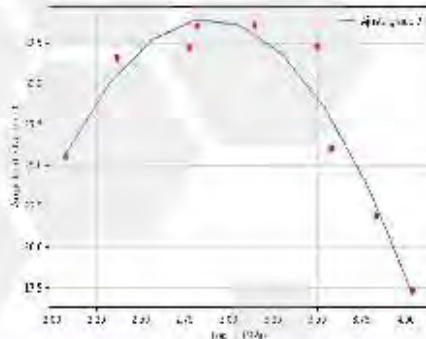
  

<b>Proyecto</b> : EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLIMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024"	<b>Registro N°:</b> L24-242-06
<b>Solicitante</b> : ZUÑIGA ORCOOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	<b>Muestreado por:</b> Solicitante
<b>Cliente</b> : ZUÑIGA ORCOOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	<b>Diseñado por:</b> J. Gutiérrez
<b>Ubicación de Proyecto</b> : CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN	
<b>Tipo de Mezcla</b> : Asfalto convencional	

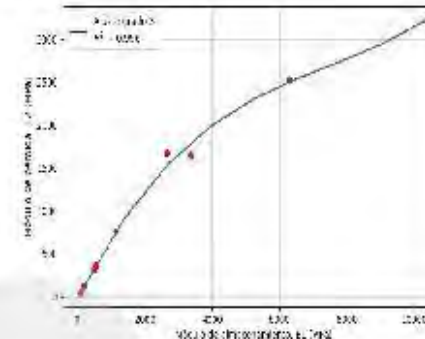
---

**ANÁLISIS DE DATOS**

**Gráfico Bradi Space**



**Gráfico Cole Cole**



**Solución**

Resolución N° 2

**Resolver**

**Valor de Módulo:**

$M_{TS} = 1000$

**Datos de la ecuación:**

$$\log(DSR) = \log(M_{TS}) - \log(aT) + \log(1 + \frac{M_{TS}}{1000})$$

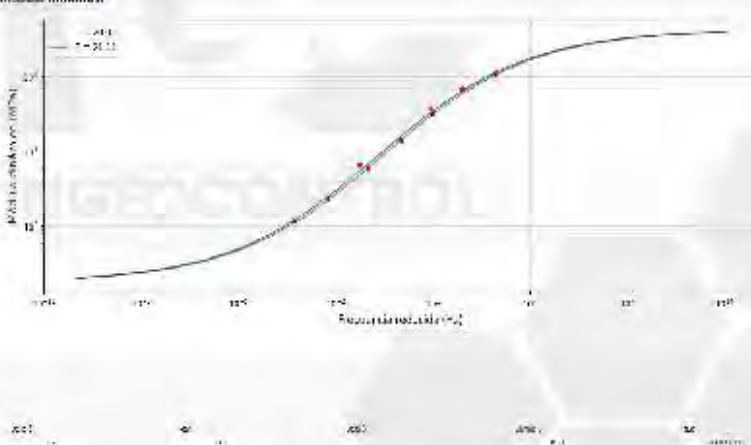
**Datos de compensación:**

$k_1 = 1.0$



$k_2 = 1.0$

**Ecuación**




**Gráfico del módulo dinámico**




---

INGEOCONTROL SAC		
<p><b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b></p> <p>Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (JLM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.</p> <p>Prohíbese la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.</p> <p>La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.</p>	<p style="text-align: center;"><b>REVISADO POR</b></p> <p>Nombre y firma:</p> <div style="text-align: center;">   <small>JEFE DE LABORATORIO DE ENsayos de MATERIAS INGEOCONTROL SAC</small> </div>	<p style="text-align: center;"><b>AUTORIZADO POR</b></p> <p>Nombre y firma:</p> <div style="text-align: center;">   <small>Analista de Ensayos CIP 15/1140 Gerente Técnico</small> </div>

---

 <p>Teléfono: 01-729 3780 997069600 / 997070406</p>	 <p>Correo electrónico: laboratorio@ingeocontrol.com.pe proyectos@ingeocontrol.com.pe</p>	 <p>Dirección: Jr. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila etapa 1 - Comas - Lima</p>
--	--	---

	<b>REPORTE DE ENSAYO</b>	Código	AB-PO-230
	<b>ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO PARA MEZCLAS AASHTO TP 79 / AASHTO T 342</b>	Versión	01

Proyecto	: EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024	Registro N°:	L24-242-07
Solicitante	: ZUÑIGA ORCOCCHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	Muestreado por:	Solicitante
Cliente	: ZUÑIGA ORCOCCHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	Diseñado por:	J. Gutiérrez
Ubicación de Proyecto	: CUSCO - CUSCO - SAN SEBASTIAN		
Tipo de Mezcla	: Asfalto Modificado (PG 64-16)		

---

<b>DATOS GENERALES DE MEZCLA</b>			
PIEDRA CHANCADA 3/4 (Canl.)	: 45.0	%	TIPO DE PRODUCCIÓN
ARENA CHANCADA (Canl.)	: 54.5	%	: Laboratorio
FILLER CEMENTO PORTLAND	: 0.5	%	TIPO DE COMPACTACIÓN
			: Compactador Giratorio
			% VACÍOS
			: 5.10
			%
			DENSIDAD MÁXIMA RICE
			: 2.440
			Gmm
TIPO DE ASFALTO MODIFICADO	: PG 64-16	% ASFALTO	: 5.45
			%
			OPERADOR

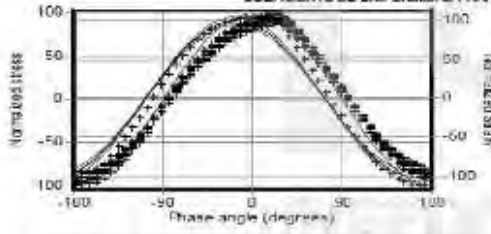
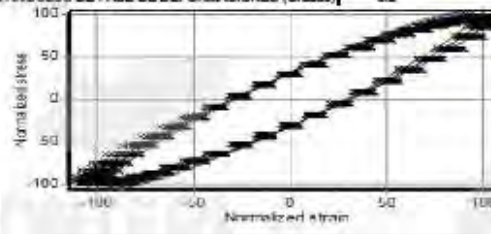
---

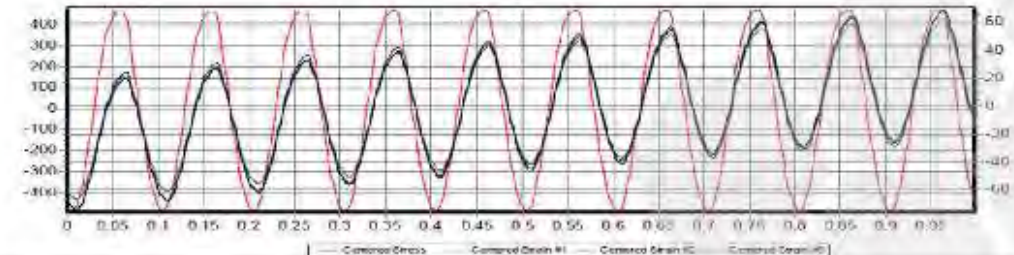
<b>DATOS INICIALES DE PRUEBA</b>			
N° DE LA MUESTRA	: 1	ANCHO DE PULSO DE CARGA	: 10
NOMBRE DE LA MUESTRA	: E"		Hz
DIÁMETRO	: 104.5	TEMPERATURA DE ENSAYO	: 6.0
	mm		°C
ALTURA	: 149.9	ACONDICIONADO AL AIRE	: 24
	mm		Horas.
AREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL	: 8576.7		
	mm²		



---

<b>RESULTADO DEL PROCESAMIENTO DE ENSAYO A 10 Hz 6 °C</b>			
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	: 10864	CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	: 0.7
ÁNGULO DE FASE (Grados)	: 17.29	ERROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	: 3.4
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	: 5.0	PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	: -108.7
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	: 0	PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	: 3.7
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	: 90	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	: 4.2
		COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD PARA LOS ÁNGULOS DE FASE DE DEFORMACIONES (Grados)	: 0.2


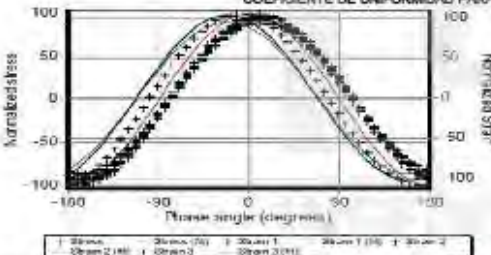
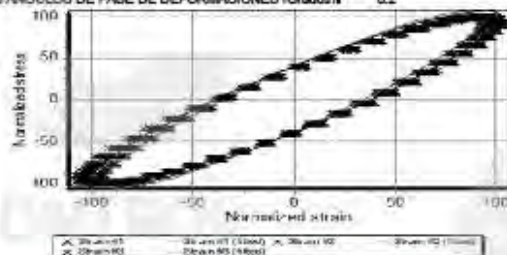
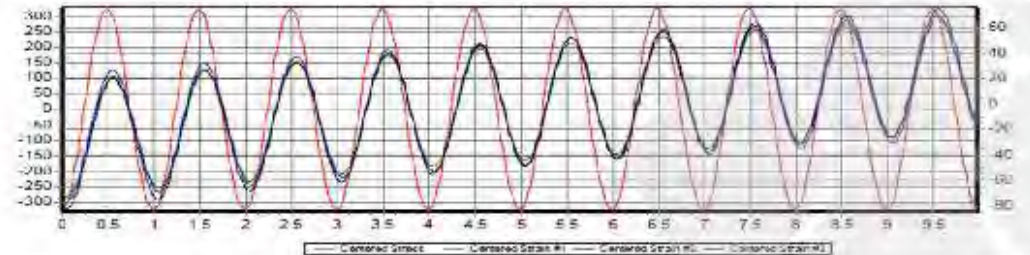


  

  


<b>INGEOCONTROL SAC</b>		
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b>  Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (SEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.  Prohíbese la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.  La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.	<b>REVISADO POR</b>  Nombre y firma:   Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales INGEOCONTROL S.A.C.	<b>AUTORIZADO POR</b>  Nombre y firma:   Gerente Técnico INGEOCONTROL S.A.C.

Teléfono: 01-729 370 / 997069600 / 997070406	Correo electrónico: laboratorio@ingeocontrol.com.pe proyectos@ingeocontrol.com.pe	Dirección: Jr. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila etapa 1 - Comas - Lima
---	---	--



 <b>REPORT DE ENSAYO</b>		Código	AB-PO-230
<b>ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO PARA MEZCLAS AASHTO TP 79 / AASHTO T 342</b>		Versión	01
Proyecto	: EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024		Registro N°: L24-242-07
Solicitante	: ZUÑIGA ORCOCHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT		Muestreado por: Solicitante
Cliente	: ZUÑIGA ORCOCHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT		Diseñado por: J. Gutiérrez
Ubicación de Proyecto	: CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN		
Tipo de Mezcla	: Asfalto Modificado (PG 64-16)		
<b>DATOS GENERALES DE MEZCLA</b>			
PIEDRA CHANCADA 3/4 (Canl.)	: 45.0 %	TIPO DE PRODUCCIÓN	: Laboratorio
ARENA CHANCADA (Canl.)	: 54.5 %	TIPO DE COMPACTACIÓN	: Compactador Giratorio
FILLER CEMENTO PORTLAND	: 0.5 %	% VACÍOS	: 5.10 %
TIPO DE ASFALTO MODIFICADO	: PG 64-16	DENSIDAD MÁXIMA RICE	: 2.440 Gmm
		% ASFALTO	: 5.45 %
		OPERADOR	
<b>DATOS INICIALES DE PRUEBA</b>			
Nº DE LA MUESTRA	: 1	ANCHO DE PULSO DE CARGA	: 1 Hz
NOMBRE DE LA MUESTRA	: E"	TEMPERATURA DE ENSAYO	: 6.0 °C
DIÁMETRO	: 104.5 mm	ACONDICIONADO AL AIRE	: 24 Horas.
ALTURA	: 149.9 mm		
AREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL	: 8576.7 mm <sup>2</sup>		
<b>RESULTADO DEL PROCESAMIENTO DE ENSAYO A 1 Hz 6 °C</b>			
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	: 6786	CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	: 0.1
ÁNGULO DE FASE (Grados)	: 21.89	EROR ESTANDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	: 0.6
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	: 5.0	PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	: -112.3
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	: 0	PROMEDIO ESTANDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	: 1.9
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	: 95	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	: 3.8
		COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD PARA LOS ÁNGULOS DE FASE DE DEFORMACIONES (Grados)	: 0.2
 			
			
<b>INGEOCONTROL SAC</b>			
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD</b> Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (JEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad. Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPA NO CONTROLADA. La interpretación y uso de los resultados escritos quedan a entera responsabilidad del usuario solicitante.	<b>REVISADO POR</b> Nombre y firma:  J. Gutiérrez JEM-INGEOCONTROL JEM-INGEOCONTROL	<b>AUTORIZADO POR</b> Nombre y firma:  J. Gutiérrez JEM-INGEOCONTROL JEM-INGEOCONTROL	
Teléfono: 01-729 370 997069600 / 997070406	Correo electrónico: laboratorio@ingeocontrol.com.pe proyectos@ingeocontrol.com.pe	Dirección: Jr. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila etapa 1- Comas - Lima	

	<b>REPORTE DE ENSAYO</b>		Código	AB-PO-230
	<b>ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO PARA MEZCLAS AASHTO TP 79 / AASHTO T 342</b>		Versión	01

<b>Proyecto</b> : EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024*	<b>Registro N°</b> : L24-242-07
<b>Solicitante</b> : ZUÑIGA ORCOOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	<b>Muestreado por</b> : Solicitante
<b>Cliente</b> : ZUÑIGA ORCOOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	<b>Diseñado por</b> : J. Gutiérrez
<b>Ubicación de Proyecto</b> : CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN	
<b>Tipo de Mezcla</b> : Asfalto Modificado (PG 64-16)	

---

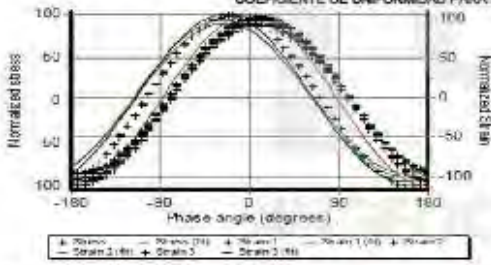
<b>DATOS GENERALES DE MEZCLA</b>			
PIEDRA CHANCADA 3/4 (CanL.)	: 45.0	%	
ARENA CHANCADA (CanL.)	: 54.5	%	
FILLER CEMENTO PORTLAND	: 0.5	%	
<b>TIPO DE ASFALTO MODIFICADO</b> : PG 64-16			
<b>TIPO DE PRODUCCIÓN</b> : Laboratorio		<b>TIPO DE COMPACTACIÓN</b> : Compactador Giratorio	
<b>% VACÍOS</b> : 5.10		%	
<b>DENSIDAD MÁXIMA RICE</b> : 2.440		Gmm	
<b>% ASFALTO</b> : 5.45		%	
<b>OPERADOR</b> :			

---

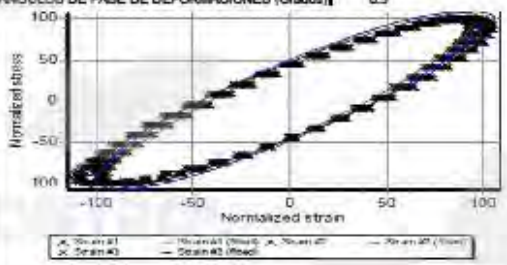
<b>DATOS INICIALES DE PRUEBA</b>			
<b>N° DE LA MUESTRA</b> : 1			
<b>NOMBRE DE LA MUESTRA</b> : E*			<b>ANCHO DE PULSO DE CARGA</b> : 0.1
<b>DIÁMETRO</b> : 104.5	mm		<b>TEMPERATURA DE ENSAYO</b> : 6.0
<b>ALTURA</b> : 149.9	mm		<b>ACONDICIONADO AL AIRE</b> : 24
<b>AREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL</b> : 8576.7	mm <sup>2</sup>		Horas.

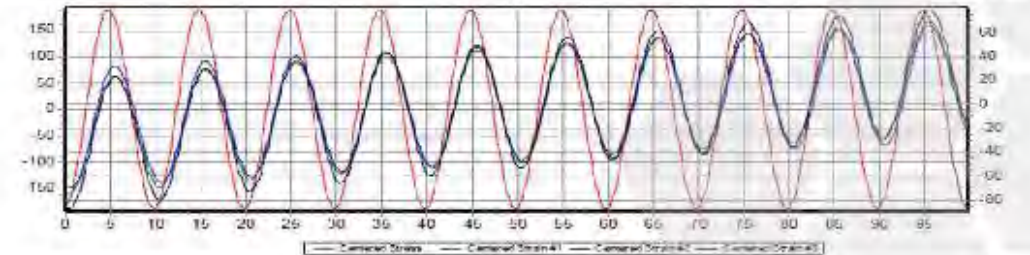
---

<b>RESULTADO DEL PROCESAMIENTO DE ENSAYO A</b>		<b>0.1 Hz    6°C</b>
<b>MÓDULO DINÁMICO (Mpa)</b> : 3755 <b>ÁNGULO DE FASE (Grados)</b> : 26.04 <b>PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)</b> : 5.0 <b>PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)</b> : 0 <b>PROMEDIO DE MICRO-STRAIN</b> : 100	<b>CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)</b> : -0.2 <b>EROR ESTANDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)</b> : 0.4 <b>PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)</b> : -101.7 <b>PROMEDIO ESTANDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)</b> : 2.0 <b>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)</b> : 4.5 <b>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD PARA LOS ÁNGULOS DE FASE DE DEFORMACIONES (Grados)</b> : 0.9	





COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD PARA LOS ÁNGULOS DE FASE DE DEFORMACIONES (Grados)








---

INGEOCONTROL SAC		
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b>  Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.  Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.  La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.	<b>REVISADO POR</b>  Nombre y firma: <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">   <b>INGEOCONTROL SAC</b> </div>	<b>AUTORIZADO POR</b>  Nombre y firma: <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">   <b>ARMANDO PEREZ ESCOBAR</b>  <b>CP 180160</b>  <b>Sistema Técnico</b> </div>

---

 <b>Teléfono</b> 01-729 3780 997069600 / 997070406	 <b>Correo electrónico</b> laboratorio@ingeocontrol.com.pe proyectos@ingeocontrol.com.pe	 <b>Dirección</b> Jr. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila etapa 1 - Comas - Lima
---	---	--



INGEOCONTROL		REPORT DE ENSAYO		Código	AB-PO-230
		ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO PARA MEZCLAS AASHTO TP 79 / AASHTO T 342		Versión	01
Proyecto	EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024			Registro N°:	L24-242-07
Solicitante	ZUÑIGA ORCOOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT			Muestreado por:	Solicitante
Cliente	ZUÑIGA ORCOOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT			Diseñado por:	J. Gutiérrez
Ubicación de Proyecto	CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN				
Tipo de Mezcla	Asfalto Modificado (PG 64-16)				
<b>DATOS GENERALES DE MEZCLA</b>					
PIEDRA CHANCADA 3/4 (Canl.)	: 45.0	%	TIPO DE PRODUCCIÓN	Laboratorio	
ARENA CHANCADA (Canl.)	: 54.5	%	TIPO DE COMPACTACIÓN	Compactor Giretorio	
FILLER CEMENTO PORTLAND	: 0.5	%	% VACÍOS	: 5.10	%
TIPO DE ASFALTO MODIFICADO	: PG 64-16		DENSIDAD MÁXIMA RICE	: 2.440	Gmm
			% ASFALTO	: 5.45	%
			OPERADOR		
<b>DATOS INICIALES DE PRUEBA</b>					
Nº DE LA MUESTRA	: 2		ANCHO DE PULSO DE CARGA	: 10	Hz
NOMBRE DE LA MUESTRA	: E*		TEMPERATURA DE ENSAYO	: 20	°C
DIÁMETRO	: 104.5	mm	ACONDICIONADO AL AIRE	: 4	Horas.
ALTURA	: 149.9	mm			
AREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL	: 8576.7	mm²			
<b>RESULTADO DEL PROCESAMIENTO DE ENSAYO A</b>					
		<b>10 Hz</b>	<b>20 °C</b>		
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	3149		CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	0.0	
ÁNGULO DE FASE (Grados)	32.28		EROR ESTANDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	5.3	
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	20		PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	-317.7	
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	0		PROMEDIO ESTANDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	9.9	
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	84		COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	9.2	
			COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD PARA LOS ÁNGULOS DE FASE DE DEFORMACIONES (Grados)	1.4	
<b>INGEOCONTROL SAC</b>					
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b> Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad. Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento; toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA. La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.		<b>REVISADO POR</b> Nombre y firma:		<b>AUTORIZADO POR</b> Nombre y firma:	
Teléfono: 01-729 3780 997069600 / 997070406		Correo electrónico: laboratorio@ingeocontrol.com.pe proyectos@ingeocontrol.com.pe		Dirección: Jr. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila etapa 1 - Comas - Lima	


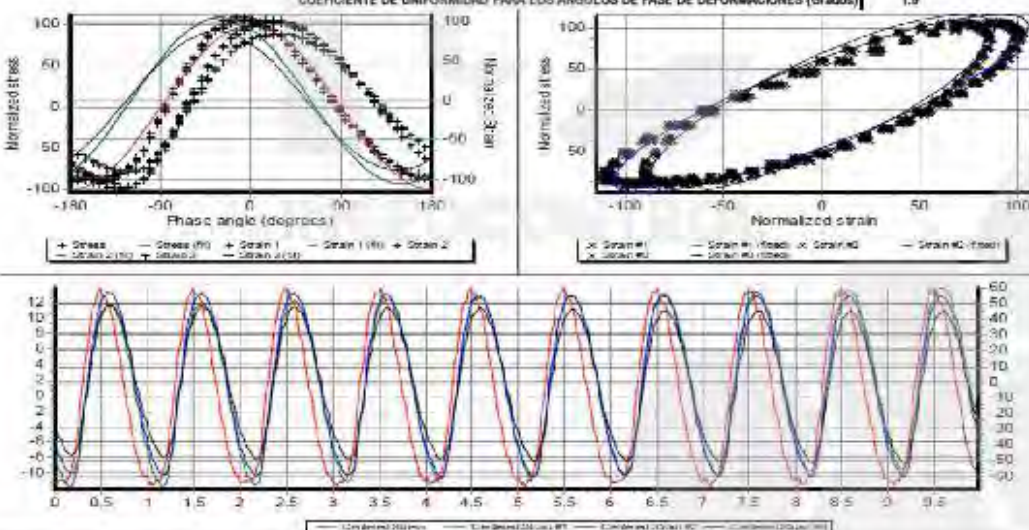


INGEOCONTROL		REPORT DE ENSAYO		Código	AB-PO-230
ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO PARA MEZCLAS AASHTO TP 79 / AASHTO T 342				Versión	01
Proyecto	: EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024			Registro N°:	L24-242-07
Solicitante	: ZUÑIGA ORCOCHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT			Muestreado por:	Solicitante
Cliente	: ZUÑIGA ORCOCHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT			Diseñado por:	J. Gutiérrez
Ubicación de Proyecto	: CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN				
Tipo de Mezcla	: Asfalto Modificado (PG 64-16)				
<b>DATOS GENERALES DE MEZCLA</b>					
PIEDRA CHANCADA 3/4 (CanL.)	: 45.0	%	TIPO DE PRODUCCIÓN	: Laboratorio	
ARENA CHANCADA (CanL.)	: 54.5	%	TIPO DE COMPACTACIÓN	: Compactador Giretorio	
FILLER CEMENTO PORTLAND	: 0.5	%	% VACÍOS	: 5.10	%
TIPO DE ASFALTO MODIFICADO	: PG 64-16		DENSIDAD MÁXIMA RICE	: 2.440	Gmm
			% ASFALTO	: 5.45	%
			OPERADOR		
<b>DATOS INICIALES DE PRUEBA</b>					
Nº DE LA MUESTRA	: 2		ANCHO DE PULSO DE CARGA	: 1	Hz
NOMBRE DE LA MUESTRA	: E*		TEMPERATURA DE ENSAYO	: 20	°C
DIÁMETRO	: 104.5	mm	ACONDICIONADO AL AIRE	: 4	Horas.
ALTURA	: 149.9	mm			
AREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL	: 8576.7	mm²			
<b>RESULTADO DEL PROCESAMIENTO DE ENSAYO A</b> <b>1 Hz</b> <b>20 °C</b>					
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	1384		CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	0.3	
ÁNGULO DE FASE (Grados)	33.64		EROR ESTANDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	3.9	
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	20		PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	-81.6	
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	0		PROMEDIO ESTANDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	5.4	
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	94		COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	11.1	
			COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD PARA LOS ÁNGULOS DE FASE DE DEFORMACIONES (Grados)	3.2	
<b>INGEOCONTROL SAC</b>					
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b> Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (JLEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad. Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento; toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA. La interpretación y uso de los resultados entienda queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.		<b>REVISADO POR</b> Nombre y firma:		<b>AUTORIZADO POR</b> Nombre y firma:	




INGEOCONTROL		REPORT DE ENSAYO		Código	AB-PO-230
		ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO PARA MEZCLAS AASHTO TP 79 / AASHTO T 342		Versión	01
Proyecto	EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024			Registro N°:	L24-242-07
Solicitante	ZUÑIGA ORCOCHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT			Muestreado por:	Solicitante
Cliente	ZUÑIGA ORCOCHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT			Diseñado por:	J. Gutiérrez
Ubicación de Proyecto	CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN				
Tipo de Mezcla	Asfalto Modificado (PG 54-16)				
<b>DATOS GENERALES DE MEZCLA</b>					
PIEDRA CHANCADA 3/4 (CanL)	: 45.0	%	TIPO DE PRODUCCIÓN	Laboratorio	
ARENA CHANCADA (CanL)	: 54.5	%	TIPO DE COMPACTACIÓN	Compactor Giretorio	
FILLER CEMENTO PORTLAND	: 0.5	%	% VACÍOS	: 5.10	%
TIPO DE ASFALTO MODIFICADO	: PG 54-16		DENSIDAD MÁXIMA RICE	: 2.440	Gmm
			% ASFALTO	: 5.45	%
			OPERADOR		
<b>DATOS INICIALES DE PRUEBA</b>					
N° DE LA MUESTRA	: 2		ANCHO DE PULSO DE CARGA	: 0.1	Hz
NOMBRE DE LA MUESTRA	: E*		TEMPERATURA DE ENSAYO	: 20	°C
DIÁMETRO	: 104.5	mm	ACONDICIONADO AL AIRE	: 4	Horas.
ALTURA	: 149.9	mm			
AREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL	: 8576.7	mm <sup>2</sup>			
<b>RESULTADO DEL PROCESAMIENTO DE ENSAYO A</b>					
0.1 Hz 20 °C					
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	: 595.3		CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	: 1.3	
ÁNGULO DE FASE (Grados)	: 32.16		EROR ESTANDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	: 2.8	
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	: 20		PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	: -32.7	
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	: 0		PROMEDIO ESTANDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	: 4.9	
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	: 99		COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	: 10.4	
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD PARA LOS ÁNGULOS DE FASE DE DEFORMACIONES (Grados)			: 4.7		
<b>INGEOCONTROL SAC</b>					
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b> Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad. Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA. La interpretación y uso de los resultados entienda queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.		<b>REVISADO POR</b> Nombre y firma:		<b>AUTORIZADO POR</b> Nombre y firma:	
		J. Gutiérrez JEFE DE LABORATORIO INGEOCONTROL SAC		Amalberto Cusco CIP: 39314 Gerente Técnico	
Teléfono 01-729 3770 997059600 / 997070406		Correo electrónico laboratorio@ingeocontrol.com.pe proyectos@ingeocontrol.com.pe		Dirección Jr. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila etapa 1- Comas - Lima	

INGEOCONTROL		REPORT DE ENSAYO		Código	AB-PO-230
		ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO PARA MEZCLAS AASHTO TP 79 / AASHTO T 342		Versión	01
Proyecto	: EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024			Registro N°:	L24-242-07
Solicitante	: ZUÑIGA ORCOCHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT			Muestreado por:	Solicitante
Cliente	: ZUÑIGA ORCOCHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT			Diseñado por:	J. Gutiérrez
Ubicación de Proyecto	: CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN				
Tipo de Mezcla	: Asfalto Modificado (PG 64-16)				
<b>DATOS GENERALES DE MEZCLA</b>					
PIEDRA CHANCADA 3/4 (Canl.)	: 45.0	%	TIPO DE PRODUCCIÓN	: Laboratorio	
ARENA CHANCADA (Canl.)	: 54.5	%	TIPO DE COMPACTACIÓN	: Compactador Giratorio	
FILLER CEMENTO PORTLAND	: 0.5	%	% VACÍOS	: 5.10	%
TIPO DE ASFALTO MODIFICADO	: PG 64-16		DENSIDAD MÁXIMA RICE	: 2.440	Gmm
			% ASFALTO	: 5.45	%
			OPERADOR		
<b>DATOS INICIALES DE PRUEBA</b>					
N° DE LA MUESTRA	: 3		ANCHO DE PULSO DE CARGA	: 10	Hz
NOMBRE DE LA MUESTRA	: E*		TEMPERATURA DE ENSAYO	: 40	°C
DIÁMETRO	: 104.5	mm	ACONDICIONADO AL AIRE	: 3	Horas.
ALTURA	: 149.9	mm			
AREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL	: 8576.7	mm <sup>2</sup>			
<b>RESULTADO DEL PROCESAMIENTO DE ENSAYO A</b>					
		<b>10 Hz</b>	<b>40 °C</b>		
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	: 556.8		CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	: -3.7	
ÁNGULO DE FASE (Grados)	: 33.52		EROR ESTANDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	: 7.8	
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	: 40		PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	: -186.1	
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	: 0		PROMEDIO ESTANDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	: 8.3	
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	: 66		COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	: 11.3	
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD PARA LOS ÁNGULOS DE FASE DE DEFORMACIONES (Grados)	: 1.9				
<b>INGEOCONTROL SAC</b>					
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b> Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad. Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA. La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.	<b>REVISADO POR</b> Nombre y firma:  J. Gutiérrez JEFE DE LABORATORIO INGEOCONTROL SAC	<b>AUTORIZADO POR</b> Nombre y firma:  Amalberto Cuscos CIP: 39314 Gerente Técnico			
Teléfono 01-729 3770 997059600 / 997070406	Correo electrónico laboratorio@ingeocontrol.com.pe proyectos@ingeocontrol.com.pe	Dirección Jr. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila etapa 1 - Comas - Lima			



 <b>REPORT DE ENSAYO</b>		Código	AB-PC-230
<b>ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO PARA MEZCLAS AASHTO TP 79 / AASHTO T 342</b>		Versión	01
Proyecto	: "EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024"		Registro N°: L24-242-07
Solicitante	: ZUÑIGA ORCOOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	Muestreado por:	Solicitante
Cliente	: ZUÑIGA ORCOOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	Diseñado por:	J. Gutiérrez
Ubicación de Proyecto	: CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN		
Tipo de Mezcla	: Asfalto Modificado (PG 64-16)		
<b>DATOS GENERALES DE MEZCLA</b>			
PIEDRA CHANCADA 3/4 (Cant.)	: 45.0 %	TIPO DE PRODUCCIÓN	: Laboratorio
ARENA CHANCADA (Cant.)	: 54.5 %	TIPO DE COMPACTACIÓN	: Compactador Giratorio
FILLER CEMENTO PORTLAND	: 0.5 %	% VACÍOS	: 6.10 %
TIPO DE ASFALTO MODIFICADO	: PG 64 -16	DENSIDAD MÁXIMA RICE	: 2.440 Gmm
		% ASFALTO	: 5.45 %
		OPERADOR	
<b>DATOS INICIALES DE PRUEBA</b>			
N° DE LA MUESTRA	: 3	ANCHO DE PULSO DE CARGA	: 1 Hz
NOMBRE DE LA MUESTRA	: E*	TEMPERATURA DE ENSAYO	: 40 °C
DIÁMETRO	: 104.6 mm	ACONDICIONADO AL AIRE	: 3 Horas.
ALTURA	: 149.9 mm		
AREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL	: 8576.7 mm²		
<b>RESULTADO DEL PROCESAMIENTO DE ENSAYO A</b> <span style="float: right;">1 Hz 40 °C</span>			
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	: 232.4	CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	: 0.3
ÁNGULO DE FASE (Grados)	: 31.57	ERROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	: 10.1
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	: 40	PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	: -3.1
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	: 0	PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	: 8.8
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	: 109	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	: 8.4
		COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD PARA LOS ÁNGULOS DE FASE DE DEFORMACIONES (Grados)	: 1.9
			
<b>INGEOCONTROL SAC</b>			
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b>  Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEN-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.  Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento. Toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.  La interpretación y uso de los resultados quedan a entera responsabilidad del usuario solicitante.	<b>REVISADO POR</b>  Nombre y firma:   Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales INGEOCONTROL SAC	<b>AUTORIZADO POR</b>  Nombre y firma:   Gerente General INGEOCONTROL SAC	
Teléfono 01-729 3730 997059600 / 997070406	Correo electrónico laboratorio@ingeocontrol.com.pe proyectos@ingeocontrol.com.pe	Dirección Jr. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila etapa 1 - Comas - Lima	



 <b>INGEOCONTROL</b> <small>S.A. DE CAPITAL ABIERTO</small>	<b>REPORTE DE ENSAYO</b>		Código	AB-PO-230
	<b>ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO PARA MEZCLAS AASHTO TP 79 / AASHTO T 342</b>		Versión	01

<b>Proyecto</b> : EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024*	<b>Registro N°</b> : L24-242-07
<b>Solicitante</b> : ZUÑIGA ORCOCHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	<b>Muestreado por</b> : Solicitante
<b>Cliente</b> : ZUÑIGA ORCOCHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	<b>Diseñado por</b> : J. Gutiérrez
<b>Ubicación de Proyecto</b> : CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN	
<b>Tipo de Mezcla</b> : Asfalto Modificado (PG 64-16)	

---

<b>DATOS GENERALES DE MEZCLA</b>	
<b>PIEDRA CHANCADA 3/4 (Cant.)</b> : 45.0 % <b>ARENA CHANCADA (Cant.)</b> : 54.5 % <b>FILLER CEMENTO PORTLAND</b> : 0.5 %	<b>TIPO DE PRODUCCIÓN</b> : Laboratorio <b>TIPO DE COMPACTACIÓN</b> : Compactador Giratorio <b>% VACÍOS</b> : 6.10 % <b>DENSIDAD MÁXIMA RICE</b> : 2.440 Gmm <b>% ASFALTO</b> : 5.45 % <b>OPERADOR</b> :
<b>TIPO DE ASFALTO MODIFICADO</b> : PG 64-16	

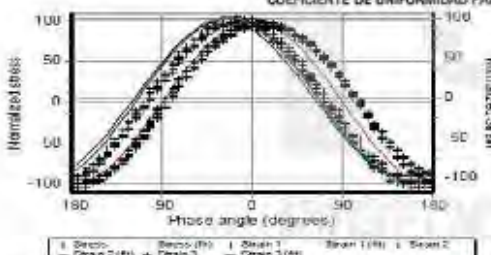
---

<b>DATOS INICIALES DE PRUEBA</b>	
<b>N° DE LA MUESTRA</b> : 3 <b>NOMBRE DE LA MUESTRA</b> : E* <b>DIÁMETRO</b> : 104.5 mm <b>ALTURA</b> : 149.9 mm <b>ÁREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL</b> : 8576.7 mm <sup>2</sup>	<b>ANCHO DE PULSO DE CARGA</b> : 0.1 Hz <b>TEMPERATURA DE ENSAYO</b> : 40 °C <b>ACONDICIONADO AL AIRE</b> : 3 Horas.

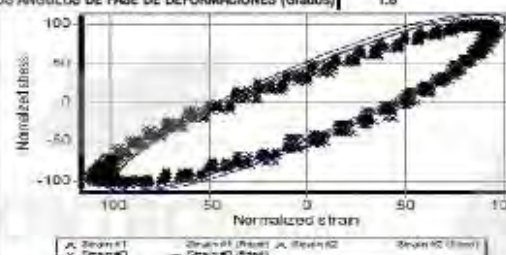
---

<b>RESULTADO DEL PROCESAMIENTO DE ENSAYO A 0.1 Hz 40 °C</b>	
<b>MÓDULO DINÁMICO (Mpa)</b> : 119.4 <b>ÁNGULO DE FASE (Grados)</b> : 25.55 <b>PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)</b> : 40 <b>PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)</b> : 0 <b>PROMEDIO DE MICRO-STRAIN</b> : 98	<b>CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)</b> : -0.5 <b>EROR ESTANDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)</b> : 3.8 <b>PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)</b> : 53.2 <b>PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)</b> : 4.7 <b>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)</b> : 2.1 <b>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD PARA LOS ÁNGULOS DE FASE DE DEFORMACIONES (Grados)</b> : 1.8

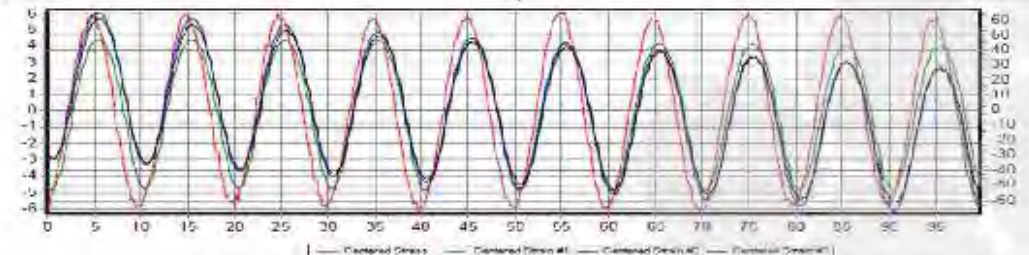


Normalized Stress vs Phase angle (degrees)





Normalized Stress vs Normalized strain




Normalized Stress vs Time (seconds)

---

INGEOCONTROL SAC		
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b>  Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.  Prohíbese la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.  La interpretación y uso de los resultados entienda queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.	<b>REVISADO POR</b>  Nombre y firma:  J. Maldonado JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES	<b>AUTORIZADO POR</b>  Nombre y firma:  J. Maldonado JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

---

<b>Teléfono</b> 01-729 3770 997059600 / 997070406	<b>Correo electrónico</b> laboratorio@ingeocontrol.com.pe proyectos@ingeocontrol.com.pe	<b>Dirección</b> Jr. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila etapa T- Comas – Lima
---	---	---

	REPORTES DE ENSAYO	Código	AE-PO-238
	ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO PARA MEZCLAS AASHTO TP 79 / AASHTO T 342	Versión	01

Proyecto : EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024\*  
 Registro N°: L24-242-07  
 Solicitante : ZUÑIGA ORCOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT  
 Muestreado por: Solicitante  
 Cliente : ZUÑIGA ORCOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT  
 Diseñado por: J. Gutiérrez  
 Ubicación de Proyecto : CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN  
 Tipo de Mezcla : Asfalto Modificado (PG 64-16)

RESUMEN DE RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO DE ENSAYO A 5°C			
	10 Hz	1 Hz	0.1 Hz
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	10864	6786	3765
ÁNGULO DE FASE (Grados)	17.29	21.89	26.04
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	5.0	5.0	5.0
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	0	0	0
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	90	95	100
CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	0.7	0.1	-0.2
EROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	3.4	0.6	0.4
PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	-108.7	-112.3	-101.7
PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	3.7	1.9	2.0
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	4.2	3.8	4.6
UNIFORMIDAD DE ÁNGULO DE FASE (Grados)	0.2	0.2	0.9

RESUMEN DE RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO DE ENSAYO A 20°C			
	10 Hz	1 Hz	0.1 Hz
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	3149	1384	595
ÁNGULO DE FASE (Grados)	32.28	33.64	32.16
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	20.0	20.0	20.0
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	0	0	0
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	84	94	99
CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	0.0	0.3	1.3
EROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	5.3	3.9	2.6
PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	-317.7	-81.6	-32.7
PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	9.9	5.4	4.9
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	9.2	11.1	10.4
UNIFORMIDAD DE ÁNGULO DE FASE (Grados)	1.4	3.2	4.7

RESUMEN DE RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO DE ENSAYO A 40°C			
	10 Hz	1 Hz	0.1 Hz
MÓDULO DINÁMICO (Mpa)	657	232	119
ÁNGULO DE FASE (Grados)	33.52	31.57	25.55
PROMEDIO DE TEMPERATURA (°C)	40.0	40.0	40.0
PROMEDIO DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO (kPa)	0	0	0
PROMEDIO DE MICRO-STRAIN	66	109	96
CARGA APLICADA A LA DERIVA (%)	-3.7	0.3	-0.5
EROR ESTÁNDAR PARA LA CARGA APLICADA (%)	7.8	10.1	3.8
PROMEDIO DE DEFORMACIONES A LA DERIVA (%)	-186.1	-3.1	53.2
PROMEDIO ESTÁNDAR DE ERROR DE DEFORMACIONES (%)	8.3	8.8	4.7
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE DEFORMACIONES (%)	11.3	8.4	2.1
UNIFORMIDAD DE ÁNGULO DE FASE (Grados)	1.9	1.9	1.6


INGEOCONTROL SAC		
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b> Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (JEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad. Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA. La interpretación y uso de los resultados entídic queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.	<b>REVISADO POR</b> Nombre y firma:  J. Gutiérrez	<b>AUTORIZADO POR</b> Nombre y firma:  J. Gutiérrez

Teléfono:  
 01-729 3780  
 997059600 / 997070406

Correo electrónico:  
 laboratorio@ingeocontrol.com.pe  
 proyectos@ingeocontrol.com.pe

Dirección:  
 H. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila  
 Plaza 1, Comas - Lima



	<b>REPORTE DE ENSAYO</b>	Código	AS-PO-330
	<b>ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO PARA MEZCLAS AASHTO TP 79 / AASHTO T 342</b>	Versión	01

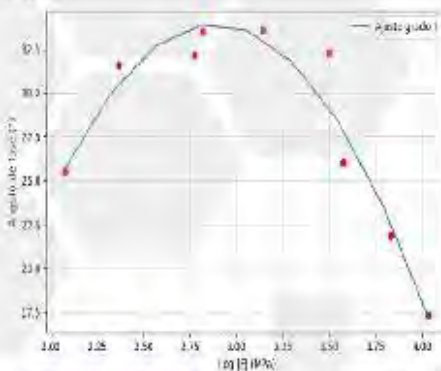
  

<b>Proyecto</b> : EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLIMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024*	<b>Registro N°</b> : L24-242-07
<b>Solicitante</b> : ZUÑIGA ORCOCHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	<b>Muestreado por</b> : Solicitante
<b>Cliente</b> : ZUÑIGA ORCOCHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT	<b>Diseñado por</b> : J. Gutiérrez
<b>Ubicación de Proyecto</b> : CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN	
<b>Tipo de Mezcla</b> : Asfalto Modificado (PG 64-16)	

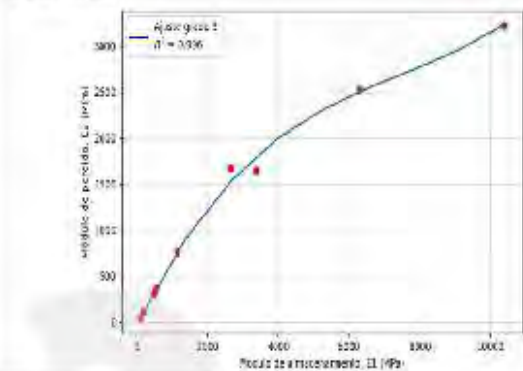
---

**ANÁLISIS DE DATOS**

**Black Space**



**Gráfico Cole Cole**



**Solución**

Temperatura de ensayo (°C) : 20

**Resolver**

**Valor de Módulo**

Temperatura : 20

Modulo (MPa) : 1000

**Datos de la ecuación**

$$\log(E^*) = \beta - \frac{\{Max - \beta\}}{1 + e^{a \cdot \log(f/f_0)}}$$

**Datos de representación**

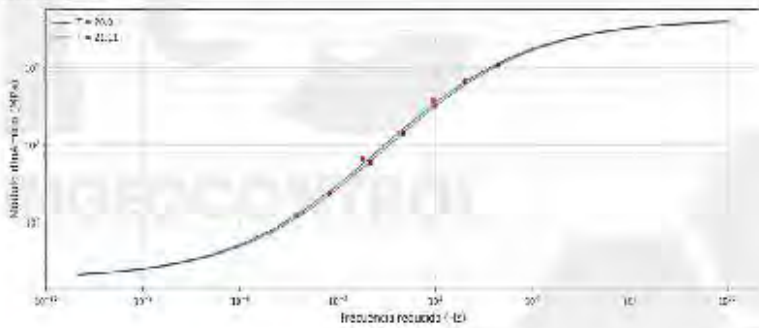
$f_0$  (Hz) : 1

$a$  : 1



$\beta$  (MPa) : 1000

$Max$  (MPa) : 1000

**Gráfico del módulo dinámico**




---

INGEOCONTROL SAC		
<p><b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b></p> <p>Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (JEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.</p> <p>Prohíbese la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.</p> <p>La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.</p>	<p style="text-align: center;"><b>REVISADO POR</b></p> <p>Nombre y firma:</p> <div style="text-align: center;">         J. Gutiérrez        JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES     </div>	<p style="text-align: center;"><b>AUTORIZADO POR</b></p> <p>Nombre y firma:</p> <div style="text-align: center;">         Arnelio Pérez        JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES     </div>

---

<p><b>Teléfono</b> 01-729 3730 997069600 / 997070406</p>	<p><b>Correo electrónico</b> laboratorio@ingeocontrol.com.pe proyectos@ingeocontrol.com.pe</p>	<p><b>Dirección</b> Jr. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila etapa 1 - Comas - Lima</p>
--	--	---

	REPORTE DE ENSAYO	Código	AB-PO-236
	CONTROL DE CALIDAD DE ASFALTO MODIFICADO (PG 64-16)	Versión	01

Proyecto : EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024  
 Registro N°: L24-242-08  
 Solicitante : ZUÑIGA ORCOCOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT  
 Muestreado por: Solicitante  
 Cliente : ZUÑIGA ORCOCOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT  
 Diseñado por: J. Gutiérrez  
 Ubicación : CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN  
 Tipo de Mezcla : Asfalto Modificado (PG 64-16)

## GRADO DE PERFORMANCE

ENSAYOS	MÉTODO ASTM	UNIDADES	RESULTADO	ESPECIFICACIONES	
				MIN.	MAX.
LIGANTE ORIGINAL					
PUNTO DE INFLAMACIÓN	D-92	°C	278	230	—
VISCOSIDAD BROOKFIELD, SPINDLE 21, 20 RPM, (135 °C)	D-4402	cP	885	—	3000
TEMPERATURA DE CORTE DINÁMICO	D-7175	°C	64.0	—	—
CORTE DINÁMICO G*senδ, 10rad/s	D-7175	kPa	4.06	1	—
DESPUÉS DE ENVEJECIMIENTO RTFOT	D-2872				
PÉRDIDA DE MASA	D-2872	%	0.415	—	1
TEMPERATURA DE CORTE DINÁMICO	D-7175	°C	64	—	—
CORTE DINÁMICO G*senδ, 10rad/s	D-7175	kPa	13.31	2.2	—
DESPUÉS DE ENVEJECIMIENTO PAV	D-6521				
TEMPERATURA DE CURADO PAV	D-6521	°C	100	—	—
TEMPERATURA DE CORTE DINÁMICO	D-7175	°C	26	—	—
CORTE DINÁMICO G*senδ, 10rad/s	D-7175	kPa	1000	—	5000
TEMPERATURA DE RIGIDEZ AL DESPLAZAMIENTO	D-6648	°C	-6	—	—
RIGIDEZ AL DESPLAZAMIENTO, VALOR S, a 60 seg	D-6648	Mpa	50.35	—	300
VALOR m	D-6648		0.343	0.300	—
GRADO DE PERFORMANCE	PG 64-16				

Observaciones:


GRADO DE PERFORMANCE SEGÚN ASTM D-6373 TABLA 1

INGEOCONTROL SAC		
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b> Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad. Prohíbese la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA. La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario autorizado.	<b>REVISADO POR</b> Nombre y firma:  J. Gutiérrez INGENIERO EN MATERIALES (INGENIERO EN MATERIALES)	<b>AUTORIZADO POR</b> Nombre y firma:  J. Gutiérrez INGENIERO EN MATERIALES (INGENIERO EN MATERIALES)

Teléfono  
 01-729 3730  
 997059600 / 997070406

Correo electrónico  
 laboratorio@ingeocontrol.com.pe  
 proyectos@ingeocontrol.com.pe

Dirección  
 H. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila  
 etapa 1 - Comas - Lima

	REPORTE DE ENSAYO	Código	AB-PO-236
	CONTROL DE CALIDAD DE ASFALTO MODIFICADO (PG 64-16)	Versión	01

Proyecto : EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024  
 Registro N°: L24-242-08  
 Solicitante : ZUÑIGA OROCOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT  
 Muestreado por: Solicitante  
 Cliente : ZUÑIGA OROCOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT  
 Diseñado por: J. Gutiérrez  
 Ubicación : CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN  
 Tipo de Mezcla : Asfalto Modificado (PG 64-16)

## GRADO DE PERFORMANCE

ENSAYOS	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	ESPECIFICACIONES EG 2013 Tabla 431-01 (TIPO I-B)	
				MIN.	MAX.
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO	%	ASTM D 2042	99.5	99	—
PUNTO DE ABLANDAMIENTO	°C	ASTM D 36	57	50	—
PENETRACIÓN (5g, 25°C)	dnm	ASTM D 5	79	75	100
PUNTO DE INFLAMACIÓN	°C	ASTM D 92	278	232	—
RECUPERACIÓN ELÁSTICA LINEAL (MÉTODO A, 10 cm, 25°C)	%	ASTM D 6084	75.0	60	—
RECUPERACIÓN ELÁSTICA LINEAL (MÉTODO A, 10 cm, 5.0°C)	%	ASTM D 6084	38.0	—	—
VISCOSIDAD BROOKFIELD SPINDLE 21, 20 RPM (135°C)	cP	ASTM D 4402	885.0	—	—
VISCOSIDAD BROOKFIELD SPINDLE 21, 20 RPM (145°C)	cP	ASTM D 4402	577.5	—	—
VISCOSIDAD BROOKFIELD SPINDLE 21, 20 RPM (175°C)	cP	ASTM D 4402	187.5	—	—
ESTABILIDAD A ALMACENAMIENTO 163°C, 48 h (ASTM D7173)					
DIFERENCIA EN PUNTO DE ABLANDAMIENTO	°C	ASTM D 36	1.0	—	2.2
PRUEBAS SOBRE LA PELÍCULA FINA ROTATORIO (ASTM D 2872)					
PENETRACIÓN (4°C 200 g, 60 s)	dnm	ASTM D 5	28	15	—
RECUPERACIÓN ELÁSTICA LINEAL (MÉTODO A, 10 cm, 25°C)	%	ASTM D 6084	75	60	—
PUNTO DE ABLANDAMIENTO (DIFERENCIA DEL ORIGINAL)	°C	ASTM D 36	10.0	—	10

## Observaciones:

- Los resultados corresponden a la muestra analizada.
- El producto cumple especificaciones de calidad TIPO "I-B" (Especificaciones del cemento asfáltico modificado con polímeros)

INGEOCONTROL SAC		
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b>  Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (JEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.  Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.  La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.	<b>REVISADO POR</b>  Nombre y firma:   J. Gutiérrez JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES	<b>AUTORIZADO POR</b>  Nombre y firma:   J. Gutiérrez JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

Teléfono  
 01-729 3730  
 997059600 / 997070406

Correo electrónico  
 laboratorio@ingeocontrol.com.pe  
 proyectos@ingeocontrol.com.pe

Dirección  
 Jr. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila  
 etapa 1 - Comas - Lima



	REPORTE DE ENSAYO	Código	AB-PQ-236
	CONTROL DE CALIDAD DE ASFALTO MODIFICADO (PG 64-16)	Versión	01

Proyecto : "EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024"  
 Registro N°: L24-242-08  
 Solicitante : ZUÑIGA OROCOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT  
 Muestreado por: Solicitante  
 Cliente : ZUÑIGA OROCOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT  
 Diseñado por: J. Gutiérrez  
 Ubicación : CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN  
 Tipo de Mezcla : Asfalto Modificado (PG 64-16)

#### GRÁFICO DE TEMPERATURAS DE MEZCLA Y COMPACTACIÓN

RANGO DE TEMPERATURA DE MEZCLA

155.2

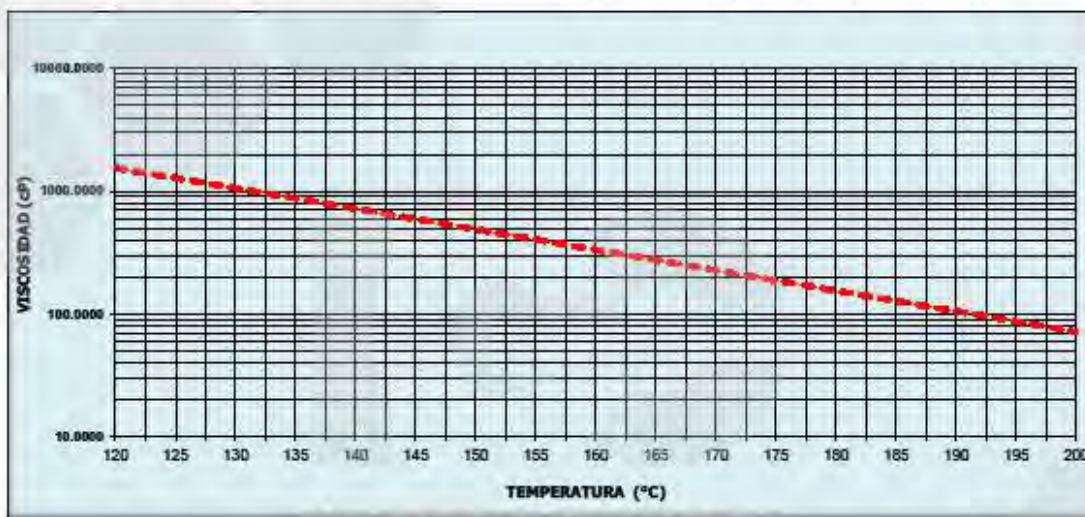
162.6

RANGO DE TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN MEZCLA

144.6

A

155.2



TEMPERATURA DE MEZCLA CON VISCOSIDADES ENTRE 300 A 400 cP

RANGO DE TEMPERATURA DE RIEGO CON VISCOSIDADES ENTRE 400 A 450 cP

RANGO DE TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN MEZCLA CON VISCOSIDADES ENTRE 400 A 600 cP

RANGO DE TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN MEZCLA DRENANTE CON VISCOSIDADES ENTRE 600 A 1200 cP

INGEOCONTROL SAC		
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b>  Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (JEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.  Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.  La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.	<b>REVISADO POR</b>  Nombre y firma:   JEM-INGEOCONTROL SAC	<b>AUTORIZADO POR</b>  Nombre y firma:   JEM-INGEOCONTROL SAC

Teléfono  
 01-729 3780  
 997069600 / 997070406

Correo electrónico  
 laboratorio@ingeocontrol.com.pe  
 proyectos@ingeocontrol.com.pe

Dirección  
 Jr. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila  
 etapa T- Comas - Lima

INGEOCONTROL		REPORT DE ENSAYO					Código	AE-PO-230			
		RESISTENCIA CONSERVADA EN LA PRUEBA DE TRACCIÓN INDIRECTA					Versión	01			
		AASHTO T 283									
Proyecto	EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024*						Registro N°:	L24-242-09			
Solicitante	ZUÑIGA ORCOCOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT						Muestreado por:	Solicitante			
Cliente	ZUÑIGA ORCOCOHUARANCCA JEAN JARET y RODRIGUEZ SURI EDUT						Diseñado por:	J. Gutiérrez			
Ubicación	CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN										
Muestra	Diseño volumétrico convencional con asfalto 60/70										
ADITIVO: SBS 0.40% AL ASFALTO											
ENSAYO		N°	4	5	6		8	9	10		
DIÁMETRO	D	cm	10.00	10.00	10.00		10.00	10.00	10.00		
ESPESOR	t	cm	6.00	6.00	6.00		6.00	6.00	6.00		
PESO DE LA MUESTRA SECA AL AIRE	A	gr.	1191.7	1205.5	1195.2		1202.1	1199.7	1195.8		
SSD DE LA MUESTRA	B	gr.	1198.7	1211.8	1201.3		1208.6	1205.8	1202.1		
PESO DE LA MUESTRA EN AGUA	C	gr.	676.5	683.1	675.8		682.3	679.5	680.0		
VOLUMEN (B - C)	E	c.c.	522.2	528.7	525.5		526.3	526.3	522.1		
P.e. BULK DE LA MUESTRA (A / E)	F	gr/c.c.	2.282	2.280	2.274		2.284	2.280	2.290		
ASTM D-2041 Grm	G	gr/c.c.	2.437	2.437	2.437		2.437	2.437	2.437		
VACÍOS (100 (G - F) / G)	H	%	6.3	6.4	6.7		6.3	6.5	6.0		
VOLUMEN DE VACÍOS (HE / 100)	I	c.c.	33.2	34.0	35.1		33.0	34.0	31.4		
LECTURA	P	mm					6.22	6.38	6.82		
Saturación:	min.		MUESTRA SATURADA EN VACÍO					Hg:			
SSD DE LA MUESTRA	B'	gr.	1218.1	1232.2	1222.1						
PESO DE LA MUESTRA EN EL AGUA	C'	gr.	695.2	702.6	696.0						
VOLUMEN DE LA MUESTRA (B' - C')	E'	c.c.	522.9	529.6	526.1						
VOL. AGUA DE ABSORCIÓN (B' - A)	J'	c.c.	26.4	26.8	26.9						
SATURACIÓN (100J' / I)		%	79.5	78.6	76.7						
HINCHAMIENTO (100 (E' - E) / E)		%	0.14	0.17	0.11						
CONDICIÓN DE SATURACIÓN por 24 Hrs. a 60 °C en agua											
ESPESOR	t'	cm	6.14	6.12	6.13						
SSD DE LA MUESTRA	B''	gr.	1220.6	1234.8	1224.6						
PESO DE LA MUESTRA EN EL AGUA	C''	gr.	698.0	705.0	696.3						
VOLUMEN (B'' - C'')	E''	c.c.	522.6	529.8	526.3						
VOL. AGUA DE ABSORCIÓN (B'' - A)	J''	c.c.	28.9	29.3	29.4						
SATURACIÓN (100J'' / I)		%	87.1	86.2	83.9						
HINCHAMIENTO 100(E'' - E) / E		%	0.08	0.21	0.15						
LECTURA		mm	5.00	5.05	5.50						
CARGA	P'	kgf	509.9	515.0	560.8		634.3	650.6	695.4		
RESISTENCIA SECA 2P / IDPI	S t <sub>2</sub>	kg/cm <sup>2</sup>					6.7	6.9	7.4		
RESISTENCIA HUMEDA 2P'' / I'' D PI	S t <sub>2</sub>	kg/cm <sup>2</sup>	5.3	5.4	5.8						
RESISTENCIA HUMEDA - SECA		kPa	528.6	535.7	582.5		673.0	690.3	737.9		
TSR 100 S <sub>2</sub> / S <sub>2</sub>	TSR	%	78.6	77.6	78.9		TSR PROMEDIO % =		78.4		
DAÑOS EN LA MEZCLA			NO	NO	NO		El valor mínimo para la relación de resistencia de tracción es de 80 %				
ROTURA DE AGREGADOS			NO	NO	NO						

INGEOCONTROL SAC		
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b> Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad. Prohíbese la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA. La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.	<b>REVISADO POR</b> Nombre y firma:  Ing. Miguel Cusima Jefe del Laboratorio INGEOCONTROL SAC	<b>AUTORIZADO POR</b> Nombre y firma:  Arnelo Roberto Costero CJP. 190140 Gerente Técnico



	<b>REPORTE DE ENSAYO</b>	Código	AB-PC-230
	<b>RESISTENCIA CONSERVADA EN LA PRUEBA DE TRACCIÓN INDIRECTA</b>	Versión	01
	<b>AASHTO T 283</b>		

Proyecto : "EVALUACION DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024"  
 Registro N°: L24-242-09  
 Solicitante : ZUÑIGA ORCOCOHUARANCCA JEAN JARET Y RODRIGUEZ SURI EDUT  
 Muestreado por: Solicitante  
 Cliente : ZUÑIGA ORCOCOHUARANCCA JEAN JARET Y RODRIGUEZ SURI EDUT  
 Diseñado por: J. Gutiérrez  
 Ubicación : CUSCO – CUSCO – SAN SEBASTIAN  
 Muestra : Diseño volumétrico con AMP - PG 64 -16

ADITIVO: EVOTHERM 0.40% AL ASFALTO										
ENSAYO		N°	4	5	6		8	9	10	
DIÁMETRO	D	cm	10.00	10.00	10.00		10.00	10.00	10.00	
ESPESOR	t	cm	6.00	6.00	6.00		6.00	6.00	6.00	
PESO DE LA MUESTRA SECA AL AIRE	A	gr.	1201.2	1203.6	1200.7		1198.9	1204.1	1199.0	
SSD DE LA MUESTRA	B	gr.	1207.3	1210.4	1207.1		1205.2	1210.7	1205.4	
PESO DE LA MUESTRA EN AGUA	C	gr.	681.9	683.4	680.6		680.5	681.1	680.4	
VOLUMEN ( B - C )	E	c.c.	525.4	527.0	526.5		524.7	529.6	525.0	
P.e. BULK DE LA MUESTRA ( A / E )	F	gr/c.c.	2.286	2.284	2.281		2.285	2.274	2.284	
ASTM D-2041 Grm	G	gr/c.c.	2.437	2.437	2.437		2.437	2.437	2.437	
VACÍOS ( 100 ( G - F ) / G )	H	%	6.2	6.3	6.4		6.2	6.7	6.3	
VOLUMEN DE VACÍOS ( HE / 100 )	I	c.c.	32.5	33.1	33.8		32.7	35.5	33.0	
LECTURA	P	mm					7.88	7.97	8.06	
Saturación:	min.	MUESTRA SATURADA EN VACÍO					Hg:			
SSD DE LA MUESTRA	B'	gr.	1224.9	1229.5	1225.4					
PESO DE LA MUESTRA EN EL AGUA	C'	gr.	698.2	699.9	697.9					
VOLUMEN DE LA MUESTRA ( B' - C' )	E'	c.c.	526.7	529.6	527.5					
VOL. AGUA DE ABSORCIÓN ( B' - A )	J'	c.c.	23.7	25.9	24.7					
SATURACIÓN ( 100J' / I )		%	72.9	78.2	73.1					
HINCHAMIENTO ( 100 ( E' - E ) / E )		%	0.25	0.49	0.19					
CONDICIÓN DE SATURACIÓN por 24 Hrs. a 60 °C en agua										
ESPESOR	t'	cm	6.09	6.09	6.10					
SSD DE LA MUESTRA	B''	gr.	1227.8	1231.8	1227.9					
PESO DE LA MUESTRA EN EL AGUA	C''	gr.	701.4	704.1	700.8					
VOLUMEN ( B'' - C'' )	E''	c.c.	526.4	527.7	527.1					
VOL. AGUA DE ABSORCIÓN ( B'' - A )	J''	c.c.	26.5	28.2	27.2					
SATURACIÓN ( 100J'' / I )		%	81.8	85.2	80.5					
HINCHAMIENTO 100( E'' - E ) / E		%	0.19	0.13	0.11					
LECTURA		mm	6.77	6.55	6.83					
CARGA	P'	kgf	690.3	667.9	696.5		803.5	812.7	821.9	
RESISTENCIA SECA 2P / IDPI	S <sub>t</sub>	kg/cm²					8.5	8.6	8.7	
RESISTENCIA HUMEDA 2P'' / I'' D PI	S <sub>th</sub>	kg/cm²	7.2	7.0	7.3					
RESISTENCIA HUMEDA - SECA		kPa	721.7	698.2	726.9		852.6	862.3	872.1	
TSR 100 S <sub>g</sub> / S <sub>h</sub>	TSR	%	84.6	81.0	83.4		TSR PROMEDIO % =		83.0	
DAÑOS EN LA MEZCLA			NO	NO	NO		El valor mínimo para la relación de resistencia de tracción es de 80 %			
ROTURA DE AGREGADOS			NO	NO	NO					

<b>INGEOCONTROL SAC</b>		
<b>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</b>  Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (JEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.  Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.  La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.	<b>REVISADO POR</b>  Nombre y firma:   JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES INGEOCONTROL SAC	<b>AUTORIZADO POR</b>  Nombre y firma:   GERENTE GENERAL INGEOCONTROL SAC

Teléfono  
 01-729 370  
 997059600 / 997070406

Correo electrónico  
 laboratorio@ingeocontrol.com.pe  
 proyectos@ingeocontrol.com.pe

Dirección  
 Jr. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila  
 etapa 1 - Comas - Lima

**Anexo H** Certificado de uso de laboratorio expedido por INGEOCONTROL S.A.C

	<b>INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.</b> Av. Sagitario Mz. A lote 12 Urb. San Pedro, Carabaylo, Lima, Perú	
---	---	---

**CERTIFICADO DE USO DE LABORATORIO DE SUELO, CONCRETO Y ASFALTO PARA TESIS DE INVESTIGACION**

EL QUE SUSCRIBE JEFE DE LABORATORIO DE SUELO CONCRETO Y ASFALTO DEL LABORATORIO DE INGEOCONTROL SAC

**HACE CONSTAR:**

Que los tesisas; conducentes a la obtención del título profesional de Ingeniería Civil; **Bach. Zuñiga Orccohuarancca Jean Jaret y Bach. Rodriguez Suri Edut**, hizo uso del laboratorio para ejecución de la tesis de investigación: **"EVALUACIÓN DEL MÓDULO DINÁMICO EN EL DISEÑO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MEZCLAS ASFALTICAS MODIFICADAS CON POLIMEROS EN PAVIMENTO FLEXIBLE, CUSCO 2024"**.

Los ensayos que realizaron son los siguientes:

Nro	ENSAYO	NORMA	CANT.
1	Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente Método SUPERPAVE	AASHTO PP28 / EG - 2013 SECCION 423	02
2	Ensayo de Módulo Dinámico para mezclas	AASHTO TP79 / AASHTO T342	02
3	Resistencia Conservada en Prueba de Tracción Indirecta	AASHTO T283	02

Se le expide la presente constancia a la solicitud escrita por los interesados; con fines académicos para la tesis de investigación



Jony C. Gutiérrez Abanto  
GERENTE GENERAL  
INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.

Lima, 7 de marzo del 2025

---

 <b>Teléfono:</b> 01-729 3700 997069600 / 997070406	 <b>Correo electrónico:</b> laboratorio@ingeocontrol.com.pe proyectos@ingeocontrol.com.pe	 <b>Dirección:</b> Jr. Hurtado de Mendoza 280, Urb. Santa Luzmila etapa 1 - Comas - Lima
--	--	--



# **Anexo I** Panel fotográfico para MAC convencional y modificada



*Incorporación De SBS 4% Para Asfalto Modificado*



*Incorporación De SBS 4% Para Asfalto 64-16*



*Muestras Con 4% SBS Asfalto Para Compactador*



*Incorporación De Asfalto Convencional Sin Modificar*



*Incorporación De Asfalto Convencional Sin Modificar*



*Muestras Convencional De Asfalto Para Compactador*



*Picnómetro De Vacío Para Muestra Convencional*



*Picnómetro De Vacío Para Modificado 4% SBS*



*Muestras Dentro De Moldes Para Compactador*



*Compactador Giratorio Convencional*



*Compactador Giratorio Modificado 4% SBS*



*Muestras Obtenidas del Giratorio Modificado 4% SBS*





***Muestras Obtenidas del Giratorio Convencional***



***Sumersión De Briquetas Modificadas Con SBS 4%***



***Sumersión De Briquetas Convencionales***









***Muestras Finales Para Uso En El Módulo Dinámico***



***Briquetas Compactador Giratorio Convencional***



***Briquetas Compactador Giratorio Modificado 4%***

 <p>MAC-ASFALTO MOD. DINAMICO</p> <p>MAC-ASFALTO MOD. DINAMICO</p>	 <p>MAC-AMP 64-16 MOD. DINAMICO</p> <p>MAC-AMP 64-16 MOD. DINAMICO</p>	 <p>MAC-AMP 64-16 MOD. DINAMICO</p> <p>MAC-AMP 64-16 MOD. DINAMICO</p>
<p><i>Modulo Dinámico Convencional Pruebas (01 y 02)</i></p>	<p><i>Modulo Dinámico Modificado Pruebas (01 y 02)</i></p>	<p><i>Modulo Dinámico Modificado Pruebas (03 y 04)</i></p>
 <p>DISEÑO VOLUMÉTRICO CON ASFALTO CONVENCIONAL</p> <p>DISEÑO VOLUMÉTRICO CON ASFALTO CONVENCIONAL</p>	 <p>DISEÑO VOLUMÉTRICO CON ASFALTO MODIFICADO (PG 64-16)</p> <p>DISEÑO VOLUMÉTRICO CON ASFALTO MODIFICADO (PG 64-16)</p>	
<p><i>Modulo Dinámico Convencional Pruebas (03 y 04)</i></p>	<p><i>Modulo Dinámico Modificado Pruebas (05 y 06)</i></p>	<p><i>Cortadora Para Modulo Dinámico</i></p>





*Modulo Dinámico Convencional Pruebas*



*Modulo Dinámico Modificado Con SBS Pruebas*



*Modulo Dinámico Modificado Y Convencional*



*Cortadora Para Moldes Para Modulo Dinámico*

**Anexo J** Certificado de calibración de equipos expedido por INGEOCONTROL S.A.C

Quality Management System



## Certificate of Registration

STAREGISTER certifies that, after successful auditing,  
the Management System of

### INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.

located at  
Mza. a Lote. 24 Int. 1 Urbanizacion Mayorazgo Naranjal 2da Etapa  
San Martin de Porres 17021 Peru

was found to comply to the requirements established in the standard:

## ISO 9001:2015

"Quality Management System - Requirements"

with the Scope:  
Laboratory service for testing materials for soils, concrete, pavements and  
asphalt for the sectors of transport, energy, buildings, mechanical projects,  
sanitation, among others.  
IAF Sector Code: 34

---

Initial Certification	: 7 December, 2022
Expiry Date	: 7 December, 2025
1st surveillance	:
2nd surveillance	:

---

  
 Certificate Manager







  
 Certificate Nr. 22MS071202  
 Issue Date  
 12/07/2022

F1001-7  
 Use of this certificate is subject to terms of certification Agreement  
 This certificate remains the property of STAREGISTER International Inc.

ISO 9001:2015  
 www.staregister.org



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO No LC-079



## Certificado de Calibración - Laboratorio de Fuerza

Calibration Certificate - Laboratory of Force

F-00655-012 R0

Página / Pág. 1 de 4

**Equipo**  
Instrument

MÁQUINA PARA ENSAYOS A COMPRESIÓN

**Fabricante**  
Manufacturer

RUMISTONE

**Modelo**  
Model

P102-5000KG

**Número de Serie**  
Serial Number

XH2108010007

**Identificación Interna**  
Internal Identification

LEM-101.1

**Capacidad Máxima**  
Maximum Capacity

5000 kgf

**Solicitante**  
Customer

INGEOCONTROL S.A.C.

**Dirección**  
Address

Av. Sagitario Mz. A Lote 12, Urb. San Pedro V etapa,  
Carabayillo

**Ciudad**  
City

Lima

**Fecha de Calibración**  
Date of calibration

2024 - 11 - 12

**Fecha de Emisión**  
Date of issue

2024 - 11 - 28

**Número de páginas del certificado, incluyendo anexos**

04

Number of pages of the certificate and documents attached

Sin la aprobación del Laboratorio de Metrología Pinzuar no se puede reproducir el Certificado, excepto cuando se reproduce en su totalidad, ya que proporciona la seguridad que las partes del Certificado no se secan de contexto. Los certificados de calibración sin firma no son válidos.

Without the approval of the Pinzuar Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the Certificate are not taken out of context. Unsigned calibration certificates are not valid.

**Firmas que Autorizan el Certificado**

Signatures Authorizing the Certificate

Ing. Sergio Iván Martínez  
Director Laboratorio de Metrología

Br. Félix Jaramillo Castillo  
Metólogo Laboratorio de Metrología



LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR LTDA.

Fuerza • Longitud • Masa • Temperatura

Calle Ricardo Palma No. 998 Urb. San Joaquín - Bellavista - Celiao 1 - STJ 562 1263 - www.pinzuar.com.pe





**METROLOGÍA Y AUTOMATIZACIÓN S.R.L.**  
**METAUT**

**CERTIFICADO DE CALIBRACION**  
**LF-CC-028-24**

Pag. 1 de 4

**CLIENTE : CONSTRUCCION Y ADMINISTRACION S.A.**

**INFORMACION DEL INSTRUMENTO:**

<b>EQUIPO</b>	GALILEO
<b>FABRICANTE</b>	GALILEO
<b>MODELO</b>	78-PV20R02
<b>N° SERIE</b>	19000883
<b>CAPACIDAD</b>	20 KN
<b>INDICADOR</b>	INDICADOR DIGITAL
<b>FABRICANTE</b>	CONTROLS GROUP
<b>MODELO</b>	—
<b>N° SERIE</b>	—
<b>PRECISION</b>	0.001 KN
<b>UBICACIÓN</b>	Laboratorio In Situ - Cañete
<b>DIA DE LA MEDICION</b>	18/12/2024

Los resultados de la medición reportados en este certificado fueron obtenidos siguiendo los procedimientos de calibración dados en el siguiente párrafo, donde los estándares de referencia son indicados en la siguiente página el cual garantiza la trazabilidad del instrumento Patrón y los certificados de calibración acreditado validan lo expuesto.

El procedimiento toma como referencia a la norma ASTM E4-07 y la Norma NTP ISO/IEC 17025. Se aplicaron dos series de carga al Sistema Digital mediante la misma prensa. En cada serie se registraron las lecturas de las cargas.



  
**STALIN OLAZABAL TREJO**  
**JEFE LABORATORIO FUERZA**  
**IE CIP N°182885**

JR. ANDRÉS RAZURI N° 242 - PACASMAYO - PACASMAYO - LA LIBERTAD  
 CELULAR 999934038 - 970830263 | E-MAIL [servicios@metaut.com](mailto:servicios@metaut.com) - [ventas@metaut.com](mailto:ventas@metaut.com)  
[WWW.METAUT.COM](http://WWW.METAUT.COM)



METROLOGÍA Y AUTOMATIZACIÓN S.R.L.

METAUT

## CERTIFICADO DE CALIBRACION

LLA-DI-046-24

Pag. 1 de 3

CLIENTE : CONSTRUCCION Y ADMINISTRACION S.A.

INFORMACION DEL INSTRUMENTO:

<b>EQUIPO</b>	DIAL INDICADOR - UTM30
<b>FABRICANTE</b>	AMFTEK SOLARTRON
<b>MODELO</b>	AX/0.5/S
<b>TIPO</b>	DIGITAL
<b>N° SERIE</b>	M923428AL46-11
<b>RANGO</b>	1 mm
<b>Precisión</b>	0.001 mm
<b>Procedencia</b>	-----

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el sistema internacional de unidades (SI).

La dirección de Metrología custodia, conserva y mantiene los patrones nacionales de las unidades de medida, calibra patrones secundarios, realiza mediciones y certificaciones metrológicas a solicitud de los interesados.

Para la realización del Proceso de calibración del equipo Metaut sigue el procedimiento PC-014 Edición 2 - 2001- Procedimiento de calibración de comparadores de cuadrantes.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario está obligado a recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

UBICACIÓN Laboratorio In Situ - Cariete

DÍA DE LA MEDICION 18/12/2024



*[Signature]*  
**STALIN OLAZABAL TREJO**  
 JEFE LAB. LONGITUD Y ANGULO  
 IE DIP N°182825

JR. ANDRES RAZURI N° 242 - PACASMAYO - PACASMAYO - LA LIBERTAD  
 CELULAR 999934038 - 970830283 | E-MAIL servicios@metaut.com - ventas@metaut.com  
 WWW.METAUT.COM