

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Efecto de la adición de la guinda como agente  
antioxidante en el proceso de envejecimiento a  
corto plazo del cemento asfáltico PEN 85-100 -  
Huancayo 2021**

Shirley Leslie Bernaola Poma

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**INFORME N° 02- CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS**

**A** : Felipe Néstor Gutarra Meza  
Decano de la Facultad de Ingeniería

**DE** : Enrique Eduardo Huaroto Casquillas  
Asesor de tesis

**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

**FECHA** : 19 de enero de 2024

---

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "EFECTO DE LA ADICIÓN DE LA GUINDA COMO AGENTE ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFALTICO PEN 85-100 - HUANCAYO 2021", perteneciente a la estudiante Shirley Leslie Bernaola Poma, de la E.A.P. de Ingeniería Civil; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 20 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (N° de palabras excluidas:40) SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



---

Asesor de tesis

## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, Shirley Leslie Bernaola Poma, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 70034519, de la E.A.P. de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "EFECTO DE LA ADICIÓN DE LA GUINDA COMO AGENTE ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFALTICO PEN 85-100 - HUANCAYO 2021", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

19 de Enero de 2024.



Shirley Leslie Bernaola Poma

DNI. No. 70034519

# EFFECTO DE LA ADICIÓN GUINDA COMO AGENTE ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFÁLTICO PEN 85-100 - HUANCAYO 2021

## INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

21%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	4%
2	<a href="#">Submitted to Universidad Continental</a> Trabajo del estudiante	3%
3	<a href="https://repositorio.continental.edu.pe">repositorio.continental.edu.pe</a> Fuente de Internet	3%
4	<a href="https://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
5	<a href="https://repositorio.urp.edu.pe">repositorio.urp.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="https://informatica.upla.edu.pe">informatica.upla.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="https://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="https://repositorio.unal.edu.co">repositorio.unal.edu.co</a> Fuente de Internet	1%

9	<a href="http://www.banrep.gov.co">www.banrep.gov.co</a> Fuente de Internet	<1 %
10	<a href="http://issuu.com">issuu.com</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="http://core.ac.uk">core.ac.uk</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="http://www.bdigital.unal.edu.co">www.bdigital.unal.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://revistas.ucr.ac.cr">revistas.ucr.ac.cr</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://transparencia.mtc.gob.pe">transparencia.mtc.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://repositorio.uc.cl">repositorio.uc.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
17	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
18	<a href="http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080">repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080</a> Fuente de Internet	<1 %
19	<a href="http://repositorio.unh.edu.pe">repositorio.unh.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="http://conred.gob.gt">conred.gob.gt</a> Fuente de Internet	<1 %

21	<a href="http://repository.javeriana.edu.co">repository.javeriana.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="http://pdfcookie.com">pdfcookie.com</a> Fuente de Internet	<1 %
23	<a href="http://www.ptcarretera.es">www.ptcarretera.es</a> Fuente de Internet	<1 %
24	<a href="http://repositorio.uap.edu.pe">repositorio.uap.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
25	<a href="http://upc.aws.openrepository.com">upc.aws.openrepository.com</a> Fuente de Internet	<1 %
26	<a href="http://repositorio.upla.edu.pe">repositorio.upla.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 40 words

Excluir bibliografía

Activo

## **DEDICATORIA**

A mi madre Maribel Poma, mi motivación, fortaleza y apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria. A mis abuelitos, Alejandro Poma y Paulina Porras, que desde el cielo siempre me acompañan en cada paso que doy, los amo infinitamente.

## AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, por brindarme respaldo y fortaleza durante períodos de desafío y vulnerabilidad. A mi Asesor ING. ENRIQUE HUAROTO CASQUILLAS, por sus conocimientos compartidos durante todo el proceso, a través de su experiencia, sabiduría y estímulo, me guio en el desarrollo de la presente investigación.

A mi Madre Maribel Poma Porras y a Raúl Cajachagua Jacay, por ser los principales impulsores de mis aspiraciones, por depositar su confianza en mí y creer en mis metas, así como por los valiosos consejos, principios y valores que me han inculcado.

A mi madrina Gladis Gloria Bernaola Aduato, por brindarme apoyo constante, incluso en momentos difíciles y desafiantes y a mi Padre Hugo Bernaola Aduato.

A todos los educadores que, con su sabiduría, conocimiento y respaldo, me inspiraron a crecer tanto a nivel personal como profesional durante mi tiempo en la Universidad.

A María Araujo y Cesar Carrasco, por los consejos brindados, por la confianza depositada en mí y su constante motivación para el logro de mis metas.

A Gabriela Gomez Capcha y Stephani Herrera Morales, por la amistad brindada, el apoyo, el ánimo y la compañía durante los momentos más desafiantes de mi existencia. A Sheyla, Theka, Taty, Genesis, Dayana, Leonora, Manuel, Ericka por su apoyo emocional, siempre me dieron esperanzas y tuvieron fe en mí.

Numerosas personas han sido parte fundamental de mi carrera, y deseo expresar mi profundo agradecimiento por su amistad, orientación, respaldo, aliento y presencia en los momentos más desafiantes de mi trayectoria. Algunos están presentes en mi entorno actual, mientras que otros residen en mis memorias y en mi afecto. Sin importar su ubicación, quiero expresar mi sincero agradecimiento por ser una parte valiosa de mi vida, por todas las contribuciones que han hecho y por las invaluable bendiciones que han compartido conmigo.

## ÍNDICE

ÍNDICE.....	iv
CONTENIDO DE TABLAS .....	vii
CONTENIDO DE FIGURAS.....	x
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	xiv
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	1
1.1.1 Problema general .....	3
1.1.2 Problemas específicos.....	4
1.2. Objetivos .....	4
1.2.1 Objetivo general .....	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	4
1.3. Justificación e Importancia.....	4
1.4. Delimitación del Proyecto.....	5
1.5. Hipótesis.....	6
1.5.1. Hipótesis general .....	6
1.5.2. Hipótesis específicas.....	6
1.6. Operacionalización de Variables.....	6
1.6.1. V1.- Variable independiente: Guinda.....	6
1.6.2. V2.- Variable dependiente: envejecimiento a corto plazo del cemento asfáltico6	
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	9
2.1 Antecedentes del problema .....	9
2.2 Bases teóricas .....	14
2.2.1 Guinda (Prunus Capulí).....	14

2.2.2	Envejecimiento del asfalto a corto plazo .....	16
2.2.3	Definición y composición del cemento asfáltico PEN 85-100.....	22
2.2.4	Propiedades físicas del cemento asfáltico .....	23
2.2.5	Factores que afectan el envejecimiento del cemento Asfáltico .....	23
2.2.6	Efectos del envejecimiento del asfalto a corto plazo en las propiedades físicas del cemento Asfáltico .....	24
2.2.7	Efectos del envejecimiento del asfalto a corto plazo en las propiedades Mecánicas del cemento Asfáltico .....	26
2.2.8	Ensayos a realizarse.....	26
2.2.9	Información previa acerca de modelos utilizados en el proceso de envejecimiento del asfalto .....	31
2.2.10	Contexto histórico de investigaciones sobre el proceso de oxidación en el asfalto.....	34
2.2.11	Uso de antioxidantes en el cemento Asfáltico.....	36
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....		37
3.1	Método y alcance de la investigación .....	37
3.1.1	Método de investigación.....	37
3.1.2	Tipo de la investigación.....	37
3.1.3	Nivel de la investigación .....	37
3.2	Diseño de la Investigación .....	37
3.3	Población y muestra. ....	38
3.3.1	Población. ....	38
3.3.2	Muestra. ....	38
3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	40
3.4.1	Técnica de recolección de datos. ....	40
3.4.2	Instrumento de recolección de datos. ....	40
3.4.3	Procedimiento de recolección de datos .....	40

3.4.4	Estudios de laboratorio .....	42
3.4.5	Validez y confiabilidad.....	50
3.4.6	Tratamiento estadístico.....	52
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		54
4.1.	Resultados del tratamiento y análisis de la información .....	54
4.1.1.	Análisis de la Información.....	54
4.1.2.	Resumen del ensayo de Viscosidad:.....	75
4.1.3.	Resumen de la Susceptibilidad térmica .....	76
4.1.4.	Resumen del ensayo de propiedades mecánicas.....	77
4.2.	Prueba de Hipótesis.....	80
4.2.1.	Ensayo de Viscosidad.....	80
4.2.2.	Susceptibilidad Térmica .....	86
4.2.3.	Propiedades mecánicas .....	94
4.3.	Discusión de Resultados.....	105
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		108
5.1.	Conclusiones .....	108
5.2.	Recomendaciones.....	110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		112
ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA.....		121
ANEXO 2: MATRIZ OPERACIONAL.....		122
ANEXO 3: FICHA TÉCNICA .....		124
ANEXO 4: RESULTADOS DE LABORATORIO .....		125
ANEXO 5: PANEL FOTOGRÁFICO.....		150
ANEXO 6: CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS.....		175

## CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1: Matriz Operacional .....	7
Tabla 2: La Producción de la Guinda en el Perú (toneladas).....	14
Tabla 3: La composición química obtenida en 100 gramos de guinda comestible.....	15
Tabla 4:La composición química de la fruta nativa.....	15
Tabla 5: Tabla de los usos granulométricos.....	28
Tabla 6: Requerimientos para la composición de concreto asfáltico .....	29
Tabla 7: Categoría de asfalto en función de la temperatura ambiente. ....	41
Tabla 8: Características fundamentales del cemento asfáltico .....	43
Tabla 9: Distribución de tamaños de la piedra triturada de Matahuasi con tamaño nominal $-\frac{1}{2}$ ". .....	44
Tabla 10: Características granulométricas de la arena tamizada proveniente de Matahuasi .....	45
Tabla 11: Distribución de tamaños de la arena triturada de Matahuasi .....	46
Tabla 12: Distribución de tamaños del filler.....	47
Tabla 13: Distribución granulométrica de la guinda.....	49
Tabla 14: Proporción de mezcla para la combinación de agregados según la clasificación MAC 2....	69
Tabla 15: Curva granulométrica de la combinación de agregados establecidos por el MAC 2.....	70
Tabla 16: Pesos para cada tamiz en el ensayo Marshall .....	72
Tabla 17: Datos de la Estabilidad, flujo y vacíos del Ensayo Marshall.....	73
Tabla 18: Prueba de normalidad de la viscosidad del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 5% de adición de guinda. ....	81
Tabla 19: Análisis de significancia de la viscosidad del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 5% de adición de guinda. ....	81
Tabla 20: Prueba de normalidad de la viscosidad del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 10 % de adición de guinda. ....	82
Tabla 21: Análisis de significancia de la viscosidad del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 10 % de adición de guinda. ....	83
Tabla 22: Prueba de normalidad de la viscosidad del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 15 % de adición de guinda. ....	83

Tabla 23: Análisis de significancia de la viscosidad del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 15 % de adición de guinda. ....	84
Tabla 24: Prueba de normalidad de la viscosidad del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 20% de adición de guinda. ....	85
Tabla 25: Análisis de significancia de la viscosidad del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 20 % de adición de guinda. ....	85
Tabla 26: Descriptivos de la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 5% de adición de guinda .....	86
Tabla 27: Normalidad susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 5% de adición de guinda .....	87
Tabla 28: Análisis de significancia de la susceptibilidad térmica del asfalto 85-100 con 0% de adición de guinda y 5% de adición de guinda. ....	87
Tabla 29: Descriptivos de la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 10% de adición de guinda .....	88
Tabla 30: Normalidad de la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 10% de adición de guinda .....	89
Tabla 31: Análisis de significancia de la susceptibilidad térmica del asfalto 85-100 con 0% de adición de guinda y 10% de adición de guinda. ....	89
Tabla 32: Descriptivos de la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 15% de adición de guinda .....	90
Tabla 33: Normalidad de la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 15% de adición de guinda .....	91
Tabla 34: Análisis de significancia de la susceptibilidad térmica del asfalto 85-100 con 0% de adición de guinda y 15% de adición de guinda. ....	91
Tabla 35: Descriptivos de la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 20% de adición de guinda .....	92
Tabla 36: Normalidad de la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 20% de adición de guinda .....	93
Tabla 37: Análisis de significancia de la susceptibilidad térmica del asfalto 85-100 con 0% de adición de guinda y 20% de adición de guinda. ....	94
Tabla 38: Normalidad de la estabilidad Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 5% de adición de guinda .....	94

Tabla 39: Análisis de significancia de la estabilidad Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 5% de adición de guinda.....	95
Tabla 40: Normalidad de la estabilidad Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 10% de adición de guinda .....	96
Tabla 41: Análisis de significancia de la estabilidad Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 10% de adición de guinda.....	96
Tabla 42: Normalidad de la estabilidad Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 15% de adición de guinda .....	97
Tabla 43: Análisis de significancia de la estabilidad Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 15% de adición de guinda.....	98
Tabla 44: Normalidad de la estabilidad Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 20% de adición de guinda .....	98
Tabla 45: Análisis de significancia de la estabilidad Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 20% de adición de guinda.....	99
Tabla 46: Normalidad de la Fluencia Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 5% de adición de guinda .....	100
Tabla 47: Análisis de significancia de la Fluencia Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 5% de adición de guinda. ....	100
Tabla 48: Normalidad de la Fluencia Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 10% de adición de guinda .....	101
Tabla 49: Análisis de significancia de la Fluencia Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 10% de adición de guinda. ....	102
Tabla 50: Normalidad de la Fluencia Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 15% de adición de guinda .....	102
Tabla 51: Análisis de significancia de la Fluencia Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 15% de adición de guinda. ....	103
Tabla 52: Normalidad de la Fluencia Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 20% de adición de guinda .....	104
Tabla 53: Análisis de significancia de la Fluencia Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 20% de adición de guinda. ....	104

## CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1: Desgaste de asfalto en las juntas con la vereda en la intersección Jr. Ricardo Palma y Jr. Arequipa.....	2
Figura 2: Desgaste del pavimento de la Av. Huancavelica; se puede apreciar el desgaste del pavimento con fisuras .....	2
Figura 3: Proceso de producción del asfalto en planta.....	3
Figura 4: Destilación del asfalto .....	17
Figura 5: Grupos funcionales existentes en el asfalto.....	21
Figura 6: Diagrama de índice de penetración .....	27
Figura 7: Curva de deterioro del asfalto con el tiempo.....	33
Figura 8: Viscosidad específica de varios asfaltos con diversas concentraciones de asfáltenos .....	35
Figura 9: Planta de obtención de agregado del distrito de Matahuasi.....	41
Figura 10: Guinda en extraída para el estudio .....	42
Figura 11: Curva del ensayo de granulometría de la piedra de ½” .....	44
Figura 12: Curva del ensayo de granulometría de la arena zarandeada .....	45
Figura 13: Curva del ensayo de granulometría de la arena chancada .....	46
Figura 14: Curva del ensayo de granulometría de filler.....	47
Figura 15: Guinda (Prunus capulí) deshidratada o seca. ....	48
Figura 16: Molienda de la guinda seca .....	48
Figura 17: Curva del ensayo de granulometría de la guinda pulverizada .....	50
Figura 18: Cemento asfáltico PEN 85-100 modificado con guinda en proceso de ebullición.....	55
Figura 19: Viscosidad del asfalto PEN 85-100 sin la incorporación de guinda.....	56
Figura 20: Viscosidad del cemento asfáltico PEN 85-100 con la adición del 5% de guinda.....	57
Figura 21: Viscosidad del cemento asfáltico PEN 85-100 con adición de 10% guinda.....	58
Figura 22: Viscosidad del cemento asfáltico PEN 85-100 con adición de 15% guinda.....	59
Figura 23: Viscosidad del cemento asfáltico PEN 85-100 con adición de 20% guinda.....	60
Figura 24: Susceptibilidad térmica del cemento asfáltico PEN 85-100.....	62
Figura 25: Susceptibilidad térmica del cemento asfáltico PEN 85-100 con adición de 5% guinda .....	63

Figura 26: Susceptibilidad térmica del cemento asfáltico PEN 85-100 con adición de 10% guinda ...	64
Figura 27: Susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con adición de 15% guinda.....	65
Figura 28: Susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con adición de 20% guinda.....	66
Figura 29: Curva de distribución de tamaños obtenido .....	71
Figura 30: Porcentaje de porosidad del asfalto PEN 85-100 a diferentes concentraciones de cemento asfáltico.....	73
Figura 31: Flujo (mm) de la mezcla asfáltica obtenida a distintos porcentajes del cemento asfáltico PEN 85-100.....	74
Figura 32: Estabilidad (kg) de la mezcla asfáltica a distintos porcentajes del cemento asfáltico PEN 85-100 .....	75
Figura 33: Síntesis del análisis de la viscosidad del asfalto PEN 85-100 con la adición de 5%, 10%, 15% y 20% de guinda .....	76
Figura 34: Síntesis de la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con la adición de 5%, 10%, 15% y 20% de guinda.....	77
Figura 35: Estabilidad (kg) del asfalto pen 85-100 en función del porcentaje de guinda pulverizada añadida.....	78
Figura 36: Flujo (mm) del asfalto PEN 85-100 en función del porcentaje de guinda pulverizada añadida .....	79
Figura 37: Flujo (%) del asfalto PEN 85-100 en función del porcentaje de guinda pulverizada añadida .....	80

## RESUMEN

La adición de agentes antioxidantes en las mezclas asfálticas en caliente trata de disminuir los impactos del oxígeno en la composición química del asfalto, siendo un problema común las fisuraciones generadas por las altas temperaturas en su producción; provocando el envejecimiento del asfalto a corto plazo. La presente investigación quiere determinar como objetivo general cuál es el efecto de la adición de guinda como agente antioxidante en el proceso de envejecimiento a corto plazo del cemento asfáltico de penetración 85-100, para lo cual cuantificaremos los diferentes porcentajes de adición de la guinda y cómo modifica al cemento asfáltico.

Como metodología de estudio a nivel explicativo y diseño cuasi experimental, utilizando el viscosímetro rotacional (Brookfield) para el ensayo de viscosidad dinámica que determina la resistencia cuando se someten a un esfuerzo cortante, la susceptibilidad térmica a diferentes temperaturas, la estabilidad y Fluencia Marshall. Con estos ensayos se analiza el efecto de la adición de la guinda (*Prunus capulí*) en cantidades porcentuales de acuerdo a referencias bibliográficas, en las propiedades del asfalto.

Como conclusión, se llegó a que las propiedades físicas son afectadas en los ensayos de viscosidad; se comparó con el ligante asfáltico PEN85/100, en el cual se evidenció que la adición de guinda pulverizada altera la viscosidad del cemento asfáltico, comportándose de manera diferente con cada porcentaje de guinda; del mismo modo para la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 aumentándola ligeramente sin sobrepasar lo permitido, luego de evaluar las características físicas del cemento asfáltico al introducir el aditivo orgánico, se observó que las propiedades mecánicas experimentaron una mejora en todos los niveles de incorporación del aditivo, en comparación con su estabilidad de diseño. De igual modo, se registró un incremento en la deformación del cemento asfáltico a medida que se aumentaba la cantidad de guinda añadida.

**Palabras clave:** *guinda, cemento asfáltico, propiedades físicas, propiedades mecánicas, viscosidad y susceptibilidad térmica*

## ABSTRACT

The addition of antioxidant agents to hot asphalt mixtures aims to reduce the impact of oxygen on the chemical composition of asphalt, with common issues being cracks generated by high temperatures during production, leading to short-term aging of the asphalt. The present research aims to determine, as a general objective, the effect of adding guinda as an antioxidant agent in the short-term aging process of penetration asphalt cement 85-100. For this purpose, we will quantify different percentages of guinda and examine how it modifies asphalt cement.

As a methodology at the explanatory level and quasi-experimental design, the study utilizes the rotational viscometer (Brookfield) for the dynamic viscosity test, determining resistance under shear stress, thermal susceptibility at different temperatures, and Marshall stability and flow. These tests analyze the effect of adding guinda (*prunus capuli*) in percentage quantities according to bibliographic references on asphalt properties.

In conclusion, it was found that physical properties are affected in viscosity tests when compared to asphalt binder PEN85/100. The addition of powdered guinda was observed to alter the viscosity of asphalt cement, behaving differently with each percentage of guinda. Similarly, the thermal susceptibility of asphalt PEN 85-100 slightly increased without exceeding allowable limits. After evaluating the physical characteristics of asphalt cement with the introduction of the organic additive, it was observed that the mechanical properties experienced improvement at all levels of additive incorporation compared to its design stability. Likewise, an increase in asphalt cement deformation was recorded as the quantity of added guinda increased.

**Keywords:** *guinda, asphalt cement, physical properties, mechanical properties, viscosity and thermal susceptibility*

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo social y económico en la ciudad de Huancayo han generado un incremento anual en la cantidad total de calles asfaltadas, debido a que la población beneficiaria ha ido en crecimiento con el paso de los años. Siendo una necesidad que las calles asfaltadas posean mejores características físicas y mecánicas con el paso de los años, a fin de que cumplan con la funcionalidad requerida.

El envejecimiento prematuro del asfalto, es una de las posibles causas de su corto tiempo de vida; pues la oxidación que sufre durante la etapa de producción cambia sus características físicas y mecánicas, ocasionando la rigidización del mismo, por lo cual el uso de aditivos se está haciendo común con el propósito de reducir el efecto de la oxidación en el asfalto. Asimismo, el uso de aditivos naturales es cada vez más atractivo, por su alto contenido de antioxidantes, para poder disminuir el grado de envejecimiento asfáltico a corto plazo.

En el valle del Mantaro el fruto más abundante viene a ser la guinda (*Prunus capulí*) y por ende es la más accesible y barata, ya que la producción de las guindas no requiere del uso de fertilizantes o de tener el cuidado minucioso como cualquier otro fruto, sus árboles crecen de manera natural y sin dificultades en Huamancaca Chico, el distrito pertenece a la provincia de Chupaca, contiguo a la provincia de Huancayo (Junín). Puesto que la siguiente investigación está ubicada en Huancayo, la guinda es un fruto accesible y barato. Por otra parte, la guinda, gracias a sus propiedades antioxidantes puede ayudar al asfalto con la disminución de viscosidad y con ello retrasar el envejecimiento del asfalto.

El estudio se compone de un total de seis capítulos:

En el capítulo I, se realizó el planteamiento de la investigación, problemas, objetivos, justificación e importancia del estudio y la hipótesis con la descripción de cada variable.

En el capítulo II, se abordaron los antecedentes del problema, buscando investigaciones que hayan utilizado aditivos para retrasar el envejecimiento del asfalto, asimismo se recolectó información teórica del uso de aditivos y la influencia de estos en las propiedades del asfalto.

En el capítulo III, se abordó el enfoque metodológico empleado en este estudio, que incluye la descripción de la población y muestra, así como los procedimientos para la obtención y análisis de los datos recabados.

En el capítulo IV, se detalla las evaluaciones realizadas y los hallazgos obtenidos en relación a la viscosidad, susceptibilidad térmica, la estabilidad y Fluencia Marshall del asfalto. Teniendo la muestra patrón y con los diferentes porcentajes de adición de la guinda pulverizada. Asimismo, se lleva a cabo la comparación de resultados obtenidos con los antecedentes detallados en el capítulo II del marco teórico de la presente investigación, determinando el efecto de la adición de la guinda en la viscosidad, susceptibilidad térmica, estabilidad y Fluencia Marshall.

En el capítulo V, se muestran las conclusiones y sugerencias derivadas de la revisión de los resultados obtenidos.

# CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

## 1.1. Planteamiento y formulación del problema

En las últimas décadas, a nivel internacional se ha seguido investigando las causas del envejecimiento del asfalto; **Dow (1903)**, estableció una conexión del asfalto entre el aumento de temperatura y la disminución tanto de su peso como de los valores de penetración (1), hasta la actualidad se continua con las investigaciones relacionadas al envejecimiento del asfalto al contacto con el oxígeno y los diversos factores que intervienen en su envejecimiento a corto plazo. Siendo una gran contribución para el desarrollo de nuevas tecnologías y el uso de aditivos con el propósito de aumentar el periodo de vida útil de los asfaltos en las carreteras. (2). La deformación ocasionada por las cargas de tránsito de vehículos, los cambios climáticos y la interacción de la mezcla en su producción con factores externos e internos provocan el endurecimiento generando la aparición de grietas, que a su vez permite las filtraciones de agua y vapor al interior del asfalto por consecuencia habrá pérdida de cohesión y daños por humedad reduciendo la durabilidad del pavimento asfáltico (3), durante el proceso de oxidación en el asfalto, que produce un incremento de los asfáltenos dentro de su composición química, ocasionado el incremento de su viscosidad por la presencia del oxígeno (4). Generando como consecuencia que el asfalto experimente un incremento en su rigidez, lo cual conduce a una disminución en la formación de hendiduras por carga repetida, al tiempo que se promueve un aumento en las grietas de la capa asfáltica a lo largo de su vida útil (5).

A nivel nacional, se ha vuelto primordial para las empresas y constructoras que trabajan con mezclas asfálticas el uso de aditivos, por lo que actualmente se utilizan polímeros y aditivos naturales, a fin de reducir el envejecimiento del asfalto, para aumentar su tiempo de vida útil (6).

En el Perú, el asfalto es usado como parte de la capa estructural de las carreteras, autopistas, caminos y otras vías, brindando propiedades de impermeabilidad, flexibilidad y durabilidad (7). Siendo el asfalto de PEN 85-100 el que mejor desempeño ha mostrado en el país para la ciudad de Huancayo, con clima templado subhúmedo con temperatura promedio anual de 13.8°C, según el Instituto Geofísico del Perú (8), por lo cual es el indicado para esta investigación.

En la ciudad de Huancayo se evidencia según las figuras 1 y 2, que las calles asfaltadas presentan una vida útil corta, esto se debe a diferentes factores y uno de ellos es el envejecimiento prematuro que sufre el asfalto. Ya que, en la producción del asfalto, figura 3, este entra en contacto con el oxígeno provocando la rigidez de los asfáltenos, aceites aromáticos y sulfatos. Lo que ocasiona agrietamientos que más adelante sin un buen mantenimiento se

convertirán en baches, generando tráfico por la lenta circulación de los vehículos y malestar a los conductores, no cumpliendo la funcionalidad requerida del pavimento.



Figura 1: Desgaste de asfalto en las juntas con la vereda en la intersección Jr. Ricardo Palma y Jr. Arequipa

Fuente: Elaboración Propia



Figura 2: Desgaste del pavimento de la Av. Huancavelica, se puede apreciar el desgaste del pavimento con fisuras

Fuente: Elaboración Propia



Figura 3: Proceso de producción del asfalto en planta.

Fuente: Google Imágenes

Pero ¿Qué se puede hacer para retrasar este proceso de envejecimiento a corto plazo del asfalto? Todo parte de su composición química, su grado de oxidación está relacionado con el proceso de envejecimiento, lo que ocasiona la modificación física, disminuyendo el grado de penetración y ductilidad, aumentando su temperatura en el ensayo de punto de ablandamiento y de ignición (9), y la modificación química de su estructura molecular, involucran una reorganización de las moléculas de asfalto el cual se lleva a cabo debido a la volatilización y oxidación, generando modificaciones en las categorías de saturados, asfáltenos, resinas y aromáticos (10). La oxidación del asfalto es el resultado de una reacción química irreversible que tiene lugar cuando el material interactúa con el oxígeno presente en la atmósfera (11).

En ese sentido, este estudio pretende utilizar la guinda como aditivo antioxidante en el asfalto de PEN 85-100, dado que es un material que contiene componentes fenólicos con propiedades antioxidantes, tales como el ácido fenólico, las antocianinas, los flavonoles y las catequinas. Además de que en el Perú se encuentra en tres regiones, Ayacucho, Huancavelica y Junín. Por todo lo expuesto, el objetivo de esta investigación consiste en analizar en laboratorio, el impacto generado por la incorporación de polvo de guinda (*Prunus Capulí*) al asfalto, considerando también sus características antioxidantes.

### 1.1.1 Problema general

- ¿Cuál es el efecto de la adición de guinda (*Prunus capulí*) como agente antioxidante en el proceso de envejecimiento a corto plazo del cemento asfáltico de penetración 85-100 - Huancayo 2021?

### **1.1.2 Problemas específicos**

- ¿Cuál es el efecto de la adición de guinda (*Prunus capulí*) como agente antioxidante en la viscosidad del cemento asfáltico de penetración 85-100 - Huancayo 2021?
- ¿Cuál es el efecto de la adición de guinda (*Prunus capulí*) como agente antioxidante en la susceptibilidad térmica del cemento asfáltico de penetración 85-100 - Huancayo 2021?
- ¿Cuál es el efecto de la adición de la guinda (*Prunus capulí*) como agente antioxidante en estabilidad y Fluencia Marshall de la mezcla asfáltica elaborada con cemento asfáltico PEN 85-100 - Huancayo 2021?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

- Determinar cuál es el efecto de la adición de guinda (*Prunus capulí*) como agente antioxidante en el proceso de envejecimiento a corto plazo del cemento asfáltico de PEN 85-100 - Huancayo 2021.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Examinar cuál es el efecto de la adición de la guinda (*Prunus capulí*) como agente antioxidante en la viscosidad del cemento asfáltico de PEN 85-100 - Huancayo 2021.
- Analizar cuál es el efecto de la adición de la guinda (*Prunus capulí*) como agente antioxidante en la susceptibilidad térmica del cemento asfáltico de PEN 85-100 - Huancayo 2021.
- Evaluar cuál es el efecto de la adición de la guinda (*Prunus capulí*) como agente antioxidante en la estabilidad y Fluencia Marshall de la mezcla asfáltica elaborada con cemento asfáltico PEN 85-100 - Huancayo 2021.

## **1.3. Justificación e Importancia**

La investigación se justifica con el uso de la guinda (*Prunus capulí*) como antioxidante para retrasar el envejecimiento del asfalto, a fin de evitar el agrietamiento de la carpeta asfáltica y así aumentar la vida útil del pavimento flexible (2), por medio de ensayos en laboratorio y el análisis de sus propiedades (viscosidad, susceptibilidad térmica, estabilidad y fluencia) directamente relacionadas con el envejecimiento a corto plazo del asfalto. El cual genera gastos elevados en el mantenimiento de la carpeta asfáltica. Por otro lado, los antioxidantes, se encuentran entre los aditivos que frenan el envejecimiento del asfalto (11). El uso del polvo de la guinda para el retraso del envejecimiento del asfalto con PEN 85-100 será beneficioso para la ciudad de Huancayo, con clima templado subhúmedo con temperatura promedio anual de 13.8°C, según el Instituto Geofísico del Perú (8), de acuerdo a las limitaciones del asfalto utilizado en la presente investigación.

## **1.4. Delimitación del Proyecto**

### **1.4.1. Espacial**

La investigación contemplo la modificación del asfalto de penetración 85-100, que es adecuado para zonas con clima templados, como la ciudad de Huancayo con temperaturas de -5°C y 9°C en épocas de frío y alcanza una temperatura de 19°C en días soleados, con guinda pulverizada, mediante los ensayos de viscosidad, penetración, ensayo Marshall, en la ciudad de Huancayo 2021.

### **1.4.2. Temporal**

Los datos de las muestras de esta investigación se recopilaron en el lapso comprendido desde octubre del 2021 hasta inicios del mes de enero del 2022, teniendo en cuenta que es el periodo de producción de la guinda (*Prunus capulí*) en la ciudad de Huancayo, se ha trabajado con la guinda en estado verde teniendo en cuenta que, el periodo donde se recopiló el fruto para posteriormente realizar los ensayos, fue en el mes de noviembre del 2021. Esta provincia cuenta con aproximadamente 43 mil km<sup>2</sup>, y se encuentra geográficamente ubicada a 12°03'00" sur y 75°13'00" Oeste, con un promedio de altitud de 3248 m.s.n.m.

### **1.4.3. Contenido**

Con el propósito de evaluar el impacto de incorporar la guinda (*Prunus capulí*), como agente antioxidante en el envejecimiento a corto plazo del asfalto PEN 85-100, se llevaron a cabo ensayos de viscosidad, penetración, estabilidad y fluencia Marshall se tomó en consideración las especificaciones del “Manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones”. Ya que, mediante el cambio de las propiedades, teniendo como base referencias bibliográficas, se puede establecer si el asfalto va a resistir o no al envejecimiento a corto plazo, por lo que esta investigación abarca el tema de envejecimiento del asfalto a corto plazo a través de la evaluación de sus propiedades.

### **1.4.4. Económico**

La presente investigación ha sido autofinanciada por la investigadora. De manera que la cantidad de muestras está en función de la normatividad correspondiente para la realización de ensayos para medir el efecto de la adición de la guinda (*Prunus capulí*) en las propiedades físicas y mecánicas como agente antioxidante en el proceso de envejecimiento a corto plazo del cemento asfáltico de PEN 85-100.

## **1.5. Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis general**

- La adición de la guinda, afecta significativamente como agente antioxidante en el proceso de envejecimiento a corto plazo del cemento asfáltico de PEN 85-100 - Huancayo 2021.

### **1.5.2. Hipótesis específicas**

- El efecto de la adición de la guinda como antioxidante, disminuye la viscosidad del cemento asfáltico de PEN 85-100 - Huancayo 2021.
- El efecto de la adición de la guinda como agente antioxidante, disminuye la susceptibilidad térmica del cemento asfáltico de PEN 85-100 - Huancayo 2021.
- El efecto de la adición de la guinda como agente antioxidante, aumenta la estabilidad y disminuye la Fluencia Marshall de la mezcla asfáltica elaborada con cemento asfáltico de PEN 85-100 - Huancayo 2021.

## **1.6. Operacionalización de Variables**

### **1.6.1. V1.- Variable independiente: Guinda**

La guinda (*Prunus Capulí*), es una fruta rica en compuestos bioactivos, incluyendo antioxidantes. Está compuesta principalmente por agua, carbohidratos, fibra dietética, vitaminas (principalmente vitamina C) y minerales (como potasio, calcio y magnesio) (12). Siendo los antioxidantes los principales protagonistas en retrasar el desgaste del asfalto debido al contacto con el oxígeno en el proceso de producción.

### **1.6.2. V2.- Variable dependiente: envejecimiento a corto plazo del cemento asfáltico**

Se origina cuando en el proceso de producción el asfalto entra en contacto con el oxígeno desencadenando una serie de reacciones químicas y por consecuentemente físicas. (13)

Se analizarán los resultados obtenidos de las pruebas de viscosidad, la sensibilidad térmica del asfalto y las características mecánicas del asfalto utilizado en este caso el PEN 85-100, al agregar guinda pulverizada, además de evaluar cómo esto afecta al proceso de envejecimiento del asfalto.

Tabla 1: *Matriz Operacional*

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE VALORACIÓN	NORMATIVA
VARIABLE INDEPENDIENTE: Guinda	La guinda contiene antocianinas y los ácidos fenólicos ayudan a neutralizar los radicales libres y proteger las células del daño oxidativo (14).	La variable independiente se operacionaliza mediante su granulometría. La adición de la guinda pulverizada mediante el ensayo de granulometría se utilizará el material más fino en diferentes porcentajes para adicionar a la mezcla asfáltica.	D1: Porcentajes de adición del 5% D2: Porcentajes de adición del 10% D3: Porcentajes de adición del 15% D4: Porcentajes de adición del 20%	I1: Tamaño de partículas (Granulometría) I2: Peso en seco (gr)	Ordinal Razón	“MTC E 204 - Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos”
VARIABLE DEPENDIENTE: Envejecimiento a corto plazo del cemento asfáltico	El envejecimiento del asfalto a corto plazo se produce cuando los componentes del mismo entran en contacto con el oxígeno, lo que provoca cambios químicos en la viscosidad, la sensibilidad térmica del asfalto y las características mecánicas de la mezcla asfáltica (3).	La variable dependiente se operacionaliza mediante sus dimensiones: viscosidad, susceptibilidad térmica, estabilidad, fluencia y vacíos del ensayo de Marshall	D1: Propiedades físicas  D2: Propiedades mecánicas	I1.- Viscosidad (Pas) I2.- Susceptibilidad Térmica (Pa.s/°C)  I3.- Estabilidad del ensayo de Marshall (Kg) I4.-Fluencia del ensayo Marshall (mm)	Razón	“ASTM D4402 - Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer”  “ASTM D4402 - Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated

						<p>Temperatures Using a Rotational Viscometer</p> <p>ASTM D5- MTC E 304</p> <p>Ensayo de penetración de materiales bituminosos”</p>
						<p>“ASTM D6927 - Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures.”</p> <p>“MTC E 504 Resistencia de Mezclas Bituminosas Empleando el Aparato Marshall.”</p>

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes del problema

#### Antecedentes internacionales

En la investigación titulada “Modificación del asfalto con orujo de uva como material antioxidante”, artículo científico para la Revista Infraestructura Vial, (15). Se planteó como objetivo la evaluación de las propiedades antioxidantes del orujo de uva roja en el asfalto. Con metodología experimental, se inicia con el secado del orujo de uva, sometiéndolo a un horno a una temperatura de 90 °C durante 3 días. Se procedió a modificar el asfalto incorporando orujo de uva roja en proporciones del 1%, 2% y 3% como agente antioxidante. Las muestras preparadas fueron sometidas a un proceso de oxidación natural al aire libre durante 12 semanas. Adicionalmente, se sometieron las muestras a un envejecimiento en un horno de radiación ultravioleta (UV) para realizar comparaciones con el envejecimiento experimentado al aire libre. Presentando resultados con el asfalto que incorpora un 3% de orujo el cual presenta el menor aumento en el índice de carbonilos en comparación con los demás asfaltos, sugiriendo que este porcentaje logra retrasar la oxidación en comparación con el asfalto no modificado.

En el artículo científico titulado “Evaluación del efecto del envejecimiento del cemento asfáltico 80-100 modificado con lignina”, de la Universidad Libre de Barranquilla - Colombia (16). Se planteó como objetivo analizar los resultados que obtuvo de la adición de lignina al asfalto, este aditivo natural es un polímero abundante de fácil acceso, además de brindar soporte estructural, impermeabilidad y resistencia contra agentes microbiológicos y estrés oxidativo. Con metodología experimental, para lo cual los autores realizan la caracterización de los materiales empleados, para que realicen los ensayos de penetración, punto de ablandamiento y horno de película delgada. Obtuvo resultados, donde la incorporación de lignina al 20% de la mezcla asfáltica ocasiona su rigidez y afecta negativamente sus propiedades mecánicas. Se determinó que el porcentaje adecuado de adición de lignina es del 15%, ya que en esta proporción el asfalto exhibe un comportamiento reológico mejorado, incrementando su estabilidad en un 33.77%, en comparación con el pavimento convencional. Además, muestra una menor sensibilidad térmica, evidenciada por un punto de ablandamiento de 48.8 °C, y modifica la temperatura de 135°C para los procesos de compactación y mezclado.

En la tesis titulada “Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato (EVA)” trabajo de graduación de la Universidad Central de Ecuador (17). Se planteó como objetivo optimizar las características físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas a través de la inclusión del polímero etileno vinil acetato (EVA)”. Con metodología experimental, se llevaron a cabo pruebas con el objetivo de describir las propiedades de los materiales empleados, siguiendo los procedimientos y especificaciones indicados por sus respectivas normas. Se realizaron ensayos tanto en las mezclas convencionales como en las modificadas, incluyendo pruebas de Marshall, Cántabro, tensión indirecta y módulo dinámico elástico. El último ensayo resulta especialmente significativo, pues evalúa el comportamiento del asfalto a diferentes temperaturas y las deformaciones que pueda presentar mediante la tecnología moderna COOPER TECHNOLOGY (CRTHYD25-II). Presentando resultados que evidencian una optimización sustancial en las propiedades de la mezcla asfáltica. Se llega a la conclusión de que la inclusión del “polímero etileno vinil acetato (EVA)” en una mezcla convencional, confiere atributos de durabilidad y potencia las propiedades físico-mecánicas, contribuyendo así a la reducción del deterioro y los daños en las vías.

En el artículo científico titulado “El efecto de la adición del antioxidante 1,2-dihidro-2,2,4-trimetil-quinolina en características del asfalto modificado con caucho crepé en condiciones de envejecimiento a corto plazo y envejecimiento a largo plazo” del departamento de Ingeniería química e Ingeniería civil de la Universidad de Riau de Indonesia (18). Tiene por objetivo aumentar la durabilidad del asfalto, la resistencia a temperaturas bajas o moderadas, resistencia a la formación de surcos y evitar el envejecimiento a corto plazo del asfalto. Con metodología experimental, utiliza el asfalto de grado de penetración 60/70, caucho crepé, aditivo antioxidante TMQ, agregado procesado de la zona de Riau Indonesia; para analizar el efecto de agregar caucho crepé y antioxidante TMQ en las características del asfalto modificado. Con resultados donde el Caucho crepé mejora la capacidad de carga y la estabilidad térmica, menor penetración y punto blando, con alta estabilidad Marshall que el asfalto sin adición. Asimismo, con un porcentaje de adición 10% de caucho crepé y 2% del antioxidante TMQ, mostró una mejora en cuanto a las características del asfalto con una estabilidad Marshall 1403.96 kg. Afirmando que la mayor estabilidad del asfalto, proporciona una mejor durabilidad, aumentando la resistencia

de la mezcla asfáltica a la formación de surcos, reduciendo las posibles deformaciones que pueda sufrir el asfalto a altas temperaturas, reduciendo la resistencia a la fatiga y previniendo el envejecimiento a corto plazo del asfalto.

En el artículo científico titulado “Upcycle orujo de oliva como antioxidante y agente de reciclaje en materiales de pavimentación asfáltica” del departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos e Ingeniería Civil de la Universidad de California (19). Se planteó como objetivo explorar el procesamiento mecánico del orujo de oliva y el orujo de aceituna procesados (POP) directamente como un antioxidante sostenible en los materiales de pavimentación con asfalto. Con metodología experimental, el autor comienza con el secado y molido de orujo de aceituna cruda, como aditivo se añadió al asfalto en 5%, 15% y 25%, para después iniciar con los ensayos de caracterización y diseño del asfalto. Obtuvo los resultados, donde la dosis óptima de uso de orujo de oliva es el 15%, ya que obtuvo una mejor resistencia al agrietamiento y desempeño antioxidante, a la resistencia de la mezcla asfáltica a la formación de surcos y temperaturas de producción.

En la tesis de postgrado, titulada “Efecto de los agregados en el envejecimiento de la mezcla asfáltica” de la Pontificia Universidad Javeriana- Colombia (20). Se planteó como objetivo analizar la influencia de la adición en el proceso de envejecimiento de la mezcla asfáltica utilizando el Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL). Con metodología experimental, se examinó el proceso de envejecimiento de una mezcla asfáltica estándar que presentaba idéntico tipo y cantidad de ligante, así como una granulometría establecida. Se realizaron comparaciones entre cuatro tipos distintos de agregados provenientes del suroccidente de Colombia. Donde la simulación de envejecimiento a corto plazo, que ocurre durante la producción y colocación de la mezcla (en condiciones de altas temperaturas), resulta en pérdidas mayores en comparación con el envejecimiento a largo plazo a temperatura ambiente. A partir de las características geológicas de los agregados, se puede deducir que la influencia volcánica afecta el comportamiento frente al envejecimiento.

En la tesis de doctorado titulada “Control del envejecimiento del asfalto a través de la adición de polvo deshidratado de orujo, bioproducto de la industria enológica” de la Pontificia Universidad Católica de Chile (21). Se planteó como

objetivo aumentar la durabilidad de los pavimentos asfálticos, con la adición de polvo de orujo deshidratado, para evitar el envejecimiento que experimenta al ligante asfáltico. Con metodología experimental se investigan los impactos derivados de la incorporación del antioxidante al ligante asfáltico en porcentajes del 5%, 10% y 20%. Se someten las muestras a procesos de envejecimiento tanto a corto plazo como a largo plazo, según las normativas establecidas por SUPERPAVE (RTFOT y PAV), con el fin de evaluar su efectividad. Obteniendo resultados óptimos con el porcentaje de adición del 10% de uso de polvo deshidratado de orujo como antioxidante reduciendo la oxidación del asfalto estudiado. Además, el orujo de uva mantiene la capacidad antioxidante del asfalto en altos niveles, siendo estable en condiciones normales de almacenamiento durante 27 días, periodo por el cual ha sido evaluado en la investigación.

### **Antecedentes nacionales**

En la tesis titulada “Evaluación de desempeño de mezclas asfálticas en caliente diseñadas por la metodología Marshall con el ensayo de la metodología Marshall con el ensayo de la rueda cargada de Hamburgo para el proyecto de rehabilitación de la Carretera Dv Imperial-Pampas” tesis de pregrado de la Universidad Ricardo Palma (22). Se planteó como **objetivo** examinar la calidad de la capa asfáltica a través del análisis de la rueda cargada de Hamburgo y emplear el Método Marshall para la restauración de la carretera en Imperial Pampas. Con **metodología** de investigación de tipo cualitativo-cuantitativo, la cual consistió en corroborar cómo el análisis de la rueda cargada de Hamburgo posibilita la evaluación de si la capa asfáltica empleada en la renovación de la carretera Imperial Pampas satisface los estándares de calidad según la metodología de Marshall. Llegando a la **conclusión** que el procedimiento Marshall demostró un rendimiento positivo en situaciones adversas, ya que logró superar el nivel de aprobación establecido.

En la tesis titulada “Desempeño mecánico de la mezcla asfáltica en caliente incorporando cenizas volantes provenientes de la termoeléctrica de Ilo”, tesis de grado de la Universidad Ricardo Palma (23). Se planteó como **objetivo** “Determinar el porcentaje de adición de cenizas volantes provenientes de la termoeléctrica Ilo, que incrementa el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en Caliente”. La **metodología** utilizada fue deductiva, con orientación aplicada y un enfoque cuantitativo conforme a la teoría existente, se examinaron las cenizas volantes cuya composición química (Dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>) + Óxido de aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) +

Óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) genera una elevada actividad puzolana. Este enfoque busca abordar el problema del rendimiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente. Por lo cual incorpora a la mezcla asfáltica distintos porcentajes de cenizas volantes a la llenante mineral (0.25%, 0.35%, 0.50%, 0.75%, 0.85% y 1.0%), con el propósito de obtener propiedades que estabilicen y aumenten la resistencia de la mezcla asfáltica (asfalto y agregado). En primer lugar, se realiza la caracterización de los agregados con el tipo MAC-2 del MTC y del asfalto PEN 85/100. Posteriormente, para establecer correlaciones entre las variables, se integran las cenizas volantes a la llenante mineral. Obteniendo como **resultados** que el 6% es el óptimo contenido de asfalto, determinado mediante el ensayo Marshall y con este valor se fabricaron en total 96 briquetas. Se observan tendencias ascendentes en los datos obtenidos de estabilidad y flujo, para las incorporaciones de 0.75% y 0.85% de cenizas volantes, alcanzando aproximadamente 3853 kg/cm, mientras que con un 1.0% llega a 3892 kg/cm. Para la incorporación del 0.75% de cenizas volantes, el ensayo de TSR muestra un incremento al 86.5% en comparación con el 80.6% inicial. Finalmente, el ensayo de la Rueda de Hamburgo experimenta una reducción del 73.92% respecto a la profundidad de ahuellamiento especificada. En conclusión, recomienda la utilización de cenizas volantes con incorporaciones por debajo del 0.75% para garantizar un aumento en el rendimiento mecánico frente al daño por deformación permanente.

En la Tesis titulada “Determinación de la actividad antioxidante de la guinda (Prunus Capulí)” tesis de grado de la Universidad Nacional del Centro del Perú (24). Se planteó como objetivo analizar las propiedades físico-químicas y la composición química de la variedad de guinda (Prunus Capulí), además de evaluar la capacidad antioxidante y el contenido total de polifenoles en el extracto de guinda. Con metodología experimental, realiza primero la recolección de la guinda, la cual pasa por un proceso de lavado y secado en horno, para realizar la molienda y el envasado, evaluando en cada proceso sus propiedades físico-químicas, su capacidad antioxidante y la extracción de polifenoles. Concluye que la guinda contiene una “acidez titulable (ácido málico) de 0,4158; Índice de madurez de 62,53; PH a 20 °C de 5,02; °Brix a 20 °C 26. Con composición químico proximal de la guinda en base húmeda es: humedad 73,62%; proteína 2,48%; fibra 5,58%; grasa 2,31%; ceniza 1,77%, carbohidratos 14,24%”.

En la Tesis titulada “Determinación de fenoles totales y capacidad antioxidante en el fruto de guinda (*Prunus Serotina Spp*) de la Provincia de Acobamba - Huancavelica” tesis de grado de la Universidad Nacional del Huancavelica (25). Se planteó como objetivo evaluar las propiedades fisicoquímicas del fruto de la guinda (*prunus serótina spp*), así como la determinación de la capacidad antioxidante del fruto de la guinda. Con metodología hipotético - deductivo con diseño de investigación descriptivo, ya que del análisis realizado a la guinda describe los resultaos que se obtuvieron. Concluye que la capacidad antioxidante de la guinda es de 450,07 mg/100 g y con polifenoles totales de 165,20 (g AGE/100g de muestra).

## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 Guinda (*Prunus Capulí*)

La guinda (*Prunus Capulí*) tiene su origen en América latina, en países como México, Ecuador, Perú y Colombia (26). Se encuentra a partir de 1 550 m.s.n.m. hasta los 3 700 m.s.n.m., como un árbol que llega a medir hasta los 20 metros, con corteza lisa y grisácea (27).

#### Producción de la Guinda

La guinda en el Perú, se encuentra principalmente en las regiones de Junín, Huancavelica y Ayacucho.

Tabla 2: *La Producción de la Guinda en el Perú (toneladas)*

Región	AÑOS				
	2016	2017	2018	2019	2020
<b>Ayacucho</b>	740	804	839	1,038	904
<b>Huancavelica</b>	32	32	34	37	22
<b>Junín</b>	454	465	487	490	511

Fuente: Ministerio de Agricultura – Oficina de información Agraria 2020

## Composición Química

Tabla 3: *La composición química obtenida en 100 gramos de guinda comestible*

<b>Componentes</b>	<b>Cantidad%</b>
Humedad	72,8
Cenizas	1,929
Proteína	2,065
Grasa	2,821
Fibra	7,531
Carbohidratos	12,834

Fuente: **Romero (1976)**

Tabla 4: *La composición química de la fruta nativa*

Expresado en mg por 100 g de muestra, la proteína expresada en porcentaje.

<b>Nombre Vulgar</b>	<b>Nombre Científico</b>	<b>Proteína</b>	<b>Cal mg</b>	<b>Vit. C</b>
Capulí	Prunus Capulí	1,30	22,00	20,80

Fuente: **Franco Pebe (1997)**

## Antioxidantes

Los antioxidantes son moléculas que inhiben o retrasan la oxidación (28), neutralizando a los radicales libres reduciendo el estrés oxidativo (14).

## Propiedades antioxidantes de la guinda

La guinda es una fruta rica en compuestos bioactivos, incluyendo antioxidantes. Está compuesta principalmente por agua, carbohidratos, fibra dietética, vitaminas (principalmente vitamina C) y minerales (como potasio, calcio y magnesio) (29). La guinda contiene antocianinas y ácidos fenólicos que contribuyen a contrarrestar los radicales libres y resguardar las células frente a posibles perjuicios ocasionados por la oxidación. (30).

## Actividad Antioxidante

Según **Pineda Alonso (1999)**, la capacidad antioxidante de las frutas varía, ya que va a depender de la naturaleza y concentración de los antioxidantes, debido a la cantidad de vitamina C, vitamina A o carotenos que puede presentar la fruta.

Asimismo, según un estudio realizado por **Zhang** demuestra que, en las diferentes etapas de la cereza, siempre se encontrarán compuestos antioxidantes, se realiza una comparación con la cereza ya que pertenece a la misma familia que la guinda, “Rosáceas” (31).

Según los resultados de la investigación de **Villaroel**, la cantidad de antioxidantes depende de varios factores entre ellos de la cantidad de polifenoles, este se encuentra en mayor porcentaje en las cáscaras, por lo que obtuvo una mayor cantidad de antioxidantes en las muestras que aun seguían con cáscara (24). Por lo que en esta investigación se utilizan las guindas con cáscara y pepa.

## **2.2.2 Envejecimiento del asfalto a corto plazo**

### **Origen del asfalto**

El asfalto, un aglutinante bituminoso proveniente del petróleo, compuesto por una mezcla de hidrocarburos alifáticos y aromáticos de gran peso molecular, compuestos orgánicos y ciertos metales, los cuales se obtienen en el proceso de destilación del petróleo (32). Muestra una tendencia a comportarse de manera viscosa o viscoelástica según la temperatura a la que se expone; a temperaturas bajas, exhibe un comportamiento similar al de un material sólido (elástico) y en temperaturas altas, tiene un comportamiento fluido (viscoso) (33). Fundamentalmente, el asfalto se deriva de la destilación del petróleo crudo (34), este proceso de destilación, Figura 4, se visualiza como los constituyentes livianos del petróleo crudo se separan, mediante el proceso de destilación a una temperatura de 350 °C en condiciones atmosféricas. El sobrante obtenido de la destilación atmosférica se somete a un proceso adicional de refinación a a una temperatura que esta entre 350°C y 425°C, con condiciones de vacío con presiones que varían entre 1 y 10 kPa. Finalmente el producto resultante es el asfalto, que se caracteriza como el residuo de vacío del aceite crudo y corresponde a un punto de corte atmosférico equivalente de 500 °C (10).

Las características del producto final se ven influenciadas por la procedencia del petróleo crudo y las condiciones específicas de operación. En términos generales, las refinерías producen únicamente dos categorías de asfalto, una de menor consistencia y otra de mayor rigidez, mientras que los grados intermedios se logran mediante la combinación de estos.

En la actualidad, existen diversas variantes de asfaltos disponibles, los cuales se clasifican en función del petróleo de origen y se categorizan en base a la predominancia de moléculas de hidrocarburos similares. Estas categorías incluyen los asfaltos de base nafténica, que generan un residuo oscuro y pesado, destacando la presencia de hidrocarburos de la serie nafténica (fórmula general  $C_n H_{2n}$ ). Su estructura se compone principalmente de ciclos alifáticos, que consta de seis y cinco anillos de carbono, los cuales presentan uniones de alifáticos. También, se encuentran los crudos de tipo parafínico, que producen hidrocarburos sólidos de la serie parafínica (con la fórmula general  $C_n H_{2n+2}$ ) y poseen una cantidad reducida de asfalto. Asimismo, en los crudos de tipo aromático predominan los hidrocarburos aromáticos. Por otro lado, hay crudos que exhiben una combinación de características, lo que resulta en una composición variable en cuanto a la proporción de cada uno de los componentes mencionados.

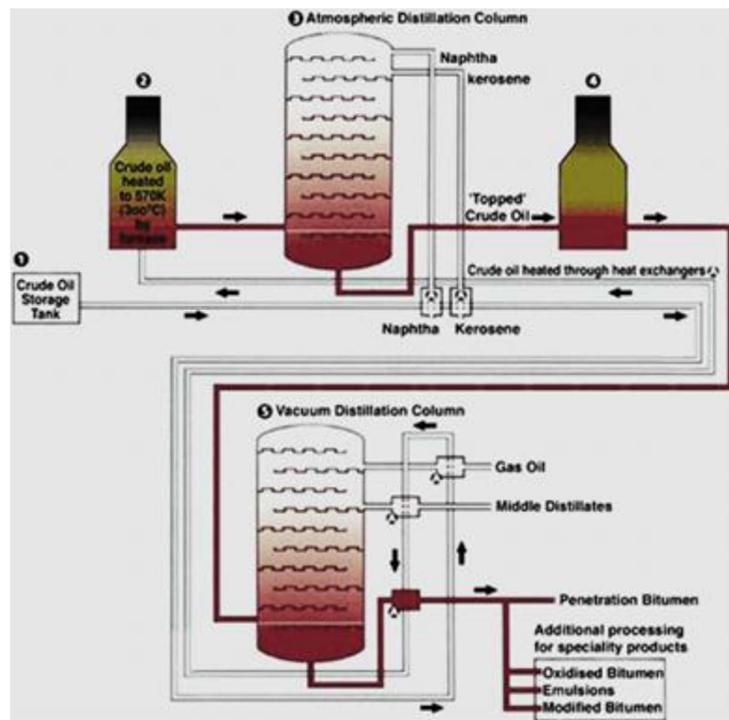


Figura 4: Destilación del Asfalto

Fuente: (Lesueur, 2009)

La característica más importante del asfalto es su fuerte capacidad de adhesión, que permite la aglomeración de agregados dando cohesión duradera e impermeable, utilizándose como cementante para las mezclas asfálticas usadas en los pavimentos, convirtiéndose en un material adecuado en pavimentación a pesar de que se utiliza en otras ramas de la ingeniería, su principal e importante uso se da en la ingeniería de

pavimentos. La mezcla de asfalto y agregados crea una estructura resistente que puede soportar tanto las fuerzas de carga como las condiciones climáticas. Es esencial que los agregados estén compactados adecuadamente con la cantidad justa de asfalto. Asimismo, el asfalto y el agregado fino, forma un sistema que demuestra cohesión al someterse a tensiones de tracción, flexión o tangenciales (33).

La resistencia a la cohesión debida a la fricción interna provocada por los agregados gruesos durante la compresión o el corte depende de la composición del asfalto, la temperatura y la duración de la carga aplicada (33).

### **Compuestos del Asfalto**

En términos generales, se concibe al asfalto como una combinación que incluye asfáltenos y resinas de elevado peso molecular, los cuales están distribuidos en un medio aceitoso conocido como máltenos, que a su vez se divide en componentes saturados y aromáticos (10). **Nellensteyn (1923)**, presentó una explicación acerca de la estructura coloidal del asfalto, describiéndola como un “sistema micelar coloidal o una dispersión de partículas de asfáltenos en máltenos”. De acuerdo con **R. Herrera-Nájera, G. García, H. Xicoténcatl y L. Medina**, los asfáltenos son compuestos con estructuras aromáticas de elevada masa molecular que no se disuelven en disolventes orgánicos. Estas moléculas tienen carbono, hidrógeno, oxígeno y azufre, presentando una tolerancia típica a la oxidación formando complejas interacciones con metales pesados. Los asfáltenos son importantes, ya que este tiene una gran influencia en sus características físicas y mecánicas. En cantidades apropiadas, los asfáltenos otorgan durabilidad al asfalto, pero en cantidades elevadas, incrementan su viscosidad y lo vuelven quebradizo. Los asfáltenos presentan semejanzas notables con las resinas o compuestos polares de la fase malténica, siendo su principal diferencia el peso molecular (35).

Cada componente del asfalto cumple una función química y física en la composición del asfalto, y a continuación, se proporciona una descripción general de la conducta de cada uno de ellos.

En lo que respecta a los elementos saturados, estos pertenecen al grupo funcional menos polar, lo que impide su absorción por parte de la alúmina. Como consecuencia, son los primeros en ser desplazados durante el proceso de cromatografía. Este conjunto engloba hidrocarburos saturados con estructuras tanto lineales como ramificadas, con una pequeña proporción de hidrocarburos saturados de tipo cíclico. En términos generales, su presencia representa aproximadamente entre un 5% y un 15% del peso total.

Estos compuestos resultan en un líquido que, a temperatura ambiente, se presenta como incoloro o ligeramente teñido. La relación entre hidrógeno y carbono en estos elementos tiende a aproximarse a 2, y contienen estructuras cristalinas lineales que constituyen entre 0% y 15% del peso total de la fracción. El peso molecular promedio de estos compuestos oscila alrededor de los 600 g/mol y, en su mayoría, poseen una naturaleza alifática (10). Estos elementos ejercen una función importante en la protección del asfalto contra la oxidación, cumpliendo funciones como plastificantes o agentes que mejoran la fluidez del asfalto, además de conferir propiedades impermeabilizantes. Al mismo tiempo, reduce los valores del punto de ablandamiento, y la viscosidad y la sensibilidad al calor, al mismo tiempo aumenta su capacidad de penetración y el índice de penetración. Asimismo, su acción de gelificación o floculación da lugar a la formación de un compuesto fluido complejo en el asfalto, lo que se traduce en un aumento de la viscosidad.

En lo que respecta a los elementos aromáticos, se caracterizan por la presencia de hidrocarburos aromáticos, que incluyen naftenos, hidrocarburos cíclicos no bencénicos y algunas cadenas alifáticas en forma de ramificaciones. Durante los ensayos, este tipo de material es adsorbido por la alúmina CG-20 calcinada en presencia de heptano y liberada mediante el tolueno. A menudo se les denomina también naftenoaromáticos y constituyen uno de los componentes más prevalentes del asfalto, junto con las resinas, representando aproximadamente entre un 30% y un 45% del peso total. Se presenta en forma de líquido que va del amarillo al rojo a temperatura ambiente, y exhibe una viscosidad ligeramente superior a la de los ácidos grasos saturados a igual temperatura. La configuración de carbono de estos compuestos es levemente alifática, con anillos aromáticos densamente unidos de manera moderada y un peso molecular medio en el intervalo de aproximadamente 800 g/mol (10). Las bases nitrogenadas tienen la tendencia a experimentar procesos de volatilización y deshidrogenación debido al envejecimiento o la oxidación. Este fenómeno resulta en un aumento en la proporción de asfáltenos, con el consiguiente impacto de disminuir la durabilidad y flexibilidad, mientras que aumenta la rigidez del asfalto como consecuencia.

En cuanto a las resinas, estas se conforman como una sustancia que se libera de la alúmina calcinada después de haber eliminado los componentes saturados y aromáticos mediante el uso de tolueno y tricloroetileno. Contienen núcleos aromáticos densamente compactos y grupos funcionales que incorporan heteroátomos como nitrógeno, azufre y oxígeno, entre otros. Asimismo, engloban ácidos orgánicos derivados

de fenol, cresol, xileno, entre otros, que forman parte de los ácidos cresílicos. Estos ácidos, al combinarse, le confieren a la fracción un carácter resinoso. Su función principal reside en la capacidad de aglutinación y adhesión. Las resinas comparten similitudes con los asfáltenos en términos de aromaticidad, aunque su nivel de aromaticidad y densidad es menor en comparación con estos últimos. También se les conoce como aromáticos polares y pueden constituir una proporción significativa, que oscila entre el 30% y el 45% en peso. Mientras que los componentes saturados y aromáticos se presentan en estado líquido a temperatura ambiente, las resinas tienen una apariencia sólida en ese mismo rango de temperatura; desempeñan una función esencial en la estabilidad del asfalto, ya que cumplen el rol estabilizar a los asfáltenos (10).

Los asfáltenos son la porción de un asfalto que no se disuelve en n-heptano (según ASTM D3279), pero que sí es miscible en tolueno. Estos asfáltenos adquieren una forma de polvo de color negro a temperatura ambiente y desempeñan un papel fundamental en la contribución al tono oscuro característico del asfalto. En contraste con otras moléculas presentes en el asfalto, los asfáltenos exhiben una mayor cantidad de anillos aromáticos condensados y una mayor presencia de grupos polares. Sin embargo, lo que parece definir y distinguir fundamentalmente a los asfáltenos de las demás moléculas del asfalto es la abundante presencia de estructuras aromáticas fusionadas en su composición (10).

### **Composición química del asfalto y la oxidación**

El asfalto contiene diversos elementos químicos, por lo que su composición química resulta bastante compleja (10). La composición elemental de los asfaltos se encuentra mayormente influenciada por la procedencia del petróleo crudo. Asfaltos provenientes de diversas fuentes pueden variar en su composición. Estudios llevados a cabo en los Estados Unidos a fines de la década de 1980, diferentes estudios demostraron que los asfaltos con propiedades parecidas, al ser caracterizados al cien por ciento pueden mostrar diferencias significativas en su composición química (2).

El asfalto se compone en gran medida de carbono, que generalmente representa entre el 80% y el 88% de su peso total, y de hidrógeno, que constituye aproximadamente entre el 8% y el 12% del peso. El contenido de hidrocarburos que supera el 90% en peso en general, con una relación molar entre hidrógeno y carbono (H/C) que se encuentra cerca de 1.5. Esta relación H/C se encuentra en un punto intermedio entre las estructuras aromáticas, como el benceno que tiene una relación H/C de 1, y la de alcanos saturados con una relación H/C cercana a 2. Además, otros elementos como el azufre pueden estar

presentes en cantidades que varían entre 0% y 9% del peso, el nitrógeno en un rango de 0% a 2%, y el oxígeno entre 0% y 2%. En proporciones menores, se encuentran trazas de metales como el vanadio, que puede alcanzar hasta 2000 partes por millón (ppm), y el níquel, que puede estar presente en hasta 200 ppm. El oxígeno tiende a aparecer en compuestos que son principalmente cetonas y fenoles, aunque en menor proporción se encuentra en ácidos carboxílicos. El nitrógeno se encuentra en cantidades considerables en configuraciones pirrónicas y piridínicas, y también puede crear compuestos anfóteros, como las 2-quinolonas. Todos estos elementos poseen la capacidad de generar compuestos complejos, como las metaloporfirinas (36).

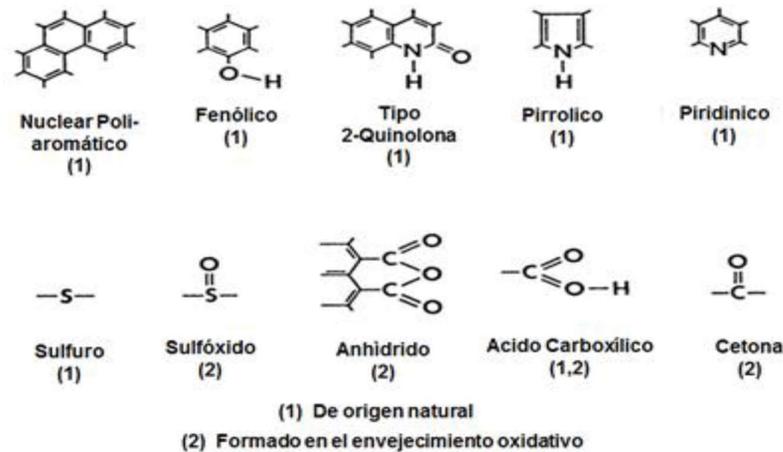


Figura 5: Grupos funcionales existentes en el asfalto

Fuente: **Petersen (1984)**

Considerando la presencia de átomos polares, la cantidad de grupos funcionales ocasionalmente no supera unas pocas décimas de molaridad por litro en los asfaltos originales. No obstante, esta concentración puede aumentar con el paso del tiempo, debido al envejecimiento. La oxidación es uno de los factores principales que contribuyen al deterioro de los asfaltos, ya que cuando entran en contacto con el oxígeno, su composición química se modifica, dando lugar a la creación de grupos funcionales ricos en oxígeno que tienen una interacción fuerte y notable entre ellos, lo que conduce a la rigidez del asfalto (37). Investigaciones anteriores han indicado que los grupos funcionales primarios se forman como resultado de la firmeza del asfalto que aumenta debido a la presencia de grupo carbonilo, sulfóxidos y sulfonas resultantes de su oxidación. Las alteraciones en la viscosidad se emplean como un indicador del avance en el proceso de envejecimiento, se ha comprobado que la oxidación de sulfuros

orgánicos conduce a la formación de sulfóxidos alifáticos, mientras que la oxidación de grupos carbono bencílicos da lugar a grupos carbonilo. Estas reacciones químicas fundamentales son las responsables de incrementar la viscosidad del asfalto (38).

En cambio, cuando se produce la oxidación de los asfáltenos se presenta el aumento en la concentración de asfáltenos, la cual se vuelve progresivamente más polar y reduce la solubilidad en solventes orgánicos. El incremento del grupo carbonilo se origina por la formación de grupos funcionales C=O. En investigaciones asociadas a la velocidad de oxidación en los asfaltos, se ha utilizado la concentración de grupo carbonilo como un marcador del nivel de oxidación (10).

Por otro lado, durante el proceso de envejecimiento oxidativo, se forman cetonas y anhídridos, en contraste, los ácidos carboxílicos se encuentran desde el inicio de la formación de los asfaltos, consecuentemente su concentración aumenta con el envejecimiento oxidativo. Los ácidos carboxílicos, cetonas y anhídridos; grupos funcionales son reconocidos como los grupos químicos más relevantes, ya que son componentes esenciales de las moléculas de gran tamaño presentes en los asfaltos y suelen estar vinculados con el proceso de envejecimiento causado por la oxidación (9).

La oxidación del asfalto ejerce una influencia significativa en sus características químicas y, como resultado, en las propiedades reológicas que afectan negativamente su desempeño. Durante el proceso de envejecimiento, se observa una alteración en el aumento de la viscosidad como resultado de la transformación oxidativa de compuestos aromáticos polares hacia la formación de asfáltenos.

### **2.2.3 Definición y composición del cemento asfáltico PEN 85-100**

El cemento asfáltico de penetración 85-100, es un asfalto modificado clasificado según el penetrograma (Penetration Grade System), indica que el asfalto tiene una penetración (medida de su consistencia) entre 85 y 100 ductimilímetros (0,1 mm) ensayado a una temperatura de 25° Celsius. Siendo una compleja combinación de hidrocarburos provenientes del petróleo, con alto peso molecular y baja volatilidad. Composición aproximada: Hidrocarburos saturados, 18-25%; asfáltenos, 10-15%; resinas y compuestos aromáticos, 60-72% (39). Este cemento asfalto es muy utilizado en la rama de infraestructura vial en el país debido a sus propiedades mecánicas, capacidad de resistir cargas y soportar diferentes condiciones climáticas adversas. Pero

no está libre de sufrir envejecimiento a corto plazo, a causa del proceso de oxidación que afecta su durabilidad.

#### **2.2.4 Propiedades físicas del cemento asfáltico**

- Penetración: Es la medida del asfalto para resistir la deformación bajo cargas. Se realiza mediante el ensayo de penetración (40).
- Viscosidad: mide la resistencia interna del cemento asfáltico al flujo. Por lo cual se expresa en términos de unidades como el poise o el pascal-segundo (40). La relación de viscosidad puede reflejar el efecto del envejecimiento impuesto por la alta temperatura en los cambios de proporción de los ingredientes elástico-viscosos en el asfalto. Una relación de viscosidad más baja representa cambios más pequeños de proporción o una mayor resistencia al envejecimiento del asfalto (41).

Propiedades relacionadas a la durabilidad del pavimento:

- Resistencia a la deformación permanente: Es a fin de evitar deformaciones plásticas ocasionadas por la carga que ocasionan los vehículos.
- Resistencia al agrietamiento por fatiga: Resistencia a los diferentes ciclos de carga y descarga de vehículos, sin desarrollar fisuras por fatiga. Lo cual garantizaría más años de vida al asfalto (42).
- Resistencia al envejecimiento: Resistencia a los cambios ambientales como la radiación ultravioleta, el oxígeno y el agua. Causa una modificación en las características mecánicas, provocando que el asfalto se rigidice, lo que reduce la durabilidad del pavimento (42).

#### **2.2.5 Factores que afectan el envejecimiento del cemento Asfáltico**

- Oxidación: La oxidación del asfalto ocurre al entrar en contacto con el oxígeno ambiental, estas pueden ser en diferentes etapas: producción, construcción y mantenimiento durante su vida útil. Pero si lo relacionamos en el envejecimiento a corto plazo está relacionado con la etapa de producción y construcción (43). Durante la fase de producción, se da el proceso de coquización, que ocurre cuando quedan residuos de asfalto en las serpentinas de los tanques utilizados para calentar el asfalto. Estos residuos entran en contacto con el oxígeno, las partículas de coque resultantes de este proceso se incorporan al asfalto líquido, lo que conlleva una

serie de problemas que causan una alteración en las propiedades químicas del material.

En las instalaciones de dosificación, el proceso de oxidación se intensifica, en comparación con los tanques, debido a que la cantidad de asfalto expuesto al oxígeno es considerablemente mayor, con un factor de más de mil veces. Durante la etapa de mezcla, se observa una disminución en la penetración, pasando de un grado de desempeño 86 a 65 (1/10 mm). Después de este proceso, al enfriarse el asfalto, la oxidación se detiene, lo que resulta en una disminución adicional de aproximadamente diez puntos en el grado de penetración. A medida que la mezcla se coloca en su lugar, la penetración continúa reduciéndose, lo que implica la influencia de varios factores en esta reducción. Estos factores incluyen la temperatura en cada fase de producción, el tipo de asfalto, la cantidad de asfalto en la mezcla y los tiempos de cada etapa.

En la etapa de construcción la oxidación del asfalto ocurre cuando el asfalto permanece en la tolva demasiado tiempo, provocando cambios en sus propiedades.

- Volatilización: Está relacionada al envejecimiento del asfalto, puesto que durante la vida útil del pavimento pierde ligantes volátiles, los cuales generan cambios en las propiedades del asfalto (44).
- Degradación molecular: Debido a la radiación UV, oxígeno y calor; el asfalto sufre una degradación molecular. Provocando que las cadenas de polímeros se rompan disminuyendo las propiedades mecánicas, por consiguiente, la durabilidad del asfalto (45).

#### **2.2.6 Efectos del envejecimiento del asfalto a corto plazo en las propiedades físicas del cemento Asfáltico**

- La viscosidad del asfalto mide el estado de fluidez del mismo durante el proceso de aplicación. La evaporación de los componentes volátiles y la oxidación del asfalto dan paso al proceso de envejecimiento del mismo durante la producción de la mezcla. Este fenómeno resulta en un aumento en la viscosidad del asfalto, lo que provoca un endurecimiento de la mezcla. Por consiguiente, a medida que aumenta la viscosidad, también aumenta el nivel de envejecimiento del asfalto (46).
- Resistencia a la tracción y elasticidad: El envejecimiento del cemento asfáltico puede disminuir la resistencia a la tracción y la elasticidad. En el proceso de oxidación y la pérdida de componentes volátiles, genera la formación de

compuestos rígidos y la disminución de la capacidad de recuperación elástica del asfalto (47).

- Adhesividad y Cohesividad: cuando se produce envejecimiento a corto plazo del cemento asfáltico, el asfalto pierde sus propiedades de adhesión y cohesión. Consecuentemente resulta una menor unión entre el asfalto y los agregados, y una mayor susceptibilidad a la delaminación y desprendimiento (48).
- La sensibilidad térmica se refiere a cómo cambia la consistencia del asfalto, evaluada parcialmente mediante la viscosidad, y su respuesta a las fluctuaciones de temperatura. El asfalto al ser un material termoplástico, donde su consistencia es influenciada por la temperatura, la magnitud y la duración de la carga, necesita ser gestionada y aprovechada de manera eficiente. Se necesitan al menos dos mediciones de viscosidad para evaluar adecuadamente la susceptibilidad térmica de un asfalto, mediante el gráfico “tradicional” viscosidad vs temperatura recomendado por el Asphalt Institute. Cuando el cemento asfáltico tiene un alto grado de susceptibilidad térmica, puede generar inconvenientes no deseados. A altas temperaturas, su viscosidad disminuye significativamente, lo cual puede ocasionar dificultades en las etapas de mezcla y compactación. En contraste, a temperaturas bajas durante su uso, la viscosidad puede aumentar considerablemente, lo que podría resultar en problemas de agrietamiento debido a las contracciones térmicas. Cuando un cemento asfáltico es extremadamente líquido a altas temperaturas de operación, existe la posibilidad de que se produzcan depresiones en la superficie. En cambio, si el cemento asfáltico es excesivamente viscoso a bajas temperaturas de servicio, puede favorecer la formación de grietas. Estos problemas están relacionados con posibles cambios en el sistema coloidal que pueden haber ocurrido durante la preparación de la mezcla en la planta. En caso del uso de aditivos que reduzcan el envejecimiento del asfalto a corto plazo, la mezcla asfáltica es más estable ante el cambio de temperatura, demostrando un mejor comportamiento, el cual se ve reflejado en la pendiente del gráfico viscosidad vs temperatura. A medida que el asfalto envejece, puede volverse más susceptible a los efectos negativos de las altas temperaturas, lo que puede dar lugar a una reducción de la capacidad del asfalto para resistir deformaciones y agrietamientos (49).

### **2.2.7 Efectos del envejecimiento del asfalto a corto plazo en las propiedades Mecánicas del cemento Asfáltico**

La estabilidad Marshall es la resistencia del asfalto a la deformación permanente bajo cargas aplicadas, mientras que la fluencia Marshall se refiere a la deformación plástica que ocurre en el asfalto cuando se somete a cargas constantes (50).

El envejecimiento del asfalto puede provocar una disminución en la estabilidad Marshall, lo que significa que el asfalto puede volverse más propenso a la deformación permanente bajo cargas de tráfico. Esto se debe a cambios en la estructura molecular y composición del asfalto, que pueden afectar su capacidad para resistir esfuerzos mecánicos. En cuanto a la fluencia Marshall, el envejecimiento del asfalto a corto plazo puede resultar en un aumento de la deformación plástica del asfalto bajo cargas constantes. Esto se debe nuevamente a las modificaciones en la estructura molecular del asfalto, que pueden hacer que sea más susceptible a la deformación gradual con el tiempo (51).

### **2.2.8 Ensayos a realizarse**

#### **Viscosidad – “ASTM D4402: Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer”**

Se realizó el ensayo de Viscosidad Brookfield, que determina la viscosidad del asfalto a las diferentes temperaturas de aplicación, para saber hasta dónde llega la resistencia del asfalto. Así también se obtiene la viscosidad absoluta, la curva reológica (viscosidad vs temperatura), temperatura de mezclado y compactación.

#### **Penetración - “MTC E 304 Penetración de los Materiales Bituminosos”**

El ensayo de penetración evalúa la cohesión del asfalto en su estado sólido. Para medir esta propiedad, se utiliza un penetrómetro equipado con una aguja estandarizada que se introduce en la muestra de asfalto. La medida de penetración se define como la profundidad, expresada en décimas de milímetro, a la cual una aguja puede hundirse verticalmente en la muestra, manteniendo constantes la temperatura, la carga y el tiempo (52).

## Índice de Penetración

El índice de penetración, cuando se aplica al asfalto sumergido en agua, ofrece una medida que permite evaluar tanto la susceptibilidad térmica como la respuesta viscoelástica del asfalto. Las alteraciones en el índice de penetración indican la creación de una estructura interna en el asfalto que le permite adaptarse a las variaciones de temperatura, ya sea aumentando o disminuyendo. Este intervalo particular está definido en la Figura 6 y corresponde a la relación entre el punto de ablandamiento y la penetración del asfalto. Aquí, 't' representa el punto de ablandamiento en los puntos A y B en grados Celsius, mientras que 'P' indica la penetración de la temperatura de ensayo.

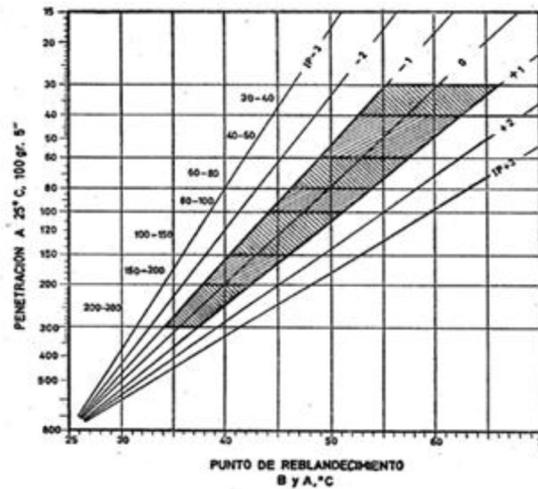


Figura 6: Diagrama de índice de penetración

Fuente: INVIAS

## Interpretación de resultados

En función del índice de penetración, IP, los cementos asfálticos se pueden clasificar en tres grupos:

I:  $IP > +1$ : Son cementos asfálticos que exhiben baja susceptibilidad a la temperatura, mostrando cierta elasticidad y tixotropía. Son comúnmente conocidos como tipo gel o soplado, dado que la mayoría de los asfaltos oxidados se clasifican en esta categoría.

II:  $IP < -1$ : Cementos asfálticos que muestran una mayor sensibilidad a la temperatura, caracterizados por su contenido elevado de resinas y un comportamiento viscoso pronunciado.

III: IP entre +1 y -1: Propiedades que se sitúan en un punto intermedio entre los dos tipos anteriores; esta categoría engloba la mayoría de los cementos asfálticos empleados en la construcción de carreteras (53).

### **Ensayo De Marshall - “MTC E 504 Resistencia de Mezclas Bituminosas Empleando el Aparato Marshall”**

Los valores de estabilidad Marshall y flujo, junto con la densidad y los niveles de vacíos de aire en la mezcla total, así como los vacíos en el agregado mineral o incluso la combinación de ambos, llenos con asfalto, se utilizan en el diseño de mezclas en laboratorio y en la evaluación de mezclas asfálticas. Estos parámetros asimismo pueden emplearse para supervisar los procesos de producción de mezclas bituminosas en la planta. Además, sirven como puntos de referencia para analizar diversas mezclas y los efectos de tratamientos como la exposición al agua (50).

El agregado para la elaboración de las briquetas debe cumplir con los usos granulométricos establecidos en el Manual de Carreteras (54).

Tabla 5: Tabla de los usos granulométricos

<b>TAMIZ</b>	<b>PORCENTAJE QUE PASA</b>		
	<b>MAC-1</b>	<b>MAC-2</b>	<b>MAC-3</b>
<b>25,0 mm (1”)</b>	100		
<b>19,0 mm (3/4”)</b>	80-100	100	
<b>12,5 mm (1/2”)</b>	67-80	80-100	
<b>9,5 mm (3/8”)</b>	60-77	70-88	100
<b>4,75 mm (N°4)</b>	43-54	51-68	65-87
<b>2,00 mm (N°10)</b>	29-45	38-52	43-61
<b>425 µm (N°40)</b>	14-25	17-28	16-29
<b>180 µm (N°80)</b>	8-17	8-17	9-19
<b>75 µm (N°200)</b>	4-8	4-8	5-10

Fuente: MTC 2013

Así mismo, las briquetas a ensayarse con diferente contenido de asfalto deberán cumplir las exigencias establecidas en el Manual de Carreteras del MTC (54), para mezclas bituminosas.

Tabla 6: Requerimientos para la composición de concreto asfáltico

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
<b>Marshall MTC E504</b>			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8.15 kN	5,44 kN	4,53kN
3. Flujo 0.01' (0,25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	<u>Ver tabla 423-10</u>		
<b>Inmersión - Compresión (MTC E 518)</b>	2,1	2,1	1,4
1. Resistencia a la compresión Mpa min.	75	75	75
2. Resistencia retenida % (min.)			
<b>Relación Polvo – Asfalto (2)</b>	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
<b>Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)</b>	1.700-4.000		
<b>Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T283</b>	80 Min		

Fuente: MTC 2013

### Tipos de envejecimiento

Conforme el asfalto envejece, pierde la capacidad de absorber energía por deformaciones y absorber estados tensionales, debido a que este se vuelve más rígido. El envejecimiento se debe a los cambios físicos y químicos que sufre el asfalto en su estructura molecular interna (55). Siguiendo esta dinámica, a continuación, se detallan las diversas formas de envejecimiento observadas en el asfalto.

### **Envejecimiento físico**

Se caracteriza como las transformaciones a nivel molecular que generan la rigidez del asfalto, incrementando su propiedad elástica y reduciendo su viscosidad (55). Estas alteraciones en la estructura molecular del asfalto se originan por diversas razones, y se pueden categorizar como sigue: envejecimiento por calor, que ocasiona que los componentes de asfaltenos y resinas en el asfalto adquieran una composición sólida a temperatura ambiente.

El fenómeno de endurecimiento térmico del asfalto esta relacionado con la temperatura de transición, la cual esta relacionada con la reorganización de sus componentes moleculares, ocasionando una disminución en la movilidad molecular y por ende, en un endurecimiento gradual del material. Por otro lado, el envejecimiento mecánico hace referencia a que las tensiones mecánicas pueden provocar la compresión de las moléculas, disminuyendo la movilidad relativa entre ellas a una escala macroscópica (56).

Reorganización molecular en las proximidades del agregado, se refiere a la capacidad de las moléculas de asfalto para reorganizarse cerca de la superficie del agregado, lo que puede modificar las características del asfalto en esta área específica.

El endurecimiento por la volatilización, según **Blokker y Van Horn** (38), una de las causas niminas del endurecimiento físico es la evaporación de los elementos volátiles, cuya medida es afectada por la composición y cantidad de estos componentes, además de estar influenciada por las condiciones de exposición, en particular la temperatura y el grosor de la capa.

### **Envejecimiento Químico**

El asfalto posee una estructura química compleja, por lo cual existen varias teorías que abordan los elementos que influyen en el proceso de envejecimiento químico. A pesar que no existe un acuerdo generalizado acerca del origen de este proceso de envejecimiento en los ligantes asfálticos, en términos generales, se cree que este fenómeno se desencadena debido a reacciones de oxidación y polimerización (57). Estas reacciones, a su vez, se ven aceleradas por factores como altas temperaturas, la exposición a la radiación solar ultravioleta (UV), la difusión de oxígeno y la volatilización de compuestos de bajo peso molecular (58).

### 2.2.9 Información previa acerca de modelos utilizados en el proceso de envejecimiento del asfalto

Las investigaciones relacionadas con el envejecimiento de los asfaltos, que comenzaron con **A.W. Dow (1903)**, inspector de Asfaltos y Cementos en Washington D.C., en Estados Unidos, inicialmente definieron el envejecimiento como un proceso de endurecimiento del material. Este procedimiento se analizó mediante la observación de modificaciones en pruebas prácticas como la ductilidad, la reducción de la penetración y la pérdida de masa del asfalto (46). Durante la década de 1940, se determinó que el asfalto estaba compuesto por asfáltenos, resinas, nafténicos y parafinas. Esto llevó a la conclusión de que el envejecimiento del asfalto no era únicamente resultado del endurecimiento físico, sino que también estaba relacionado con procesos oxidativos (57) (59). **Otros autores Shattuck, (60) , Lewis y Welborn (61) (1940); Lewis y Halstedm (1946); (62)**. Se introdujo la noción del índice de envejecimiento, el cual se calcula a partir de los niveles de viscosidad capilar estimada antes y después del procedimiento de envejecimiento. Asimismo, se exploró la tarea de establecer una relación entre la composición química de los asfaltos y su viscosidad, y se iniciaron investigaciones para establecer asociaciones entre el envejecimiento de los asfaltos en condiciones reales de uso y en condiciones de laboratorio. Posteriormente, **Vallerga (1957)**; abordó este tema (63), analizó la influencia del oxígeno en el asfalto, teniendo en cuenta las modificaciones en las fracciones genéricas del asfalto, utilizando resultados de espectroscopia de infrarrojo y luz ultravioleta. Se observó que los ensayos de punto de ablandamiento, ductilidad y penetración de los asfaltos después de la oxidación fueron más efectivos en términos de detección de cambios (2). **Bown (1957)**; presentó un modelo empírico de naturaleza hiperbólica, en el que se tomó en cuenta un período de envejecimiento máximo de nueve días. A través de este modelo, se buscó representar experimentalmente el proceso de envejecimiento del asfalto en carreteras.;

$$\Delta\gamma = \frac{t}{ah + bht}$$

Donde:

$\Delta\gamma$  = cambio en las propiedades como un resultado del envejecimiento  
(punto de ablandamiento °C, penetración (1/100 mm), ductilidad cm

t = tiempo de envejecimiento en horas o días

ah, bh = parámetros estimados en laboratorio a partir de datos experimentales

**Taxler (1961)**; llevó a cabo experimentos con películas de asfalto comparando la micro viscosidad del asfalto a 25 °C obtenida mediante ambos métodos (64). Concluyendo que existen 5 factores que afectan el proceso de envejecimiento, a saber:

1. Oxidación.
2. Evaporación de componentes volátiles.
3. El transcurso del tiempo (que lleva al desarrollo de estructura interna debido al envejecimiento).
4. Polimerización (provocada por radicales libres) inducida por radiación actínica.
5. Polimerización por condensación (65).

Asimismo, **Petersen (1984)** (66) definió tres factores que causan el endurecimiento del asfalto:

1. “Pérdida de componentes resinosos por volatilización o adsorción”.
2. "Alteraciones en la composición química inducidas por la interacción con el oxígeno presente en la atmósfera”.
3. “Configuración molecular que da lugar a efectos tixotrópicos (rigidez estérica). Además, se determinó que la cinética de envejecimiento en la capa asfáltica en funcionamiento difiere de la evaluación de envejecimiento en películas delgadas, atribuible a la estructuración molecular y al endurecimiento estérico que disminuye la velocidad de envejecimiento durante los primeros 2 o 3 años de servicio.”

Por otro lado, **Bell Ch. (5)**, llega a la conclusión de que el envejecimiento del asfalto a corto plazo se manifiesta durante la fase de construcción de la capa asfáltica, en la cual, al entrar en contacto con el oxígeno, se produce la eliminación de elementos volátiles del cemento asfáltico caliente. En cambio, el envejecimiento a largo plazo se atribuye a la oxidación que ocurre con el paso de los años. Además, Se nota que el proceso de envejecimiento bajo presión, ya sea en presencia de oxígeno o aire, conlleva a la disminución del módulo resiliente a medida que se incrementa la intensidad del tratamiento.

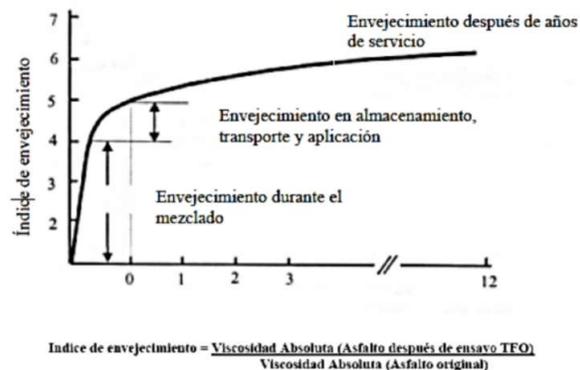
Posteriormente, **Lau C.K., Lunsford K.M., Glover C.J., Davison R.R., Bullin J.A. (1992)** (67), llegaron a la conclusión de que la presencia de asfáltenos en el asfalto contribuye al aumento de su viscosidad a 60°C. Además, se notó que la tasa de generación de grupo carbonilo aumenta en presencia de asfáltenos. Estos hallazgos son significativos, ya que los asfáltenos también desempeñan un papel importante al

afectar la energía requerida para activar la reacción que podría tener el asfalto en el proceso de oxidación mientras se da el envejecimiento del asfalto a corto plazo (68).

Por otro lado, **Domke (2000)** (69), concluyó que el cemento asfáltico experimenta un proceso de oxidación que se divide en dos fases distintas. La primera a corto plazo esta fase ocurre durante la construcción de la mezcla asfáltica, mientras que la segunda tiene lugar a largo plazo durante la vida útil del asfalto, dependiendo del tipo de asfalto y de las condiciones climáticas de la región. La velocidad de reacción oxidativa se ve afectada por el proceso de difusión del oxígeno, primero a través de los malténicos, seguido de los aromáticos polares y, finalmente, a los asfaltenos (65).

**Chávez-Valencia y Hernández-Barriga** llevaron a cabo una investigación que reveló que, las parafinas contenidas en el asfalto experimentan una evaporación, lo que resulta en un aumento en su rigidez durante el proceso de envejecimiento. Este endurecimiento se mide mediante la evaluación de su capacidad de adherencia y cohesión (70).

El índice de envejecimiento se determina tomando en cuenta la relación entre la viscosidad absoluta del asfalto en su estado inicial y la del asfalto que ha sido sometida a un envejecimiento a corto plazo, como se muestra en la figura 7. Se observó que el índice de envejecimiento más alto se registra durante la fase inicial del mezclado, cuando el asfalto entra en contacto por primera vez con el oxígeno, y este índice aumenta a medida que progresa el proceso, incluyendo el almacenamiento, transporte y la colocación (55).



**Figura 7:** Curva de deterioro del asfalto con el tiempo

Fuente: **Arce (2007)**

### 2.2.10 Contexto histórico de investigaciones sobre el proceso de oxidación en el asfalto

Estudios anteriores enfocados en la oxidación y su conexión con la composición del asfalto, determinaron que las modificaciones en la composición química, la naturaleza coloidal de los asfaltos y los niveles de oxidación estaban íntimamente vinculados con las propiedades químicas de los asfaltos y los procesos de producción empleados (71). Se examinaron los fenómenos de oxidación que ocurren en los asfaltos, señalando que los saturados, que son una de las fracciones que componen el asfalto, son particularmente resistentes a la oxidación ambiental debido a su baja reactividad. Por otro lado, destacó que el contenido de asfáltenos juega un papel crucial en la determinación de la viscosidad intrínseca, ya que a medida que se incrementa la cantidad de asfáltenos, la viscosidad del asfalto tiende a aumentar (10). **Lesueur**, llevó a cabo investigaciones que se centraron en las características reológicas de los asfaltos y su vínculo con la oxidación. En sus conclusiones, mencionó que las características físicas y mecánicas de los asfaltos se ven alteradas por la oxidación, y, además, hicieron que el incremento en la consistencia se vincule de manera directa con la duración del proceso de envejecimiento de los asfaltos, exhibiendo una correspondencia lineal con el transcurso del tiempo.

**Qi & Wang** (72), realizaron un estudio focalizado en examinar la estructura química de los asfaltos mientras los exponían a la entrada de oxígeno. Durante esta investigación, sometieron los asfaltos a una oxidación que se prolongó por 125 horas, operando a una temperatura de 50°C bajo una presión de 0,133 MPa. Esta experimentación se efectuó empleando láminas de asfalto de 1 mm de grosor en una cámara especializada para la absorción de oxígeno.

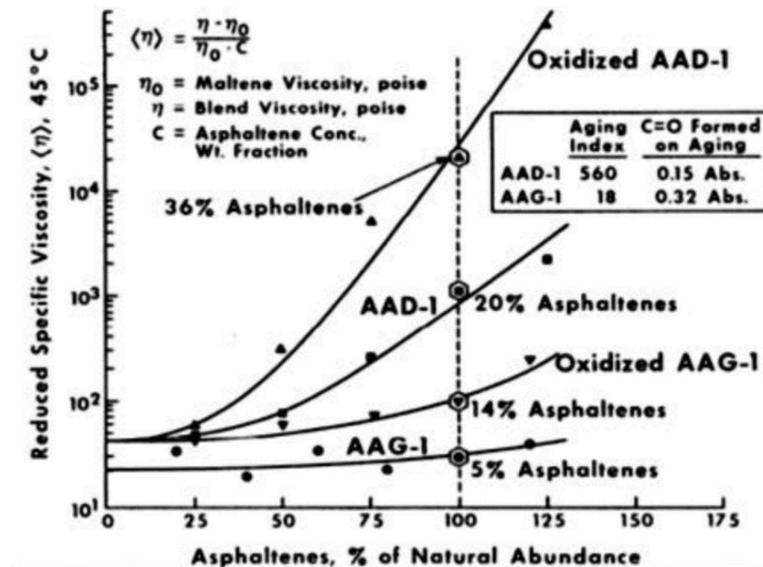


Figura 8: Viscosidad específica de varios asfaltos con diversas concentraciones de asfáltenos

Fuente: **Petersen (2009)**

Los resultados revelaron que, tras el proceso de absorción de oxígeno, se redujo las cantidades de aromáticos y resinas, aumento el contenido de asfáltenos, y una disminución considerable del contenido saturado. Esto sugiere que una parte de los compuestos aromáticos experimenta una transformación hacia resinas. Estas resinas, en consecuencia, se transforman en asfáltenos, ya que las cantidades de resinas resultantes de la conversión de los compuestos aromáticos son inferiores a las cantidades originales de resinas que experimentan la conversión en asfáltenos (4).

Las alteraciones en la estructura química de sus asfaltos (**Shanjiasi, Shengli y Renqiu**) se evaluaron mediante el estudio de cómo las muestras absorben oxígeno (72). Los resultados de este estudio señalan que, como resultado de la absorción de oxígeno, todos los componentes del asfalto experimentaron un aumento en su peso molecular, con la excepción de los ácidos grasos saturados. Entre estos componentes, se observó que la resina presentaba la tasa de conversión más alta en asfáltenos.

Se obtuvo que las tasas de reacción de los distintos elementos presentes en el asfalto sin envejecer, de acuerdo a las condiciones de prueba establecidas para la captación de oxígeno, a partir de estos datos, se notó que la velocidad de reacción constante más alta correspondía a las resinas, mientras que la más baja se asociaba a

los asfáltenos. Estos resultados respaldan la idea de que la inestabilidad de las resinas es una de las principales causas que contribuyen al envejecimiento y deterioro del asfalto (72).

#### **2.2.11 Uso de antioxidantes en el cemento Asfáltico**

Los antioxidantes cumplen la función de retardar o inhibir el proceso oxidativo del asfalto. A fin de evitar la pérdida de las propiedades físicas y químicas, y el envejecimiento a corto plazo, prolongando su vida útil (45). Los antioxidantes generan una barra protectora alrededor de los polímeros evitando su degradación oxidativa y preservando la elasticidad y resistencia del asfalto (73).

En el sector de la producción de asfalto se utilizan varios tipos de antioxidantes, entre ellos los convencionales compuestos por fenólicos y aminas (74), y los poliméricos compuesto por polifenoles modificados desarrollados a partir del polifenol de actilaminofenol, que tienen propiedades antioxidantes superiores. antioxidantes de anhídrido fosfórico y antioxidantes de anhídrido maleico, mejoran la resistencia a la oxidación por lo tanto retrasan el envejecimiento oxidativo y térmico (75). Mientras los antioxidantes naturales, han demostrado un buen comportamiento ante la oxidación del asfalto tal lo demuestra **Wang, X., Huang, X., Yu, J., & Yu, B. (2018)** demostraron que los extractos de cereza reducen la oxidación. Además, **Chen, M., Wang, J., Yu, J., & Zou, X. (2019)** demostraron que los extractos de cereza y otros antioxidantes naturales reducen la degradación del asfalto aumentando su vida útil.

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1 Método y alcance de la investigación**

#### **3.1.1 Método de investigación**

En la presente tesis se utiliza el método científico, debido a que se observa el comportamiento de la mezcla asfáltica con la adición de polvo de guinda, del análisis y verificación de la hipótesis se validan los resultados los que derivan en conclusiones (76).

#### **3.1.2 Tipo de la investigación**

La naturaleza de esta investigación es considerada aplicada, ya que su objetivo principal es generar nuevos conocimientos que contribuyan a la ciencia a través de la resolución práctica del problema planteado, que se refiere a los efectos de incorporar la guinda en la mezcla asfáltica utilizada en los pavimentos básicos de Huancayo (76).

La generación de nuevos conocimientos puede tener dos enfoques principales. Uno de ellos consiste en ampliar los principios teóricos de una ciencia específica, lo que se conoce como investigación pura o fundamental. El otro enfoque busca aplicar esos conocimientos de manera directa para resolver problemas prácticos, lo que se denomina investigación aplicada (76).

#### **3.1.3 Nivel de la investigación**

Las investigaciones de tipo explicativo comienzan identificando problemas claramente definidos con el objetivo de comprender las relaciones causa-efecto. En este enfoque, se formulan hipótesis esenciales para ofrecer explicaciones sobre las causas del problema o aspectos estrechamente relacionados con él (77).

En la presente investigación se busca identificar el efecto que tendrá la guinda pulverizada como agente antioxidante en el proceso de envejecimiento a corto plazo del cemento asfáltico de penetración 85-100 en Huancayo.

Por las consideraciones expuestas en la presente investigación es explicativa. (78).

### **3.2 Diseño de la Investigación**

El diseño de esta investigación se clasifica como Cuasi experimental, ya que se utiliza cuando no es posible llevar a cabo un diseño experimental aleatorio puro

debido a restricciones o limitaciones específicas. Como en esta investigación si bien permite evaluar las relaciones causales y evaluar el efecto de una intervención o tratamiento en una variable dependiente, se tiene limitaciones económicas y temporales. La investigación se llevó a cabo en un laboratorio certificado, donde deliberadamente se manipuló una de las variables, como el asfalto de PEN 85-100, con el fin de obtener la viscosidad, la susceptibilidad térmica, la estabilidad y fluidez Marshall. Se trata de una encuesta que valida hipótesis mediante la manipulación “deliberada” de una de las variables por parte de los investigadores (78).

### **3.3 Población y muestra.**

#### **3.3.1 Población.**

Según **Arias y Fidias** “la población en una investigación cuasi experimental se define en función de criterios específicos y características relevantes para la investigación, y la selección de la población se justifica en relación con los objetivos del estudio” (76). Es razonable considerar que la población y el conjunto objetivo previsto según Hernández se relacionan más precisamente con la prueba a realizar bajo un concepto práctico aplicado al panorama general de las muestras que se espera utilizar (78). La población que será examinada en este estudio consistirá en la combinación de asfalto modificado de manera convencional y altamente modificado, con varios porcentajes de inclusión de guinda pulverizada (79).

- Criterio de inclusión: La población de estudio serán las mezclas asfálticas producidas en caliente con pen 80-100, diseñadas específicamente para su aplicación en carpetas asfálticas.

- Criterio de exclusión: Se excluyen de la población aquellas mezclas asfálticas en caliente fabricadas con tipos de asfalto diferentes al PEN 85-100.

#### **3.3.2 Muestra.**

Según **Hugo Garces Paz** “La muestra es una porción del conjunto, que contiene la representación de los elementos, siendo un grupo necesario para llevar a cabo una investigación” (80).

Dentro de las técnicas de muestro planteadas por Hernández Sampieri (78), se determinó que, acorde a la investigación cuasi experimental donde se utilizó el muestreo por conveniencia del investigador, a fin de relacionar la adición de la guinda en el proceso de envejecimiento del asfalto a corto plazo.

La muestra en cuestión comprende un total de 15 briquetas que fueron utilizados para el ensayo Marshall, y 2489 mililitros de asfalto para los ensayos de viscosidad y la obtención de susceptibilidad térmica, para la muestra patrón y con adición de la guinda en diferentes porcentajes. Este número se ha determinado en base a las normativas tanto internacionales como nacionales relacionadas con los ensayos de asfaltos, como ASTM y el Manual de Ensayos del Ministerio de transportes y comunicaciones. Estas normativas establecen que esta cantidad de pruebas es esencial para garantizar la fiabilidad de los resultados (6).

- Para el ensayo de Viscosidad se utilizó una muestra de 10 ml para cada ensayo de muestra patrón y con los diferentes % de adición de guinda pulverizada, en total 50 ml. Según la normatividad del “ASTM D4402 –Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer”
- Para la obtención de la Susceptibilidad térmica, adicionalmente del ensayo de viscosidad se utilizó el ensayo de penetración del asfalto según la normatividad del Ministerio de Transportes y comunicaciones “E- MTC E 304-pag 418 – Manual de Ensayo de Materiales - ASTM D 5: Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials” pag 416-420. Se utilizó 500 gr. para cada ensayo en total 2500 gr. para la muestra patrón más las muestras con adición del 5%, 10%, 15% y 20%.
- Ensayo de Estabilidad y Fluencia Marshall: Según la normatividad “ASTM D6927 Método de Prueba Estándar para estabilidad Marshall y Flujo de Mezclas de Asfalto” en la pag. 07, ítem de procedimientos “Deberán ser ensayadas un mínimo de tres muestras de una mezcla dada, estas deben tener el mismo tipo de agregado, calidad y gradación: el mismo tipo y cantidad de relleno mineral y la misma fuente, grado y cantidad de ligante. Adicionalmente las muestras deben tener la misma preparación, es decir, temperatura, enfriamiento y compactación”. Por cada porcentaje de adición más la muestra patrón se utilizó 15 probetas.

### 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

#### 3.4.1 Técnica de recolección de datos.

Se define como método de investigación a la forma específica o procedimiento para adquirir datos o información. Por lo cual se realizará experimentos en laboratorio con muestras patrón y con los diferentes porcentajes de adición de guindas donde se realizaran ensayos de granulometría después del tratamiento de la guinda seca pulverizada, el viscosímetro Brookfield, ensayo de penetración para la obtención de la susceptibilidad térmica, ensayos de caracterización de agregado, análisis granulométrico, gravedad específica y Marshall de acuerdo a los lineamientos establecidos en el MTC (76).

#### 3.4.2 Instrumento de recolección de datos.

Un medio de recopilación de datos es cualquier herramienta, aparato o formato (ya sea en forma física o digital) empleado para obtener, registrar o almacenar información (p. 68) (76). En esta investigación se utilizó la ficha de recolección de datos, por tanto, en este estudio se empleó una ficha de recopilación de datos como herramienta para ordenar y registrar la información obtenida de los ensayos llevados a cabo en el laboratorio.

#### 3.4.3 Procedimiento de recolección de datos

Observación:

La técnica utilizada es de la observación de los resultados obtenidos en los ensayos realizados en el laboratorio de COLDFIX CONSULTING, asimismo se utilizaron formatos de Excel.

Se utilizó el asfalto de penetración 85-100, agregados y la guinda pulverizada, los cuales fueron obtenidos de la siguiente manera:

El **ligante asfáltico** fue adquirido por la Refinería la Pampilla S.A.A. ubicado en Casilla postal 10245, Km. 25 carretera a ventanilla, Lima – 1 Perú. En la presente investigación se hizo una evaluación de acuerdo al Manual de Transporte y Comunicaciones del 2013, ya que el estudio se realizará para la ciudad de Huancayo, donde se tiene en conocimiento que la temperatura media anual es de entre 5°C y 15°C, teniendo una temperatura media siendo así ni demasiada fría o calurosa, para ello se requirió el uso del asfalto PEN 85-100, según tabla 7.

Tabla 7: *Categoría de asfalto en función de la temperatura ambiente.*

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

Fuente: MTC 2013

Los **agregados** fueron obtenidos de la cantera del distrito de Matahuasi, donde se encuentra una chancadora, de la provincia de Concepción del departamento de Junín, los agregados de la planta chancadora son de ríos secos fluviales, esta planta chancadora viene a ser una de las principales plantas chancadoras de Junín ya que suministra a la localidad de Huancayo, Jauja y alrededores, quedando a 40 min de Huancayo, ubicado en la carretera central. Figura 9.



Figura 9: Planta de obtención de agregado del distrito de Matahuasi

Fuente: Elaboración Propia

La **guinda** (*Prunus Capuli*) fue obtenida de manera natural de plantas ubicadas en el distrito de Huamancaca, de la provincia de Chupaca, en épocas de temporada la guinda da frutos y es transportado al centro de Huancayo para su comercialización, ya que esta no requiere de demasiado cuidado en su cultivo, puesto que crece de manera natural, viene a ser accesible y económico. Figura 10.



Figura 10: Guinda en extraída para el estudio

Fuente: Elaboración Propia

Por lo cual esta investigación se desarrolló en 2 etapas:

La primera etapa corresponde al procesamiento de la guinda, para lo cual se procedió a secar las guindas para posteriormente molerlas con toda y pepa, y así realizar la granulometría correspondiente.

La segunda etapa corresponde a la caracterización de los agregados para la elaboración de las briquetas, para lo cual se realizó el ensayo de granulometría de los agregados gruesos y finos. Para proceder con la combinación teórica de los agregados para el asfalto - MAC2.

Inductiva:

Después de terminar con la caracterización del agregado y de la guinda pulverizada corresponde a los ensayos con el asfalto de la muestra patrón y con las adiciones de la guinda pulverizada del 5%, 10%, 15% y 20%, para lo cual se procedió a realizar los ensayos de viscosidad del asfalto con el viscosímetro Brookfield, la determinación de la susceptibilidad térmica con la viscosidad y el ensayo de penetración, y por último el ensayo Marshall para medir la estabilidad y fluencia del asfalto.

#### **3.4.4 Estudios de laboratorio**

##### **Cemento Asfalto**

En el estudio de esta investigación se empleó el asfalto PEN 85-100, debido al clima, ya que Huancayo tiene un clima intermedio, y esto fue categorizado según el manual de transportes y carreteras del 2013. Las propiedades y características

de este asfalto PEN 85-100. Se puede observar en la tabla 8, que los datos recopilados fueron extraídos de la certificación de calidad suministrada por el proveedor.

Tabla 8: *Características fundamentales del cemento asfáltico*

<b>CEMENTO ASFÁLTICO 85-100 PEN</b>		
ENSAYOS REPORTADOS	ESPECIFICACIONES	
	MÍNIMO	MÁXIMO
Ensayo de penetración a 25 °C, 100 g, 5 s	85	100
Punto de Inflamación Cleveland °C	232	-
Ductilidad a 25 °C, 5 cm/min, cm	100	
Solubilidad porcentaje de masa	99	
Perdida por calentamiento, % masa		1
Penetración retenida, % del original	50+	

Fuente: Especificación del asfalto por Pep sol

### **Agregados**

Los agregados representan componentes que pueden ser tanto de origen natural como artificial y presentan una diversidad de tamaños, que van desde partículas muy pequeñas hasta rocas de mayor tamaño. Estos agregados exhiben propiedades específicas en términos de dureza, textura y rugosidad, las cuales resultan de procesos como la trituración de materiales. Se pueden clasificar en grupos que incluyen agregados chancados, arena chancada y finos.

#### ▪ **Ensayo de granulometría de los agregados**

Con el propósito de evaluar las propiedades mecánicas en función de diferentes niveles de adición de guinda pulverizada, es esencial desarrollar un diseño de mezcla. Para llevar a cabo este proceso, resulta fundamental la realización de un ensayo de granulometría, el cual permitirá obtener las dimensiones necesarias para cumplir con los requisitos del MAC 2.

- Piedra de tamaño máximo nominal de 1/2". Tabla 9 y figura 11.
- Arena triturada de tamaño máximo nominal N°4. Tabla 10 y figura 12.
- Arena zarandeada de tamaño máximo nominal N°4. Tabla 11 y figura 13.

- Filler de cemento. Tabla 12 y figura 14.

Tabla 9: Distribución de tamaños de la piedra triturada de Matahuasi con tamaño nominal  $-\frac{1}{2}$ ".

GRAVA CHANCADA TM 1/2"					
Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumulado	% Pasante
Tamiz	mm				
tm - 3"	"76.200"				
tm - 2 1/2"	"63.550"				
tm - 2"	"50.800"				
tm - 1 1/2"	"38.110"	0.00	0.00	0.00	0.00
tm - 1"	"25.405"	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/4"	"19.055"	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 1/2"	"12.700"	956.70	31.89	31.89	68.11
tm - 3/8"	"9.525"	795.50	26.52	58.41	41.59
tm - N°4	"4.750"	1120.40	37.35	95.75	4.25
tm - N°8	"2.550"	52.60	1.75	97.51	2.49
tm - N°10	"2.000"	40.30	1.34	98.85	1.15
tm - N°16	1.185	11.50	0.38	99.23	0.77
tm - N°30	0.600	6.60	0.22	99.45	0.55
tm - N°40	0.425	3.70	0.12	99.58	0.42
tm - N°50	0.295	1.40	0.05	99.62	0.38
tm - N°80	0.175	1.30	0.04	99.67	0.33
tm - N°100	0.148	3.50	0.12	99.78	0.22
tm - N°200	0.072	1.10	0.04	99.82	0.18
< tm - N°200		5.40	0.18	100.00	0.00
<b>TOTAL MUESTRA =</b>		3000.00	gr		

Fuente: Elaboración Propia

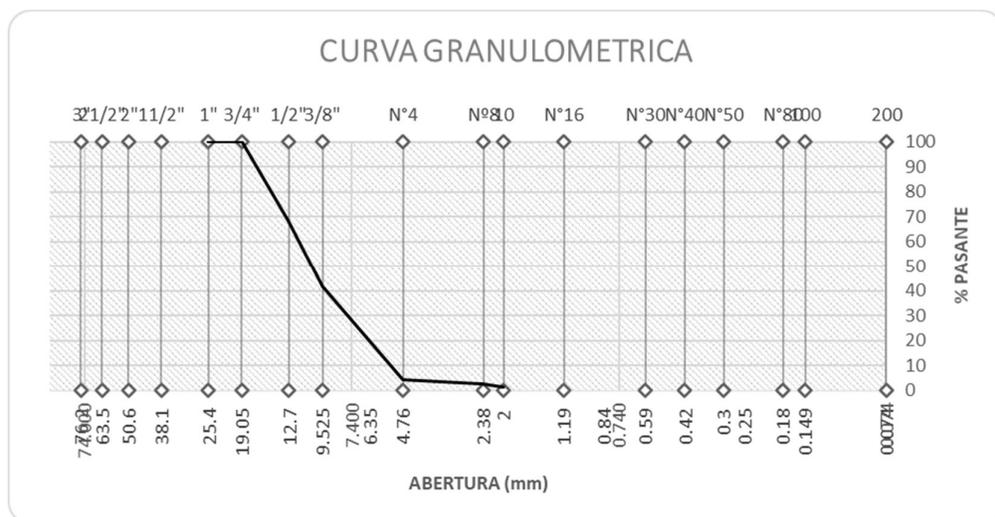


Figura 11: Curva del ensayo de granulometría de la piedra de  $\frac{1}{2}$ "

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10: Características granulométricas de la arena tamizada proveniente de Matahuasi

ARENA NATURAL					
Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumulado	% Pasante
Tamiz	mm				
tm - 3"	76.200				
tm - 2 1/2"	63.550				
tm - 2"	50.800				
tm - 1 1/2"	38.110	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°4	4.750	301.30	20.09	20.09	79.91
tm - N°8	2.550	187.70	12.51	32.60	67.40
tm - N°10	2.000	126.50	8.43	41.03	58.97
tm - N°16	1.185	137.30	9.15	50.19	49.81
tm - N°30	0.600	251.50	16.77	66.95	33.05
tm - N°40	0.425	72.80	4.85	71.81	28.19
tm - N°50	0.295	191.60	12.77	84.58	15.42
tm - N°80	0.175	41.50	2.77	87.35	12.65
tm - N°100	0.148	35.60	2.37	89.72	10.28
tm - N°200	0.072	45.70	3.05	92.77	7.23
< tm - N°200		108.50	7.23	100.00	0.00
<b>TOTAL, MUESTRA =</b>		<b>1500.00</b>	<b>gr</b>		

Fuente: Elaboración Propia

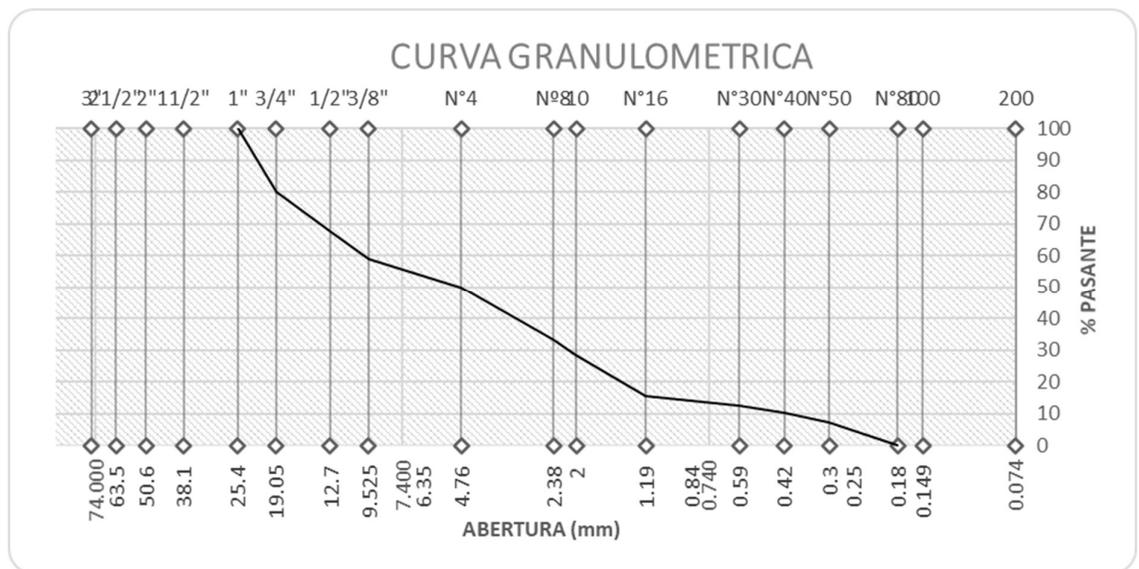


Figura 12: Curva del ensayo de granulometría de la arena zarandeada

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11: Distribución de tamaños de la arena triturada de Matahuasi

ARENA PROCESADA					
Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumulado	% Pasante
Tamiz	mm				
tm - 3"	76.200				
tm - 2 1/2"	63.550				
tm - 2"	50.800				
tm - 1 1/2"	38.110	0.00	0.00	0.00	0.00
tm - 1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°4	4.750	132.80	8.85	8.85	91.15
tm - N°8	2.550	297.20	19.81	28.67	71.33
tm - N°10	2.000	27.40	1.83	30.49	69.51
tm - N°16	1.185	331.70	22.11	52.61	47.39
tm - N°30	0.600	117.50	7.83	60.44	39.56
tm - N°40	0.425	54.80	3.65	64.09	35.91
tm - N°50	0.295	144.30	9.62	73.71	26.29
tm - N°80	0.175	78.40	5.23	78.94	21.06
tm - N°100	0.148	81.50	5.43	84.37	15.63
tm - N°200	0.072	83.80	5.59	89.96	10.04
< tm - N°200		150.60	10.04	100.00	0.00
<b>TOTAL, MUESTRA =</b>		1500.00	gr		

Fuente: Elaboración Propia

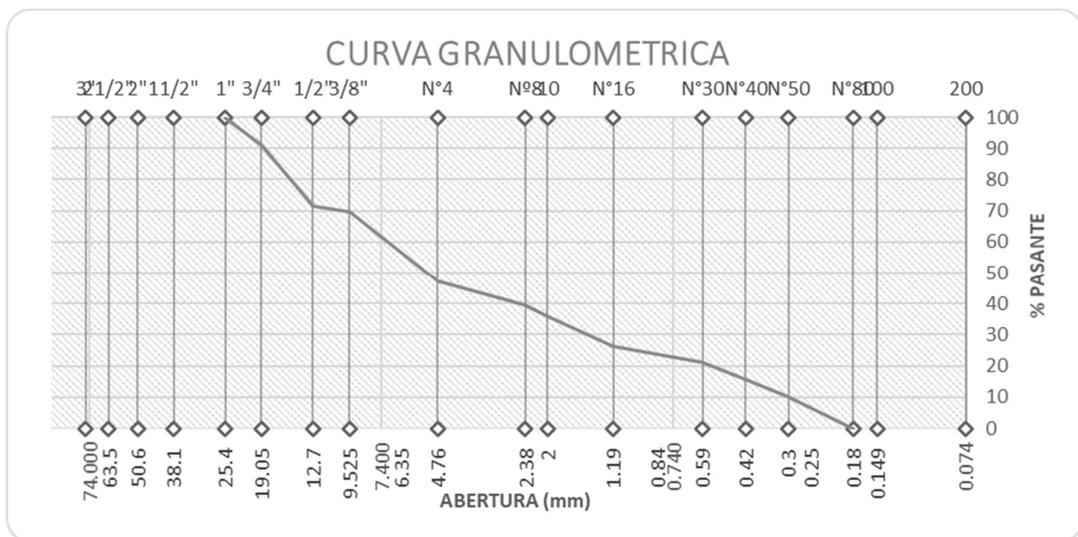


Figura 13: Curva del ensayo de granulometría de la arena chancada

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12: Distribución de tamaños del filler

Malla		FILLER			
Tamiz	mm	Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumulado	% Pasante
tm - 3"	76.200				
tm - 2 1/2"	63.550				
tm - 2"	50.800				
tm - 1 1/2"	38.110	0.00	0.00	0.00	0.00
tm - 1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°8	2.550	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°10	2.000	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°16	1.185	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°30	0.600	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°40	0.425	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°50	0.295	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°80	0.175	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°100	0.148	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°200	0.072	0.00	0.00	0.00	100.00
< tm - N°200		500.00	100.00	100.00	0.00
<b>TOTAL, MUESTRA</b>		500.00	gr		
=					

Fuente: Elaboración Propia

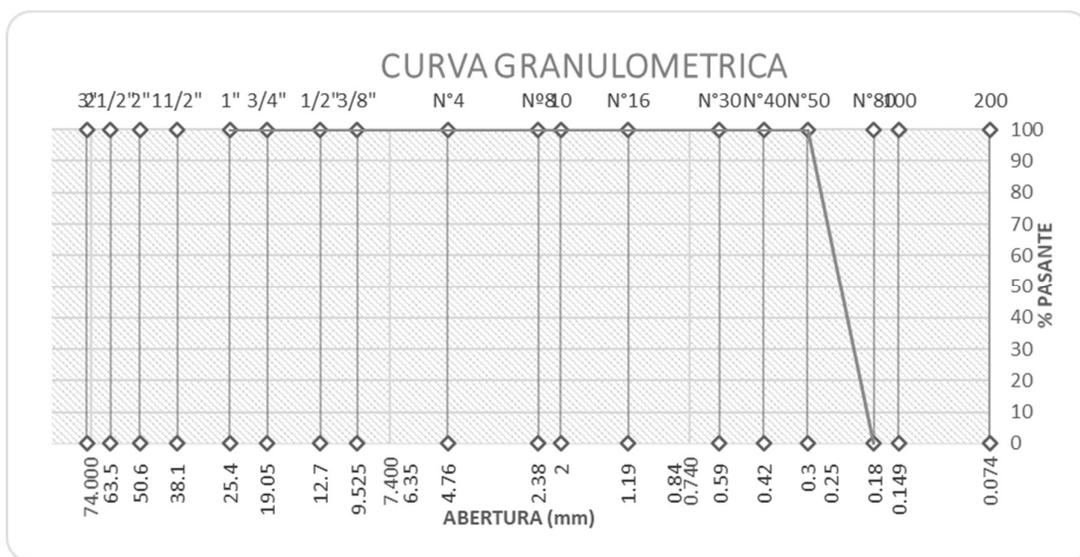


Figura 14: Curva del ensayo de granulometría de filler

Fuente: Elaboración Propia

## **Guinda**

### **Proceso de pulverizado**

Para preparar la guinda como aditivo, el proceso comienza adquiriendo la guinda en su estado natural. Luego, se procede a separar los granos de las ramas y se exponen al sol durante un período específico, hasta que se sequen, como se aprecia en la figura 15. Después, para llevar a cabo el proceso de pulverización, se trituran utilizando un molino, como se representa en la figura 16.



Figura 15: Guinda (*Prunus capuli*) deshidratada o seca.

**Fuente:** Elaboración Propia



Figura 16: Molienda de la Guinda seca

**Fuente:** Elaboración Propia

▪ **Granulometría de la guinda**

Consiguientemente del molido se tamizó la guinda pulverizada de 500 g, por el tamiz #100 con un retenido de 200g, en el tamiz #200 con un retenido de 290g y menor al tamiz #200 con 10g, con lo obtenido se puede agregar al cemento asfáltico, tabla 13 granulometría de la guinda.

Tabla 13: *Distribución granulométrica de la guinda*

<b>GRANULOMETRIA DE GUINDA PULVERIZADA</b>					
<b>Malla</b>		<b>Peso (gr)</b>	<b>% Reten. Parcial</b>	<b>% Reten. Acumulado</b>	<b>% Pasante</b>
<b>Tamiz</b>	<b>mm</b>				
tm - 3"	76.200				
tm - 2 1/2"	63.550				
tm - 2"	50.800				
tm - 1 1/2"	38.110	0.00	0.00	0.00	0.00
tm - 1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°8	2.550	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°10	2.000	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°16	1.185	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°30	0.600	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°40	0.425	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°50	0.295	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°80	0.175	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°100	0.148	200.00	40.00	40.00	60.00
tm - N°200	0.072	290.00	58.00	98.00	2.00
< tm - N°200		10.00	2.00	100.00	0.00
<b>TOTAL MUESTRA</b>					
=		500.00	gr		

Fuente: Elaboración Propia

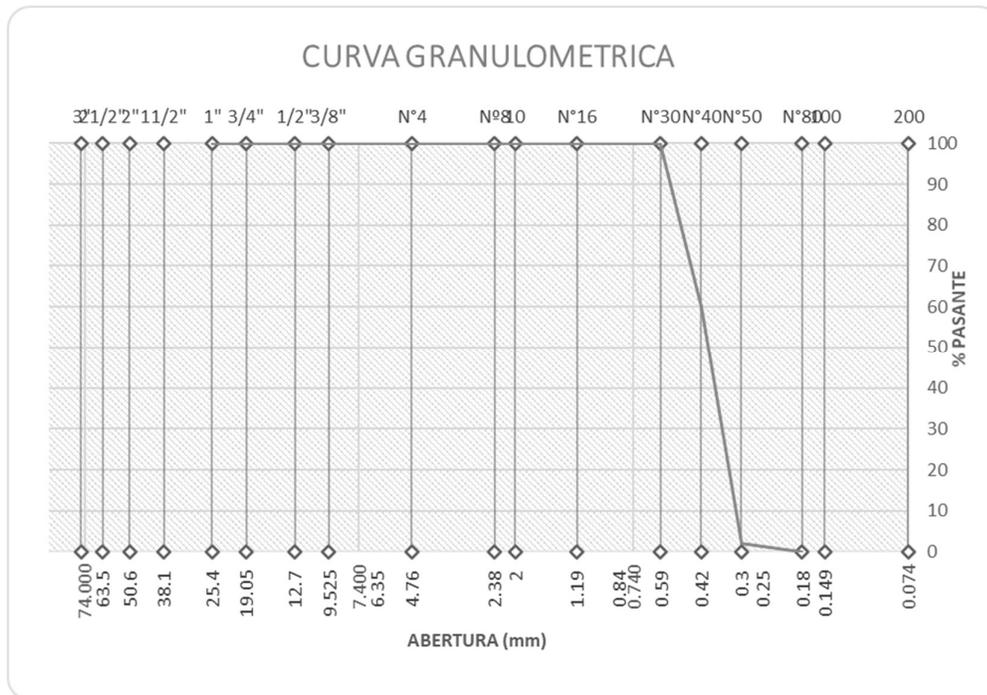


Figura 17: Curva del ensayo de granulometría de la guinda pulverizada

Fuente: Elaboración Propia

Para medir los valores de estabilidad y fluencia de Marshall existen parámetros que están normados por el ministerio de transportes y comunicaciones.

### 3.4.5 Validez y confiabilidad

Para la presente investigación se realizó la validez de criterio, ya que según **Trochim & Donnelly**, esta hace alusión a la habilidad de un instrumento de medición para anticipar o pronosticar o estar en correlación con un estándar externo o criterio ya establecido como válido (81). Dado que se han realizado ensayos de laboratorios los cuales están normados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, así como la norma internacional Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures. Los cuales se detallan a continuación de acuerdo a los ensayos realizados (82).

- Granulometría de agregados: ASTM C136 / C136M: Esta norma específica el proceso convencional para evaluar la gradación de

partículas en agregados, tanto finos como gruesos, y ofrece instrucciones detalladas acerca de los métodos de tamizado y las dimensiones de las mallas que deben emplearse.

- Viscosidad de Brookfiel: ASTM D4402 - Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer: Esta norma de la ASTM establece el protocolo para calcular la viscosidad del asfalto a temperaturas elevadas mediante el uso de un viscosímetro rotativo Brookfield. Es una norma ampliamente reconocida para la medición de la viscosidad del asfalto en un intervalo de temperatura que abarca desde 60 °C hasta 135 °C.
- Susceptibilidad térmica del asfalto: ASTM D4402 - Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer. Esta norma permite analizar la variación en la viscosidad del asfalto conforme aumenta la temperatura. Esto suministra datos acerca de la respuesta del asfalto al calor y su habilidad para fluir y mezclarse de manera efectiva a temperaturas particulares durante los procesos de construcción y pavimentación.
- Estabilidad y Fluencia Marshall: ASTM D6927 - Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures. Esta norma de la ASTM detalla el proceso estándar para llevar a cabo la prueba Marshall en mezclas de asfalto, con el propósito de medir la estabilidad y la fluencia de la mezcla bajo una carga axial. También está el manual de ensayos del MTC E 504 Resistencia de Mezclas Bituminosas Empleando el Aparato Marshall que tiene como referencia las normas del ASTM.

La confiabilidad de las normas empleadas se deriva del hecho de que los procedimientos, equipos, condiciones de prueba y criterios de aceptación detallados en los ensayos ASTM deben ser seguidos meticulosamente, asegurando así la coherencia en los resultados obtenidos durante las pruebas. Adicionalmente, antes de ser adoptados

como normas ASTM, los métodos de prueba pasan por un proceso de validación que implica pruebas exhaustivas con el fin de garantizar su eficacia, precisión y fiabilidad. Esto incluye la realización de comparaciones entre diferentes laboratorios y el análisis estadístico para evaluar la capacidad de reproducir y repetir los resultados. Además, es importante destacar que los miembros de ASTM, quienes son expertos en sus respectivas industrias, laboratorios y organismos gubernamentales, participan activamente en la revisión y actualización de estas normas. Este proceso continuo de revisión garantiza que los métodos de prueba se mantengan al día y sigan siendo pertinentes. Se debe tener en cuenta que los laboratorios que realizan ensayos de acuerdo con las normas ASTM documentan minuciosamente todos los aspectos del proceso de prueba, desde la preparación de las muestras hasta la obtención de los resultados. Esto facilita la trazabilidad y la capacidad de verificar los procedimientos utilizados (83).

#### **3.4.6 Tratamiento estadístico.**

Se realizó una evaluación de normalidad mediante técnicas estadísticas para examinar la asociación entre la variable dependiente y la variable independiente. Con el fin de cuantificar el grado de correlación, se utilizará el coeficiente de correlación de Pearson como parte del respaldo a la hipótesis. Estos análisis se realizarán utilizando la versión 25 del software estadístico SPSS.

#### **Prueba de Normalidad**

La evaluación de normalidad constituye una herramienta estadística empleada para determinar si una muestra de datos se ajusta a una distribución normal, se caracteriza por tener valores que en su mayoría se concentran cerca de la media y la desviación estándar determina la dispersión de los datos. Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk (84), y la prueba de Kolmogorov-Smirnov (85), para evaluar la hipótesis nula de normalidad. Estas pruebas ofrecen un valor p que refleja la probabilidad de que los datos se adhieran a una distribución normal. Si el valor p es inferior a un umbral de significancia predeterminado (0.05), se rechaza la hipótesis nula de normalidad.

### **Diferencia significativa**

Se utilizó la Prueba de Wilcoxon prueba no paramétrica utilizada para comparar dos muestras relacionadas y determinar si hay una diferencia significativa entre ellas. La prueba de Wilcoxon se utiliza comúnmente en estudios en los que las mediciones se toman en dos momentos diferentes para los mismos sujetos, como en estudios antes y después de un tratamiento. La hipótesis nula de la prueba de Wilcoxon es que no hay diferencia significativa entre las dos muestras (86).

Se utilizó el test de T- student, prueba paramétrica para muestras relacionadas, se utiliza cuando se tienen observaciones emparejadas o medidas repetidas en el mismo grupo. Es especialmente útil en estudios antes y después de un tratamiento o intervención, donde las mediciones se toman en el mismo grupo de sujetos en diferentes momentos. El procedimiento implica calcular las diferencias entre las observaciones emparejadas y evaluar si estas diferencias son significativamente diferentes de cero. La hipótesis nula es que no hay diferencia significativa entre las medias de las dos condiciones (86).

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

#### 4.1.1. Análisis de la Información

##### 4.1.1.1. Ensayo de Viscosidad

###### Procedimiento

Para este ensayo, lo que se realizó es la extracción del cemento asfáltico con el cuidado respectivo de que no se mezcle con cualquier otra sustancia lo cual podría variar sus propiedades, una vez extraída la muestra, se llevó al horno a una temperatura de 135°C. hasta que llegue a estar fluido como un aceite de motor, luego se le vierte a una capsula del viscosímetro, encendemos el viscosímetro rotacional de Brookfield hasta que llegue a una temperatura deseada, se lleva con la pinza la capsula hacia el viscosímetro, una vez puesta la muestra, se coloca el vástago bien alineado en el centro para colocar la tapa aislante del contenedor térmico, pasado un tiempo aproximado de 25 minutos y llegado a la temperatura requerida se procede a que los valores de la viscosidad se estabilice, luego se realiza la toma de datos por temperatura, una vez obtenidos los datos del viscosímetro rotacional de Brookfield, se procesa para ver cómo es el comportamiento de cemento asfáltico y el cemento asfáltico modificado del 5%, 10%, 15%, 20% de guinda referente al peso del cemento asfáltico.

Los ensayos de viscosidad se llevaron a cabo utilizando tres muestras para cada nivel de adición de asfalto modificado con guinda pulverizada: 5%, 10%, 15% y 20%. Sin embargo, se observó que a medida que se incrementaba el porcentaje de guinda, se llegaba a un punto de saturación, como se ilustra en la figura 18.



Figura 18: Cemento asfáltico PEN 85-100 modificado con guinda en proceso de ebullición

Fuente: Elaboración Propia

#### **Cemento asfáltico 85-100:**

La figura 19 corresponde al asfalto virgen PEN 85-100 sin adición, en la cual la temperatura mínima de trabajabilidad para el ensayo de la viscosidad rotacional es de 60°C hasta llegar a una temperatura máxima de 200°C. Se llegó a 200°C de temperatura dado que se quería manejar un aspecto amplio del comportamiento de la viscosidad hasta un punto por debajo del punto de inflamación. Se obtuvieron viscosidades relativas de 64100 mPa.s a una temperatura de evaluación de 60°C, generando valores progresivos a medida que iba aumentando la temperatura de ensayo llegando así a la temperatura de 200°C, obteniendo una viscosidad de 544 mPa.s, observando este comportamiento podemos afirmar que la viscosidad tiende a decrecer conforme la temperatura se incrementa.

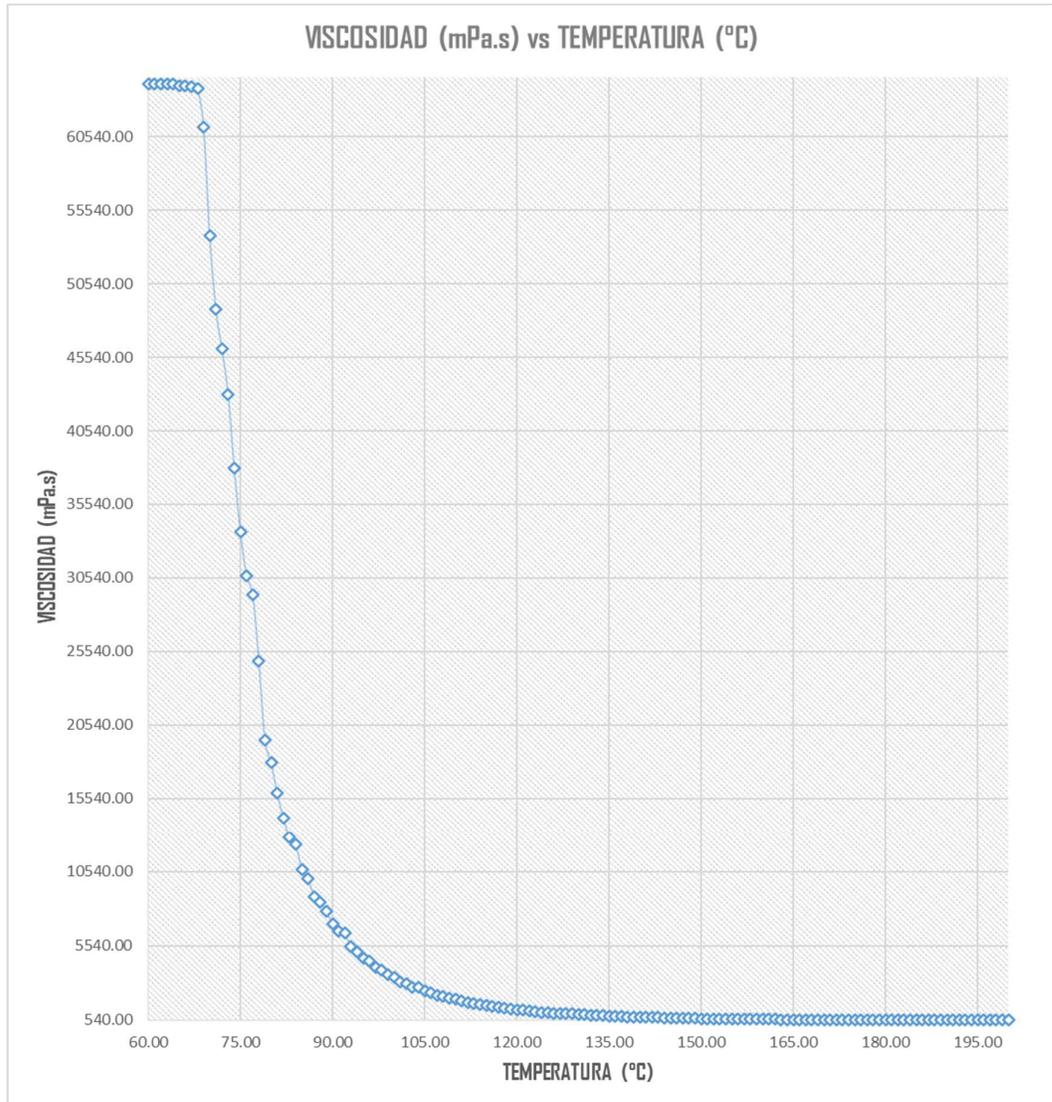


Figura 19: Viscosidad del asfalto PEN 85-100 sin la incorporación de guinda

Fuente: Elaboración propia

**Cemento asfáltico PEN 85-100 + 5% guinda:**

La figura 20 corresponde al asfalto PEN 85-100 con adición de un 5% de guinda con respecto del peso del cemento asfáltico, en la cual la temperatura mínima de trabajabilidad para esta muestra es de 63°C hasta llegar a una temperatura máxima de 164°C. Se obtuvieron viscosidades relativas de 64000 mPa.s a una temperatura de evaluación de 63°C, generando valores progresivos a medida que va aumentando la temperatura de ensayo llegando así a la temperatura de 164°C obteniendo una viscosidad de 603 mPa.s Al observar esta

conducta, es posible afirmar que la viscosidad tiende a reducirse a medida que la temperatura se eleva. También se observó que el asfalto virgen puede llegar hasta los 200°C sin ninguna dificultad, pero con la adición de guinda se echa a perder a una temperatura de 164°C, ya que el asfalto pierde sus cualidades, puesto que llega a tener un comportamiento abrasivo crítico, donde se pudo observar la aparición de burbujas en la superficie de la muestra, figura 20.

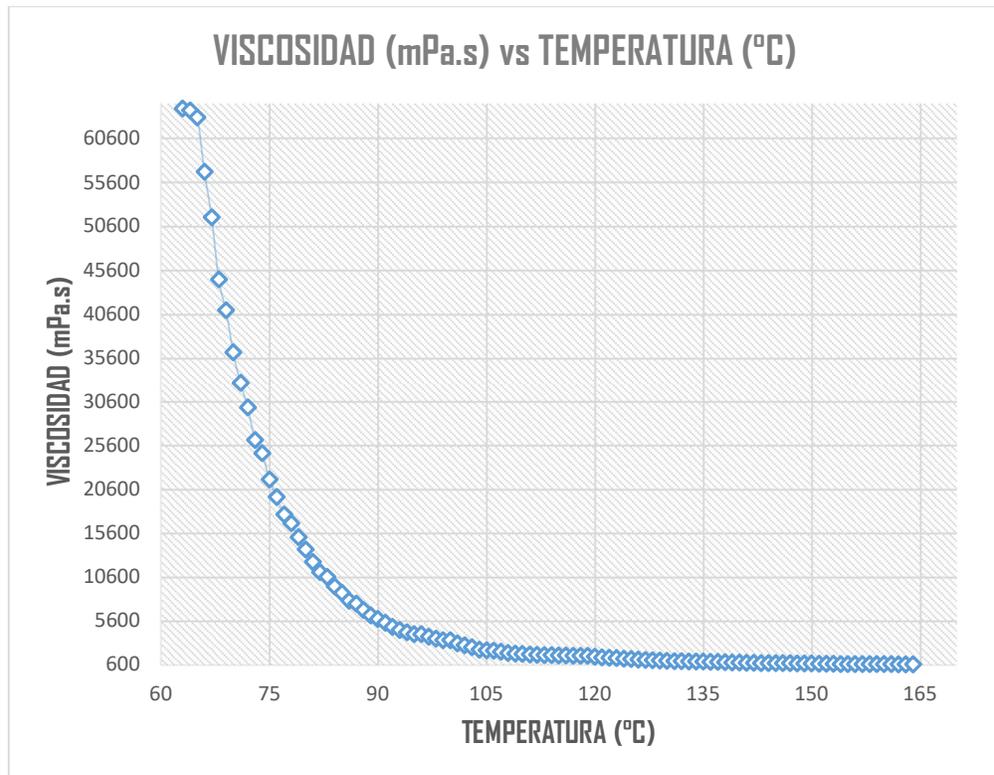


Figura 20: Viscosidad del cemento asfáltico PEN 85-100 con la adición del 5% de guinda

Fuente: Elaboración propia

#### **Cemento asfáltico PEN 85-100 + 10% guinda:**

La figura 21 corresponde al asfalto PEN 85-100 con adición de un 10% de guinda con respecto del peso del cemento asfáltico, en la cual la temperatura mínima de trabajabilidad para esta muestra es de 63°C hasta llegar a una temperatura máxima de 165°C. Se obtuvieron viscosidades relativas de 64100 mPa.s a una temperatura de evaluación de 63°C, generando valores progresivos a medida que iba aumentando la temperatura de ensayo llegando así a la temperatura de 165°C obteniendo una viscosidad de 564 mPa.s. Al examinar

este patrón, se puede afirmar que la viscosidad tiende a decrecer a medida que la temperatura se eleva. También se pudo observar que el asfalto virgen puede llegar hasta los 200°C sin ninguna dificultad, pero con la adición de guinda se echa a perder a una temperatura de 165°C, ya que el asfalto pierde sus cualidades puesto que llega a tener un comportamiento abrasivo crítico, donde se comenzó a observar la aparición de burbujas en la superficie de la muestra, figura 21.

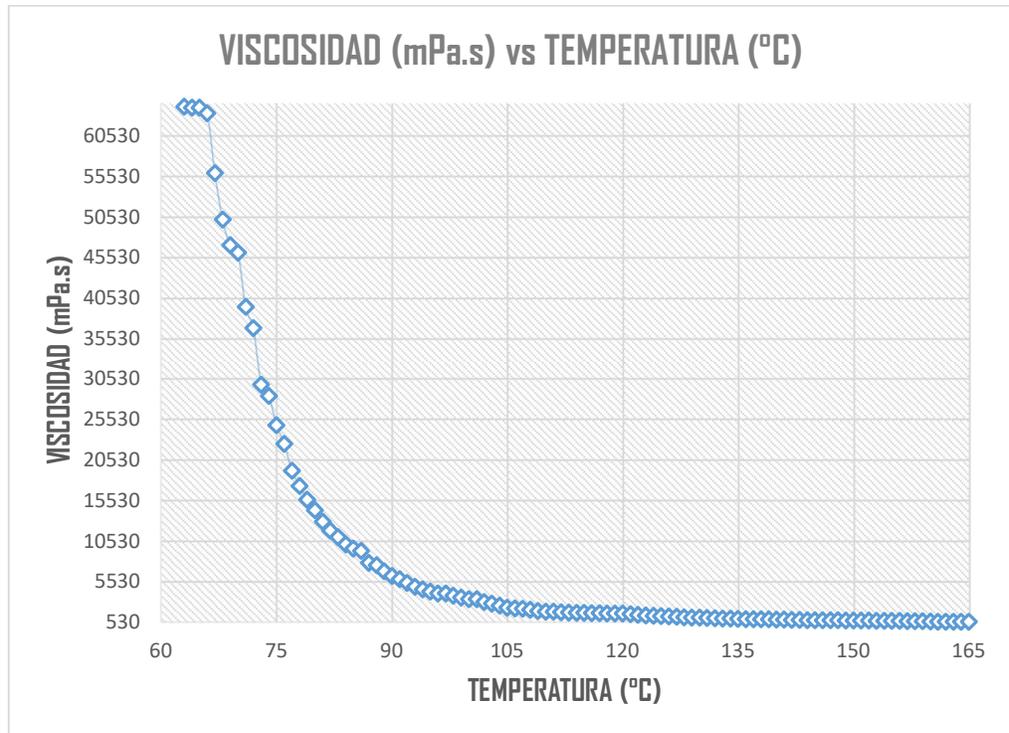


Figura 21: Viscosidad del cemento asfáltico PEN 85-100 con adición de 10% guinda

Fuente: Elaboración propia

### **Cemento asfáltico PEN 85-100 + 15% guinda:**

La figura 22 corresponde al asfalto PEN 85-100 con adición de un 15% de guinda con respecto del peso del cemento asfáltico, en la cual la temperatura mínima de trabajabilidad para esta muestra es de 66°C hasta llegar a una temperatura máxima de 171°C. Se obtuvieron viscosidades relativas de 64000 mPa.s a una temperatura de evaluación de 66°C, generando valores progresivos a medida que iba aumentando la temperatura de ensayo llegando así a la temperatura de 171°C obteniendo una viscosidad de 589 mPa.s, al analizar esta

conducta, se puede concluir que la viscosidad tiende a reducirse a medida que la temperatura se incrementa. También se pudo observar que el asfalto virgen puede llegar hasta los 200°C sin ninguna dificultad, pero con la adición de guinda se echa a perder a una temperatura de 171°C, ya que el asfalto pierde sus cualidades puesto que llega a tener un comportamiento abrasivo crítico, donde se comenzó a observar la aparición de burbujas en la superficie de la muestra, figura 22.

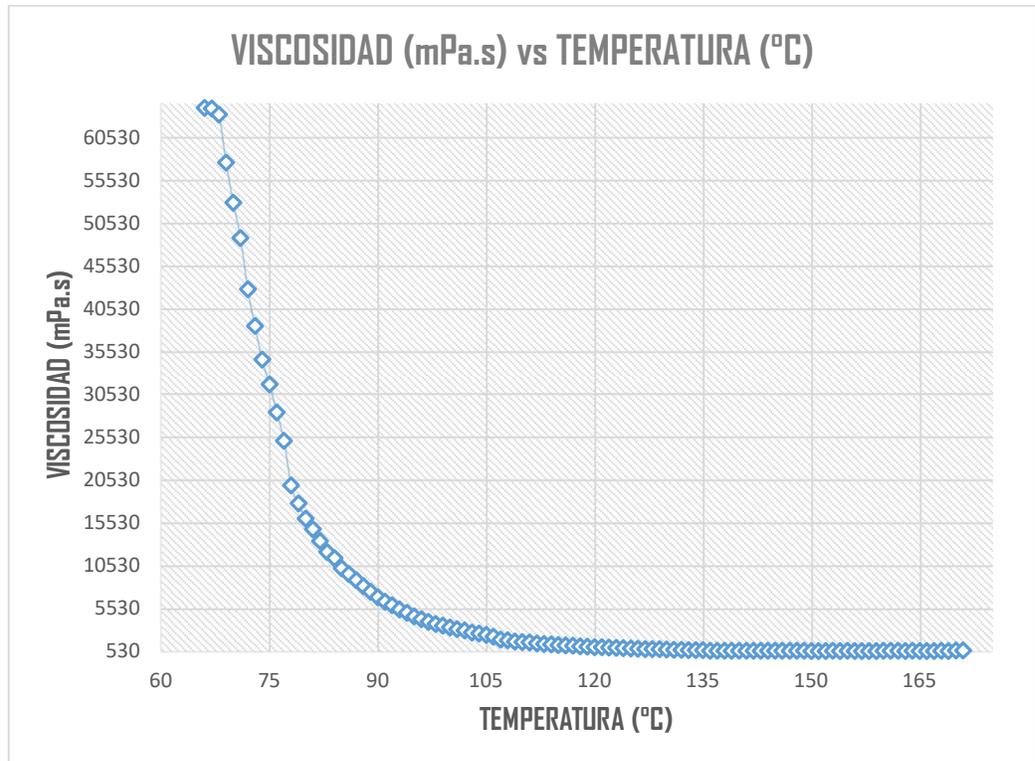


Figura 22: Viscosidad del cemento asfáltico PEN 85-100 con adición de 15% guinda

Fuente: Elaboración propia

**Cemento asfáltico PEN 85-100 + 20% guinda:**

La figura 23 corresponde al asfalto PEN 85-100 con adición de un 20% de guinda con respecto del peso del cemento asfáltico, en la cual la temperatura mínima de trabajabilidad para esta muestra es de 68°C hasta llegar a una temperatura máxima de 161°C. Se registraron viscosidades relativas de 64,000 mPa·s a una temperatura de evaluación de 68°C, y estos valores aumentaron gradualmente a medida que la temperatura de ensayo aumentaba, alcanzando una viscosidad de 746 mPa·s a una temperatura de 161°C. Basándonos en este

patrón de comportamiento, se puede afirmar que la tendencia de la viscosidad disminuye a medida que la temperatura se eleva. También se pudo observar que el asfalto virgen puede llegar hasta los 200°C sin ninguna dificultad, pero con la adición de guinda se echa a perder a una temperatura de 161°C, ya que el asfalto pierde sus cualidades puesto que llega a tener un comportamiento abrasivo crítico, donde se comenzó a observar la aparición de burbujas en la superficie de la muestra, figura 23.

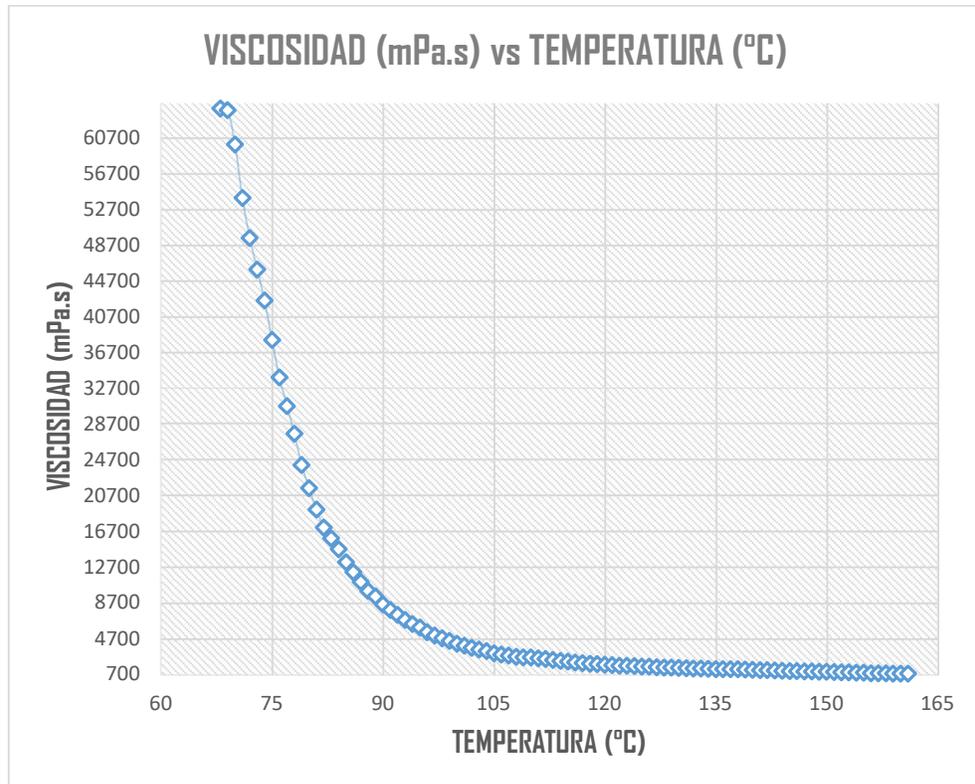


Figura 23: Viscosidad del cemento asfáltico PEN 85-100 con adición de 20% guinda

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.1.2. Susceptibilidad Térmica

##### Procedimiento

Para evaluar la susceptibilidad térmica, se llevó a cabo un proceso de cálculo que implicó la transformación de los datos de viscosidad y temperatura. En primer lugar, se convirtieron las temperaturas de grados Celsius a grados Rankine, así como las viscosidades de milipascales por segundo (mPa·s) a centipoises (cP). Luego, se aplicó el cálculo

logarítmico log-log a los valores de viscosidad para cada una de las 7 muestras seleccionadas al azar en el ensayo de viscosidad.

Por otro lado, para calcular la penetración del asfalto modificado con 5%, 10%, 15% y 20% de adición de guinda en relación al peso del ligante asfáltico, se siguieron los siguientes pasos. Se extrajo una muestra del cemento asfáltico 85-100 y se colocó en un recipiente. Luego, se calentó en un horno hasta que alcanzara una consistencia fluida. Después de calentarlo, se transfirió al recipiente de ensayo y se permitió enfriar durante un período adecuado. Posteriormente, la muestra se sumergió en un baño de agua y, una vez que alcanzó la temperatura deseada, se trasladó a un recipiente de transferencia. En este punto, se llevó a cabo el ensayo de penetración, realizando tres penetraciones a una distancia no inferior a un centímetro.

#### **Cemento Asfáltico PEN85-100**

Para calcular la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100, se seleccionaron 7 temperaturas de análisis en grados Rankine, las cuales se derivaron previamente de los resultados del ensayo de viscosidad. El análisis comenzó a partir de una temperatura mínima de 2.78° Rankine, siendo la temperatura más baja que puede manejar el viscosímetro rotacional Brookfield utilizado. Además, se estableció la máxima temperatura del ensayo de 2.93° Rankine como límite superior. Entre estas temperaturas mínima y máxima, seleccionadas para el análisis de la susceptibilidad térmica del ligante asfáltico, se tomaron 5 puntos adicionales para crear una progresión en los puntos de análisis.

Para cada una de las temperaturas elegidas, se registraron las viscosidades correspondientes utilizando los cálculos de VTS. En la figura 24 se presenta la correlación entre la temperatura y los resultados del ensayo realizado con el ligante asfáltico en su estado natural, sin la adición de guinda. La relación temperatura-viscosidad muestra una tendencia negativa, lo que significa que a medida que la temperatura de ensayo en grados Rankine aumenta, la viscosidad en escala logarítmica (cP) tiende a disminuir.

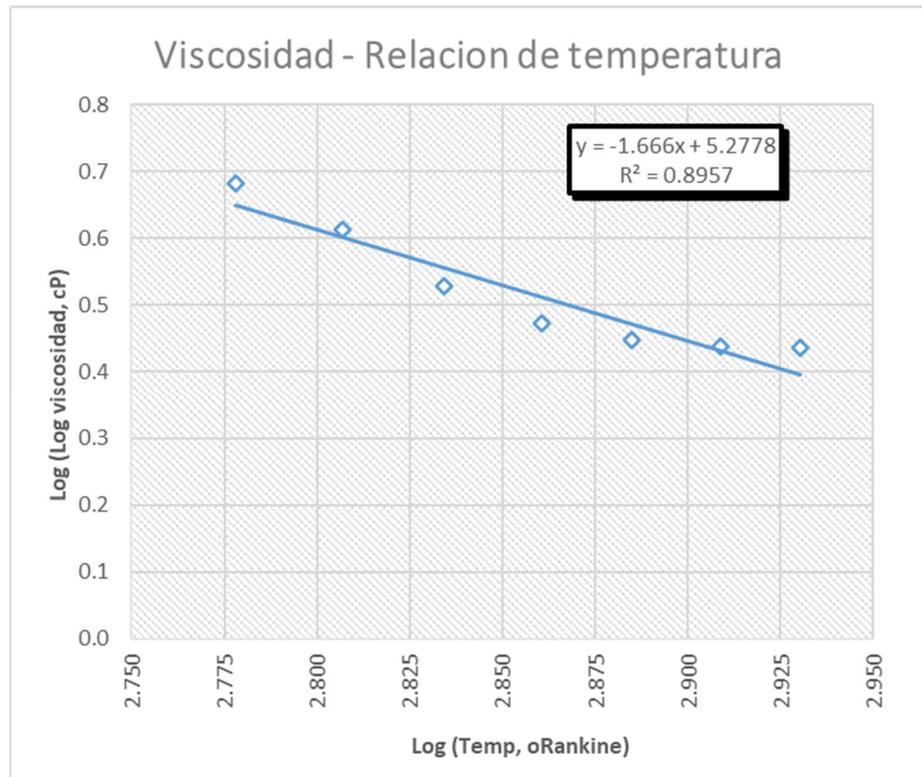


Figura 24: Susceptibilidad térmica del cemento asfáltico PEN 85-100

Fuente: Elaboración propia

#### **Cemento Asfáltico PEN 85-100 + 5% guinda**

Para analizar la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 modificado con un 5% de guinda en relación al peso del cemento asfáltico, se seleccionaron 7 temperaturas de análisis en grados Rankine. El análisis comenzó a partir de una temperatura mínima de 2.78° Rankine, ya que esta es la temperatura más baja que puede manejar el viscosímetro rotacional Brookfield. Además, se estableció una temperatura máxima de evaluación de 2.89° Rankine, que es el punto máximo antes de llegar a la descomposición abrasiva del asfalto modificado. En comparación con la temperatura máxima del asfalto sin modificar, se observó una disminución en esta temperatura máxima de ensayo. Entre estas temperaturas mínima y máxima seleccionadas para el análisis de la susceptibilidad térmica del ligante asfáltico, se tomaron 5 puntos adicionales para crear una progresión en los puntos de análisis.

Para cada una de las temperaturas asignadas, se registraron las viscosidades correspondientes, calculadas a partir del análisis VTS. La figura 25 muestra

la relación entre la temperatura y los resultados del ensayo realizado con el ligante asfáltico PEN 85-100 modificado con un 5% de guinda. En esta relación, se observa una tendencia negativa, lo que indica que a medida que la temperatura de ensayo en grados Rankine aumenta, la viscosidad en escala logarítmica (cP) tiende a disminuir. Se encontró que, en comparación con el asfalto sin modificar, las viscosidades aumentan ligeramente a medida que aumenta la temperatura de ensayo.

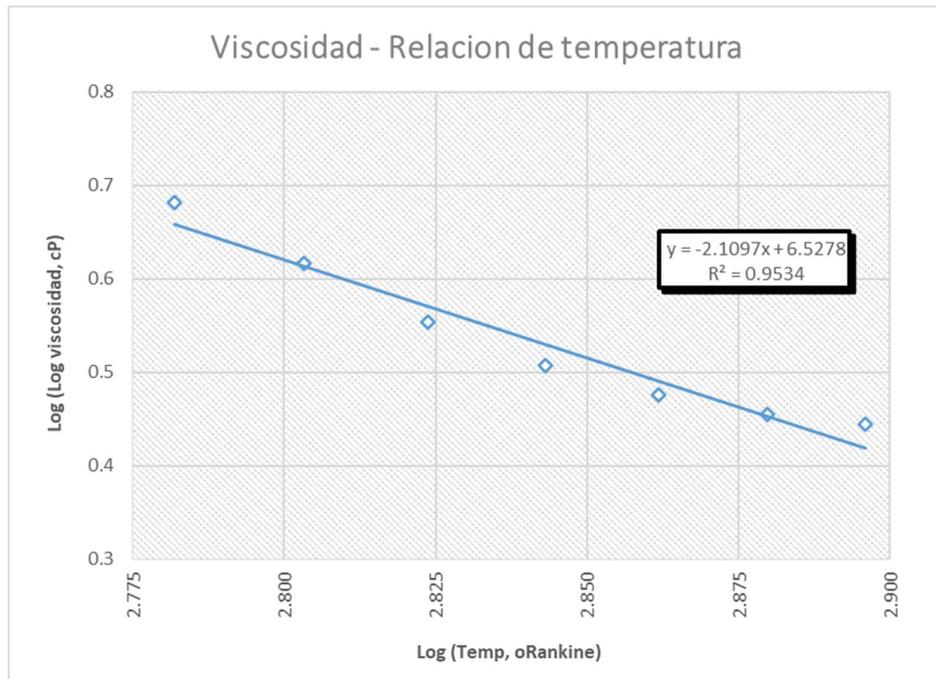


Figura 25: Susceptibilidad térmica del cemento asfáltico PEN 85-100 con adición de 5% guinda

Fuente: Elaboración propia

### Cemento Asfáltico PEN 85-100 + 10% guinda

Para analizar la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 modificado con un 10% de guinda en relación al peso del cemento asfáltico, se seleccionaron 7 temperaturas de análisis en grados Rankine. El análisis comenzó a partir de una temperatura mínima de 2.78° Rankine, ya que esta es la temperatura más baja que puede manejar el viscosímetro rotacional Brookfield. Además, se estableció una temperatura máxima de evaluación de 2.89° Rankine, que es el punto máximo antes de llegar a la descomposición abrasiva del asfalto modificado. En comparación con la temperatura máxima

del asfalto sin modificar, se observó una disminución en esta temperatura máxima de ensayo. Entre estas temperaturas mínima y máxima seleccionadas para el análisis de la susceptibilidad térmica del ligante asfáltico, se tomaron 5 puntos adicionales para crear una progresión en los puntos de análisis.

Para cada una de las temperaturas asignadas, se registraron las viscosidades correspondientes, calculadas a partir del análisis VTS. La figura 26 muestra la relación entre la temperatura y los resultados del ensayo realizado con el ligante asfáltico PEN 85-100 modificado con un 10% de guinda. En esta relación, se observa una tendencia negativa, lo que indica que a medida que la temperatura de ensayo en grados Rankine aumenta, la viscosidad en escala logarítmica (cP) tiende a disminuir. Se encontró que, en comparación con el asfalto sin modificar, las viscosidades aumentan ligeramente a medida que aumenta la temperatura de ensayo.

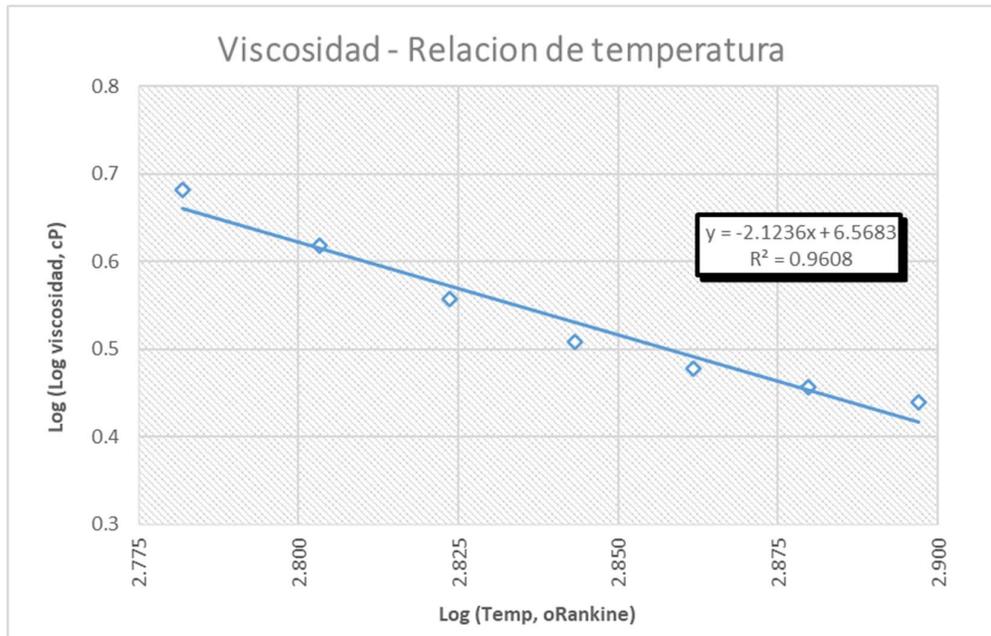


Figura 26: Susceptibilidad térmica del cemento asfáltico PEN 85-100 con adición de 10% guinda

Fuente: Elaboración propia

### Cemento Asfáltico PEN 85-100 + 15% guinda

Para analizar la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 modificado con un 15% de guinda en relación al peso del cemento asfáltico, se seleccionaron 7 temperaturas de análisis en grados Rankine. El análisis comenzó a partir de

una temperatura mínima de 2.78° Rankine, que es la temperatura más baja que el viscosímetro rotacional Brookfield puede manejar. Además, se estableció una temperatura máxima de evaluación de 2.90° Rankine, que es el punto máximo antes de alcanzar el umbral de descomposición abrasiva del asfalto modificado, se evidenció una reducción en la temperatura máxima de ensayo en comparación con el asfalto sin modificar.

La figura 27 muestra la relación entre la temperatura y los resultados del ensayo realizado con el ligante asfáltico PEN 85-100 modificado con un 15% de guinda. En esta relación, se observa una tendencia negativa más pronunciada en comparación con la prueba anterior. Esto indica que a medida que la temperatura de ensayo en grados Rankine aumenta, la viscosidad en escala logarítmica (cP) tiende a disminuir. Se encontró que, en comparación con el asfalto sin modificar, las viscosidades aumentan ligeramente a temperaturas más bajas y disminuyen a temperaturas más altas de ensayo.

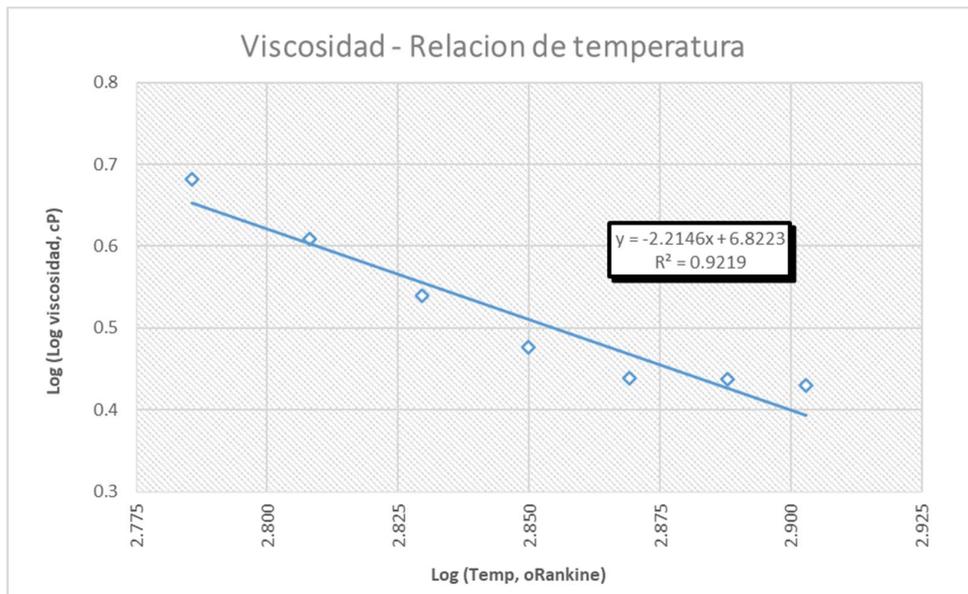


Figura 27: Susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con adición de 15% guinda

Fuente: Elaboración propia

**Cemento Asfáltico PEN 85-100 + 20% guinda**

Para llevar a cabo el análisis de la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 modificado con un 20% de guinda en relación al peso del cemento asfáltico, se designaron 7 temperaturas de análisis en grados Rankine. El inicio

de este análisis se estableció a partir de una temperatura mínima de 2.79° Rankine, que corresponde a la temperatura más baja aceptable para el viscosímetro rotacional Brookfield. Además, se definió una temperatura máxima de evaluación de 2.88° Rankine, que es el punto más alto antes de alcanzar el punto de descomposición abrasiva del asfalto modificado. En contraste con la temperatura máxima de ensayo del asfalto no alterado, se registró una disminución en dicha temperatura máxima de ensayo.

La figura 28 muestra la relación entre la temperatura y los resultados del ensayo realizado con el ligante asfáltico PEN 85-100 modificado con un 20% de guinda. En esta representación, se aprecia una tendencia negativa un tanto más acentuada en comparación con la prueba anterior. Esto indica que, a medida que la temperatura de ensayo en grados Rankine aumenta, la viscosidad en escala logarítmica (cP) tiende a disminuir. Se notó que, al contrastar con el asfalto sin alteraciones, las viscosidades experimentan un leve incremento a temperaturas más bajas y una reducción a temperaturas más elevadas durante las pruebas.

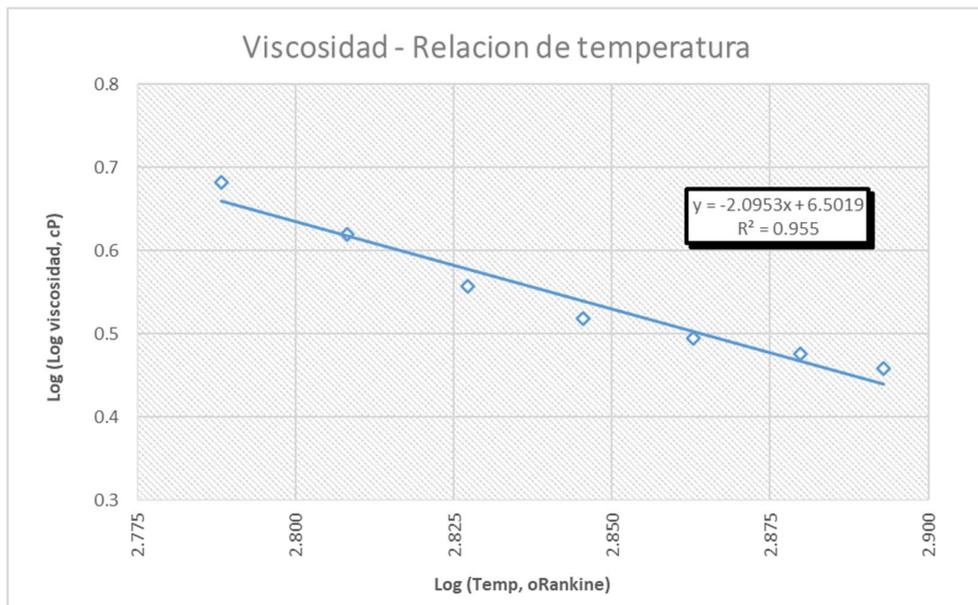


Figura 28: Susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con adición de 20% guinda

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.1.3. Propiedades Mecánicas

##### Procedimiento

En primer lugar, obtenemos nuestro agregado chancado, agregado zarandeado, piedras de 1/2, filler, guinda pulverizada y asfalto PEN 85-100, que son nuestros ingredientes principales para elaborar el ensayo de Marshall, para lo cual, empezaremos haciendo los análisis granulométricos para cada tipo de material a utilizar.

Después de la granulometría continuamos con la combinación de materiales para determinar los porcentajes y pesos de materiales que vamos a utilizar en la elaboración de una briqueta de 1250 gr. Que nos permitirá estudiar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente.

Para la elaboración de la briquetas, empezaremos con el pesado de los agregados y filler, con una balanza de precisión, para después llevar al horno para secarla y calentarla a una temperatura menor de 160°C y después mezclar el agregado con el asfalto PEN 85-100 a una temperatura de 150°C a 160°C y también añadir el porcentaje de la guindas pulverizada en sus diferentes porcentajes y con ayuda de un cucharón mezclamos el asfalto con los agregados manualmente hasta obtener una muestra de color homogénea.

Continuamos con la compactación de la mezcla asfáltica donde colocamos en el molde de metal con una placa de base, el collarín y ponemos el papel filtro en la base del molde para añadir la mezcla asfáltica y chuseamos con 25 golpes la mezcla con una varilla y adicionamos el papel filtro en la cara superior del molde, seguidamente compactamos la mezcla asfáltica con 75 golpes por ambas caras de la briqueta, retiramos el molde para dejarlo enfriar y después desencoformamos la briqueta del molde con la gata hidráulica y así poder codificarla.

Para determinar las propiedades mecánicas de las briquetas desencoformadas y codificadas sumergimos las briquetas en baño María a 60°C durante 30 minutos, terminada la hora sacamos la briqueta, la secamos para llevarla a la mordaza de la prensa Marshall para determinar su estabilidad y su fluencia.

### **Ensayo de peso específico**

Para hallar el peso específico de estas briquetas iniciamos pesando cada una de las briquetas analizadas lo cual es el peso seco, el segundo peso lo hallamos sumergiendo las briquetas en agua durante un tiempo de 10 minutos para saturar las briquetas, y sobre una casilla sumergida obtenemos el segundo peso saturado, por último, pesamos la briqueta superficialmente seca, lo cual consiste en retirar del agua la briqueta y secarla superficialmente.

### **Porcentaje de combinación para mezcla de agregado por MAC 2**

Después de haber llevado a cabo el análisis granulométrico del agregado natural, chancado y el filler, realizamos la combinación del mismo teniendo como resultado la tabla 14 en donde se puede observar las especificaciones MAC 2., obteniendo 30% de piedra de  $\frac{1}{2}$ , 36% de arena natural, 33% de arena chancada y el 1% del filler.

El cemento portland se está utilizando como material filler ya que este cumple con las especificaciones técnicas requeridos para la combinación de nuestro diseño asfáltico. Los materiales utilizados en este diseño muestran porcentajes bajos de materiales finos por lo que se vuelve indispensable adicionar un porcentaje de filler.

Tabla 14: *Proporción de mezcla para la combinación de agregados según la clasificación*

MAC 2

<b>Malla</b>		<b>Porcentajes pasantes (%)</b>				
<b>Tamiz</b>	<b>mm.</b>	<b>PIEDRAS</b>		<b>ARENAS</b>		
<b>Agregados</b>		<i>pedra 1/2"</i> <b>CRUSHING</b>	<b>Arena</b> <b>Procesada</b> <b>La Gloria</b>	<b>Arena</b> <b>Chancada</b> <b>Crushing</b>	<b>filler</b>	<b>MEZCLA</b>
<b>Proporciones</b>		<b>1/2"</b>	<b>NATURAL</b>	<b>CHANCADA</b>	<b>filler</b>	<b>100.0%</b>
		<b>30.0%</b>	<b>36.0%</b>	<b>33.0%</b>	<b>1.0%</b>	
1"	25.400	100.0	100.0	100.0	100.0	
3/4"	19.050	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	12.700	68.1	100.0	100.0	100.0	90.4
3/8"	9.525	41.6	100.0	100.0	100.0	82.5
Nº 4	4.760	4.2	79.9	91.1	100.0	61.1
Nº 8	2.360	2.5	67.4	71.3	100.0	49.6
Nº 10	2.000	1.2	59.0	69.5	100.0	45.5
Nº 16	1.180	0.8	49.8	47.4	100.0	34.8
Nº 30	0.600	0.5	33.0	39.6	100.0	26.1
Nº 40	0.420	0.4	28.2	35.9	100.0	23.1
Nº 50	0.300	0.4	15.4	26.3	100.0	15.3
Nº 80	0.180	0.3	12.7	21.1	100.0	12.6
Nº 100	0.150	0.2	10.3	15.6	100.0	9.9
Nº 200	0.074	0.2	7.2	10.0	100.0	7.0
pasa		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: Elaboración propia

Tenemos un agregado de tamaño máximo nominal de 1/2" donde utilizamos una mezcla de los agregados mencionados obteniendo los parámetros de las especificaciones por la gradación MAC 2 encontrando bajos porcentajes en los materiales finos, pero cumpliendo con los rangos establecidos Tabla 15

Tabla 15: *Curva granulométrica de la combinación de agregados establecidos por el MAC 2*

Malla		Porcentajes pasantes (%)	Especificaciones	Observaciones	
Tamiz	mm.				
Agregados		MEZCLA	MAC - 2	Tamaño máximo	1/2"
Proporciones		100.0%	MTC	Curva Ideal	diferencia
1"	25.400				
3/4"	19.050	100.0	100-100	100.0	100.0
1/2"	12.700	90.4	80-100	90.0	90.4
3/8"	9.525	82.5	70-88	79.0	82.5
Nº 4	4.760	61.1	51-68	58.0	61.1
Nº 8	2.360	49.6			49.6
Nº 10	2.000	45.5	38-52	45.0	45.5
Nº 16	1.180	34.8			
Nº 30	0.600	26.1			26.1
Nº 40	0.420	23.1	17-28	22.5	23.1
Nº 50	0.300	15.3			15.3
Nº 80	0.180	12.6	8-17	12.5	12.6
Nº 100	0.150	9.9			9.9
Nº 200	0.074	7.0	4-8	6.0	7.0
pasa		0.0			0.0

Fuente: Elaboración propia

Con los datos obtenidos de los análisis granulométricos de la tabla 9 y la combinación de la mezcla de la tabla 15, continuamos para graficar la curva granulométrica cumpliendo con los parámetros establecidos por el MAC 2, donde la figura 29 muestra las líneas negras así como

también los parámetros de la curva granulométrica debiéndose cumplir, ahora bien la línea roja representa la curva ideal que deben cumplir nuestros materiales usados, la línea azul representa la curva de los materiales usados en la combinación de la mezcla a usar cumpliendo con lo establecido en la MAC 2.

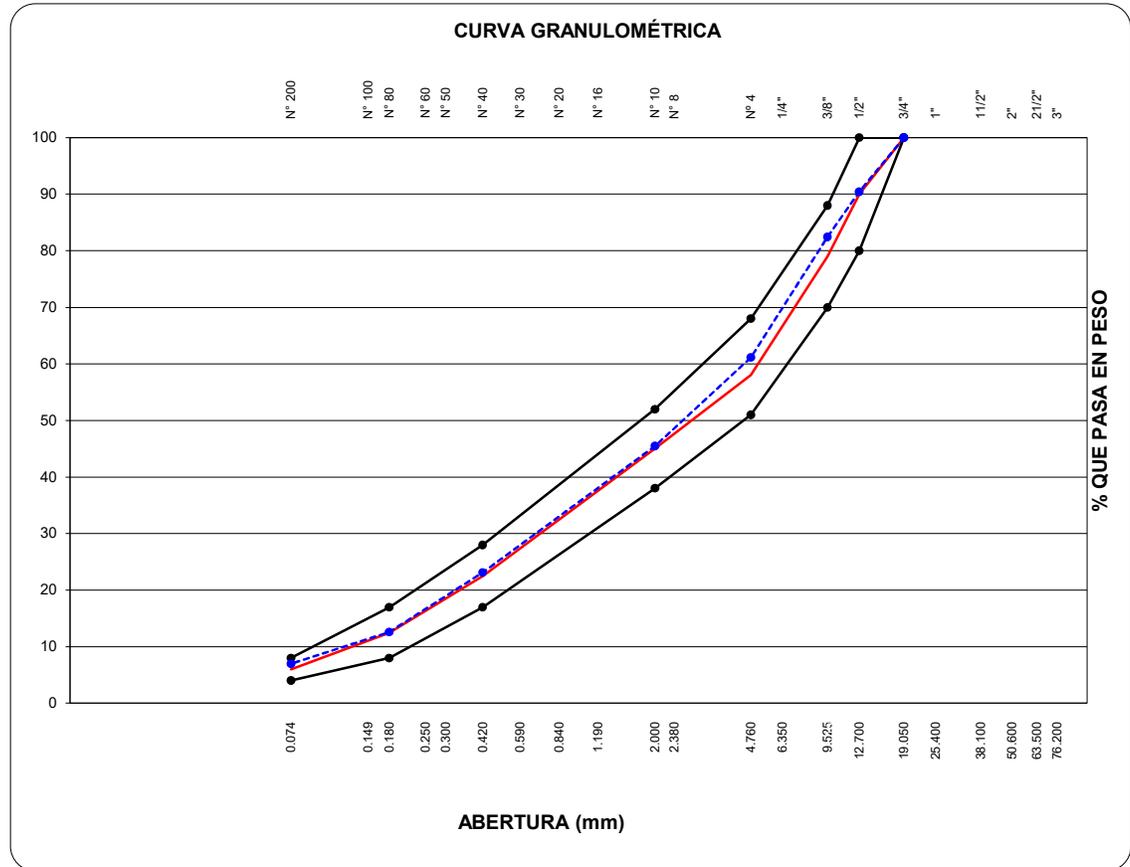


Figura 29: Curva de distribución de tamaños obtenido

Fuente: Elaboración propia

Después de contar con los resultados de la combinación de los agregados utilizados; piedras de 1/2", arena chancada, arena natural, y filler cemento portland presentamos la tabla 16 que muestra los pesos de los materiales por cada malla según las especificaciones de la normativa Marshall, para formar las briquetas de 1250 gr. de peso, juntamente con el cemento asfáltico PEN 85-100, utilizando en diferentes porcentajes desde el 4%, 4.5%, 5%, 6%, 6.5%. y diferentes pesos de los agregados por cada porcentaje de asfalto empleado.

Tabla 16: Pesos para cada tamiz en el ensayo Marshall

Mat	% Asfalto	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50
	<b>Malla</b>						
filler	1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	# 4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	# 10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	< #10	12.0	11.9	11.9	11.8	11.8	11.7
	SUB TOTAL	<b>12.0</b>	<b>11.9</b>	<b>11.88</b>	<b>11.8</b>	<b>11.8</b>	<b>11.7</b>
Arena Chancada Crushing	1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	# 4	35.1	34.9	34.7	34.5	34.3	34.1
	# 10	85.7	85.2	84.8	84.4	83.9	83.5
	< #10	275.2	273.8	272.4	270.9	269.5	268.1
	SUB TOTAL	<b>396.0</b>	<b>393.9</b>	<b>391.9</b>	<b>389.8</b>	<b>387.8</b>	<b>385.7</b>
Arena Procesada	3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	# 4	86.8	86.3	85.9	85.4	85.0	84.5
	# 10	90.5	90.0	89.5	89.1	88.6	88.1
	< #10	254.7	253.4	252.1	250.8	249.4	248.1
SUB TOTAL	<b>432.0</b>	<b>429.8</b>	<b>427.5</b>	<b>425.3</b>	<b>423.0</b>	<b>420.8</b>	
piedra 1/2" CRUSHING	3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1/2"	114.8	114.2	113.6	113.0	112.4	111.8
	3/8"	95.5	95.0	94.5	94.0	93.5	93.0
	# 4	134.4	133.7	133.0	132.3	131.6	130.9
	# 10	6.3	6.3	6.2	6.2	6.2	6.1
	< #10	9.0	8.9	8.9	8.8	8.8	8.7
SUB TOTAL	<b>360.0</b>	<b>358.1</b>	<b>356.3</b>	<b>354.4</b>	<b>352.5</b>	<b>350.6</b>	
piedra 3/4" CRUSHING	3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1/2"	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3/8"	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	# 4	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	# 10	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	< #10	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SUB TOTAL	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	
		1200.0	1193.8	1187.5	1181.3	1175.0	1168.8
<b>PEN 85 - 100</b>		50.0	56.3	62.5	68.8	75.0	81.3
<b>QUIMIBOND</b>		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>TOTAL MUESTRA</b>		<b>1250.0</b>	<b>1250.0</b>	<b>1250.0</b>	<b>1250.0</b>	<b>1250.0</b>	<b>1250.0</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17: Datos de la Estabilidad, flujo y vacíos del Ensayo Marshall

<b>CEMENTO ASFALTICO</b>	<b>%</b>	<b>4.00</b>	<b>4.50</b>	<b>5.00</b>	<b>5.50</b>	<b>6.00</b>	<b>6.50</b>
<b>VACIOS</b>	<b>%</b>	6.79	5.41	4.89	4.09	3.10	2.46
<b>FLUJO</b>	<b>mm</b>	1.50	2.00	2.00	2.45	3.35	4.68
<b>ESTABILIDAD</b>	<b>kg</b>	968.10	1363.70	1460.13	1287.90	954.43	761.40

Fuente: Elaboración propia

En la figura 30 se presenta el vacío de cada una de las briquetas ensayadas y su unidad de medida en (%) obtenido en el ensayo de los pesos, los cuales vienen a ser, peso seco, peso sumergido y peso parcialmente seco, los datos presentan que el porcentaje de asfalto de 4%, 4.5 y 6.5%, están fuera del rango y el 5%, 5.5% y 6% están dentro del rango establecido por la normatividad Marshall, donde 3% es el límite inferior y 5% es el límite superior según lo que indica la normatividad.

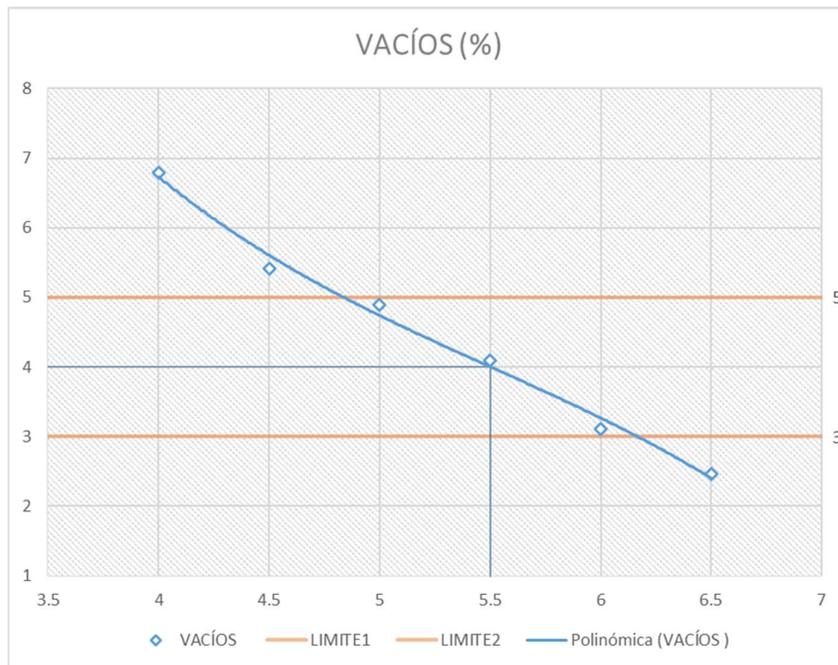


Figura 30: Porcentaje de porosidad del asfalto PEN 85-100 a diferentes concentraciones de cemento asfáltico

Fuente: Elaboración propia

La figura 31 presenta el flujo de cada una de las briquetas ensayadas y su unidad de medida es el (mm) obtenido en el ensayo de la prensa Marshall mediante el dial de flujo, los datos presentan que el 4% y 6.5%, están fuera del rango y el 4.5% a 5.5% están dentro del rango

establecido por la normatividad Marshall, donde 2mm es el límite inferior y 3.5 es el límite superior según lo que indica la normatividad.

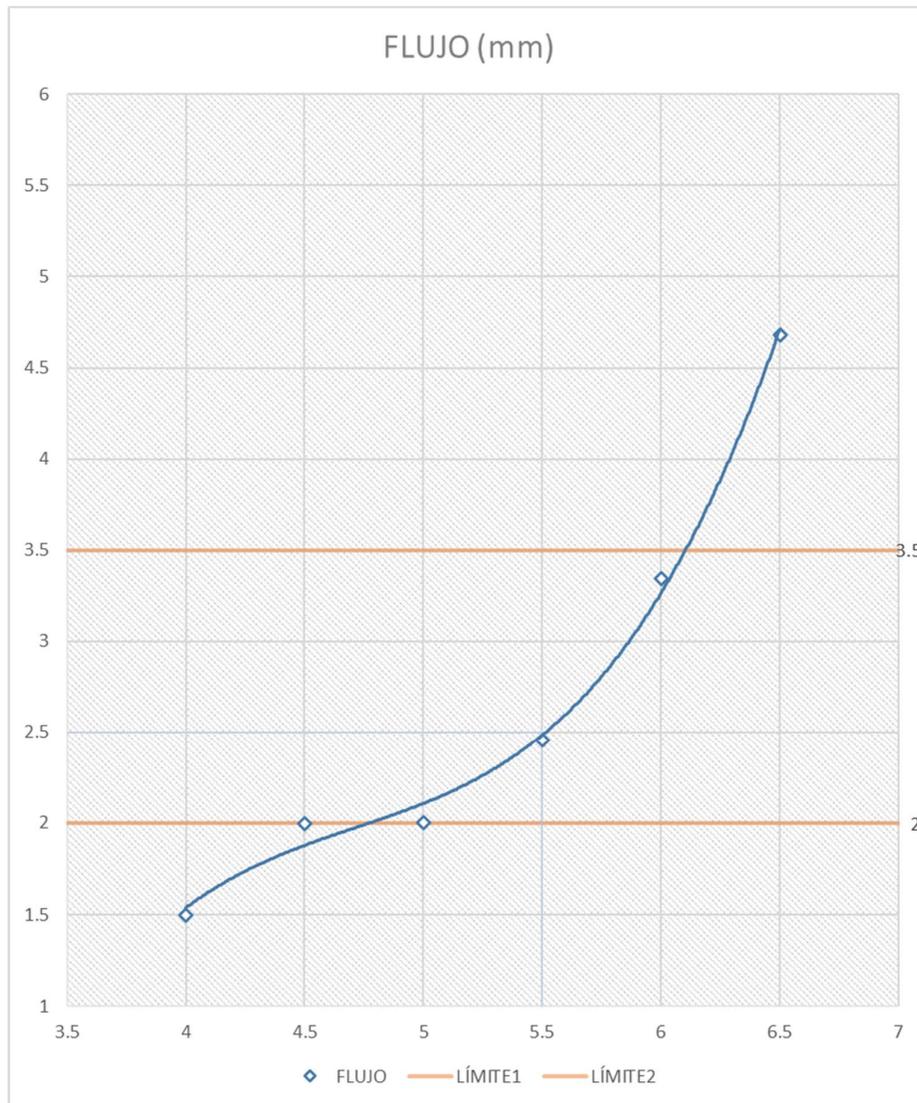


Figura 31:Flujo (mm) de la mezcla asfáltica obtenido a distintos porcentajes del cemento asfáltico PEN 85-100

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos después de la roturación de las briquetas con la prensa Marshall se presenta en la figura 32. Obtenemos la estabilidad o resistencia en kilogramos de cada uno de los porcentajes ensayados, asimismo presenta, la resistencia más alta el 5% de asfalto, 4%, 4.5% tienen resistencias bajas, al igual que los 6%, y 6.5% tienen bajas resistencia, pero cumpliendo

los porcentajes de 4% hasta 6% con la normativa Marshall de 830 kg. Como estabilidad mínima para alto tráfico, y por debajo de lo indicado por la normativa el de 6.5%.

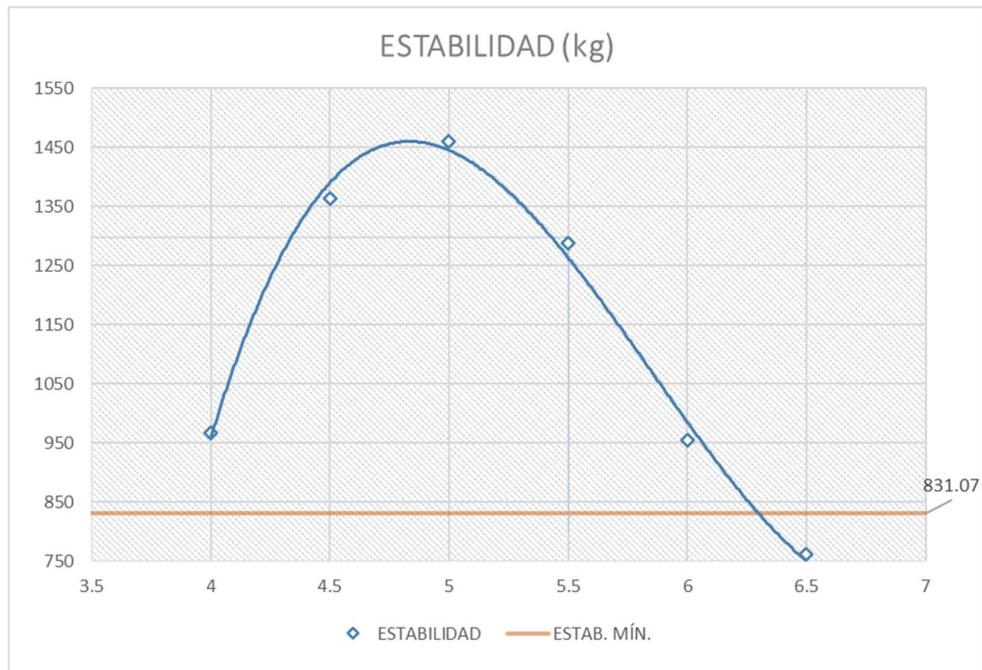


Figura 32: Estabilidad (kg) de la mezcla asfáltica a distintos porcentajes del cemento asfáltico PEN 85-100

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2. Resumen del ensayo de Viscosidad:

La figura 33 ilustra las curvas resultantes del ensayo de viscosidad en función de los diferentes porcentajes de adición de guinda pulverizada con respecto al peso del ligante asfáltico. Se puede apreciar que, en los casos de adición del 5%, 10% y 15% de guinda pulverizada, la viscosidad disminuye en comparación con la viscosidad del cemento asfáltico sin modificar. Esto indica que en estas proporciones se evidencia el efecto antioxidante de la guinda. Por otro lado, con una adición del 20% de guinda pulverizada, la viscosidad aumenta, lo que sugiere un incremento en la rigidez de la mezcla. Este aumento se debe a que la configuración de la mezcla con el agente modificador no logra completarse por completo, y como resultado, la cohesión del asfalto aumenta debido a un contenido excesivamente elevado de guinda pulverizada. También se observa que a temperaturas altas todos los porcentajes de adición de guinda llegan a temperatura de mezcla.

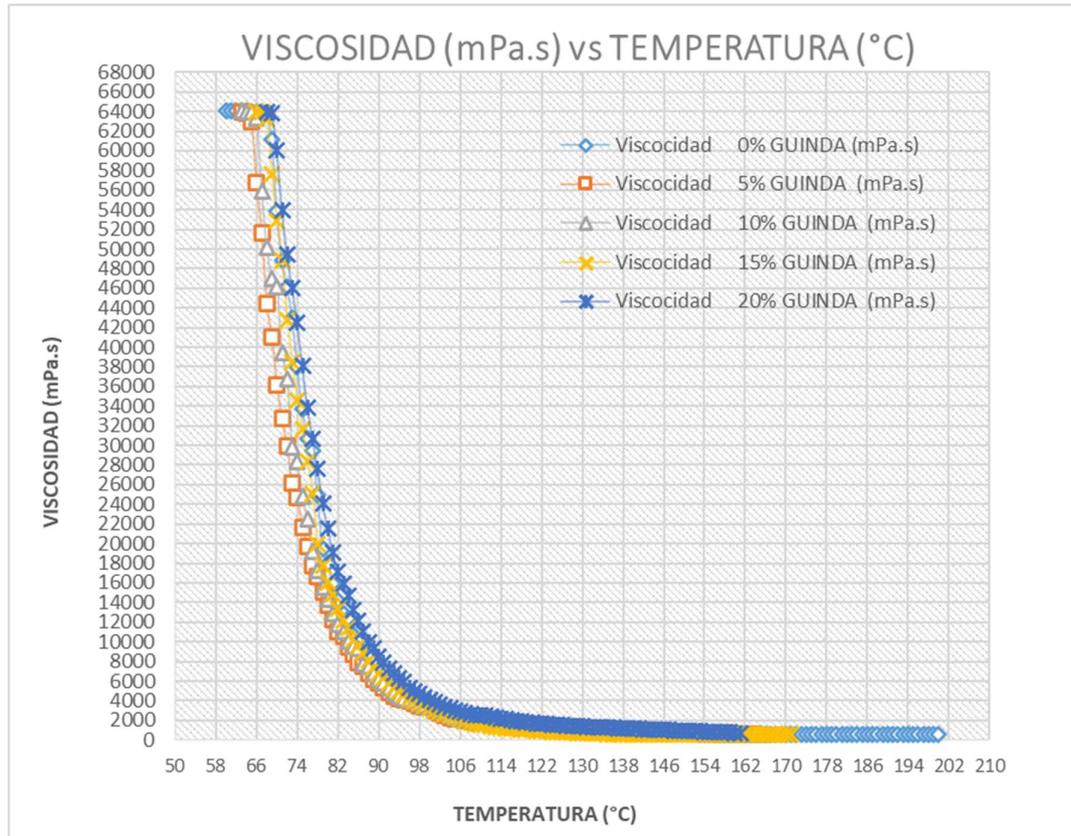


Figura 33: Síntesis del análisis de la viscosidad del asfalto PEN 85-100 con la adición de 5%, 10%, 15% y 20% de guinda

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3. Resumen de la Susceptibilidad térmica

La figura 34 nos proporciona información sobre la susceptibilidad térmica en función de la adición de guinda pulverizada en porcentajes del 5%, 10% y 20% en función al peso del ligante asfáltico. Se observa que estos porcentajes de adición mantienen una susceptibilidad térmica en niveles comparables entre sí, en contraste con la adición del 15% de guinda pulverizada, que resulta en un aumento drástico de la susceptibilidad térmica. Este incremento drástico hace que el ligante asfáltico modificado sea inestable. Por lo tanto, se concluye que los porcentajes de adición de guinda pulverizada que presentan un mejor comportamiento son del 5% al 10% con respecto al peso del asfalto PEN 85-100, ya que muestran un comportamiento similar al del asfalto original.

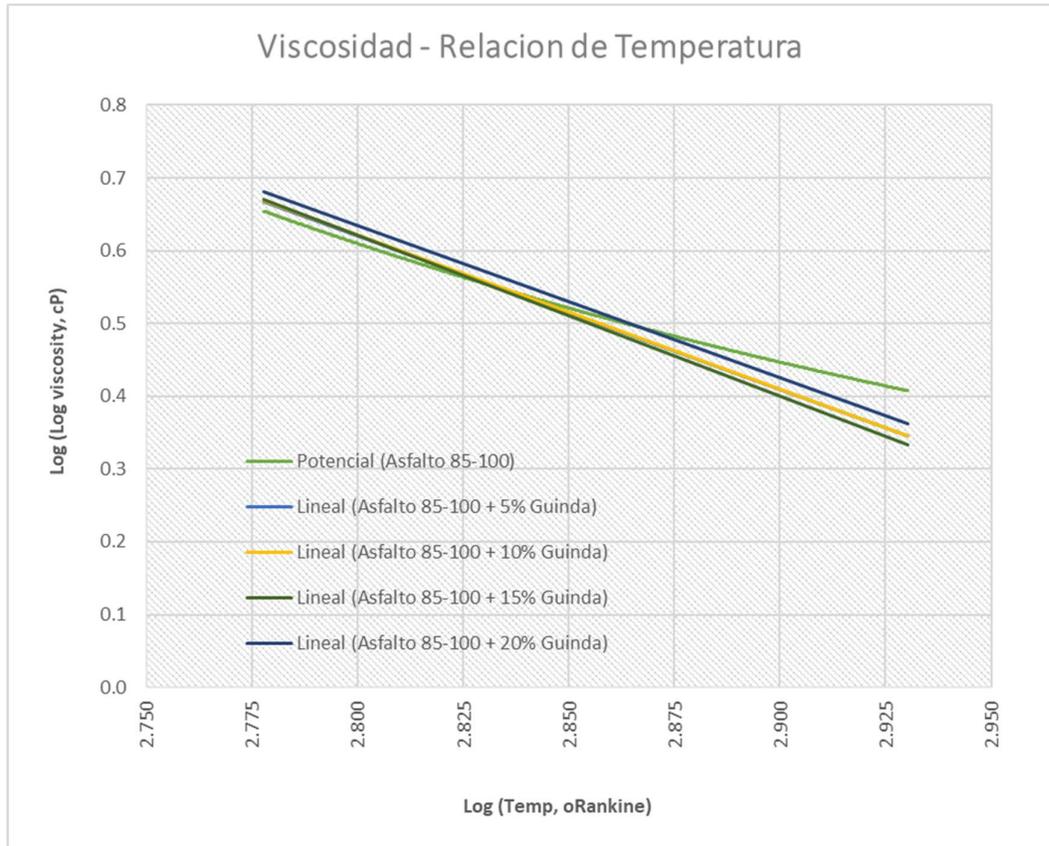


Figura 34: Síntesis de la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con la adición de 5%, 10%, 15% y 20% de guinda.

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.4. Resumen del ensayo de propiedades mecánicas

La figura 35 muestra la estabilidad de cada briqueta ensayada con el asfalto modificado con guinda pulverizada siendo un material orgánico consiguiendo el comportamiento de la estabilidad teniendo una tendencia de campana mostrando la mayor estabilidad en el 10% de asfalto modificado con guinda de 1580 kg. de estabilidad promedio, teniendo 0%, 5%, 15%, y 20% la estabilidad más baja, pero cumpliendo todos los ensayos con la norma Marshall, de una estabilidad superior a los 830kg.f. como límite mínimo para alto tránsito.

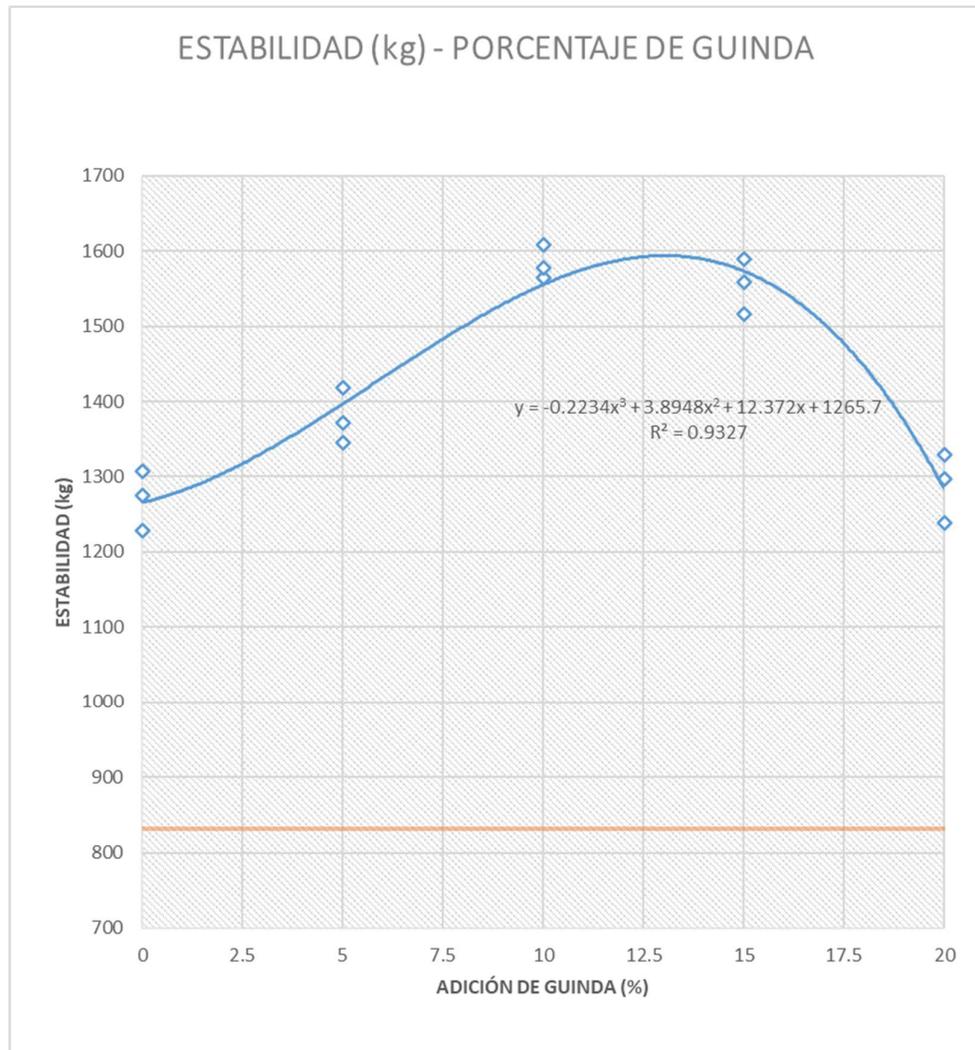


Figura 35: Estabilidad (kg) del asfalto pen 85-100 en función del porcentaje de guinda pulverizada añadida

Fuente: Elaboración propia

En la figura 36 se observan los puntos que representan los ensayos realizados del asfalto modificado con guinda pulverizada en diferentes porcentajes con variación del 5%, se presenta el comportamiento del flujo ascendente, según sea mayor la adición de la guinda mayor es la fluencia de la mezcla asfáltica hasta llegar al 15% como rango máximo, cuando supera este porcentaje en adición de guinda pulverizada al asfalto, tiene una tendencia negativa. También se puede observar que todos los porcentajes de adición de guinda están dentro de las limitaciones máximas y mínimas de acuerdo a la norma.

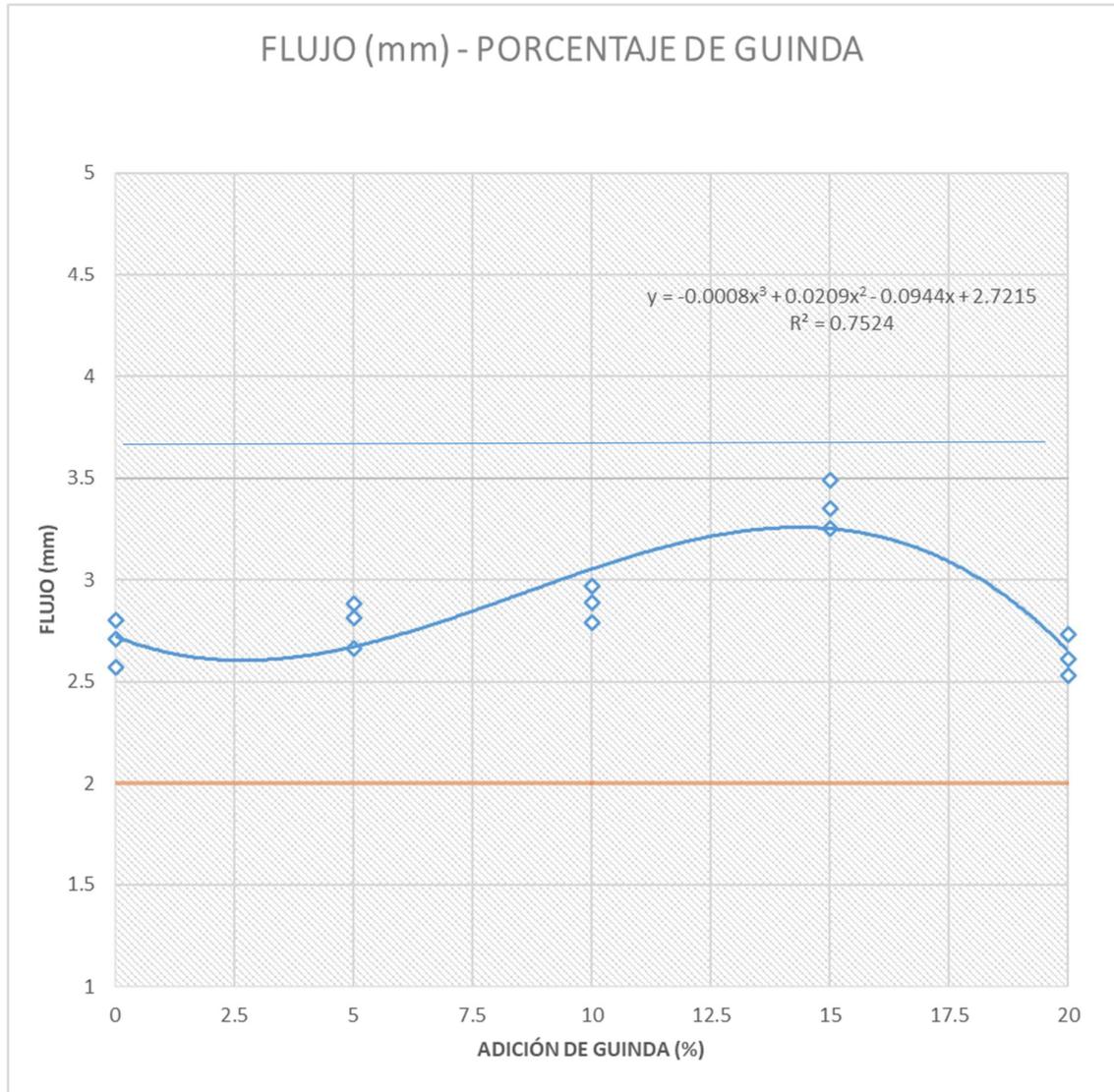


Figura 36:Flujo (mm) del asfalto PEN 85-100 en función del porcentaje de guinda pulverizada añadida.

Fuente: Elaboración propia

La mezcla asfáltica modificada con guinda presenta los pesos de cada briqueta en la figura 37. Tienen una tendencia positiva con la adición de los porcentajes de la guinda desde 0% hasta 20% cada 5% de incremento de asfalto con guinda. Cumpliendo cada uno de los porcentajes utilizados dentro de la normatividad del ensayo Marshall dentro de los rangos de 3% como mínimo y 5 % como máximo.

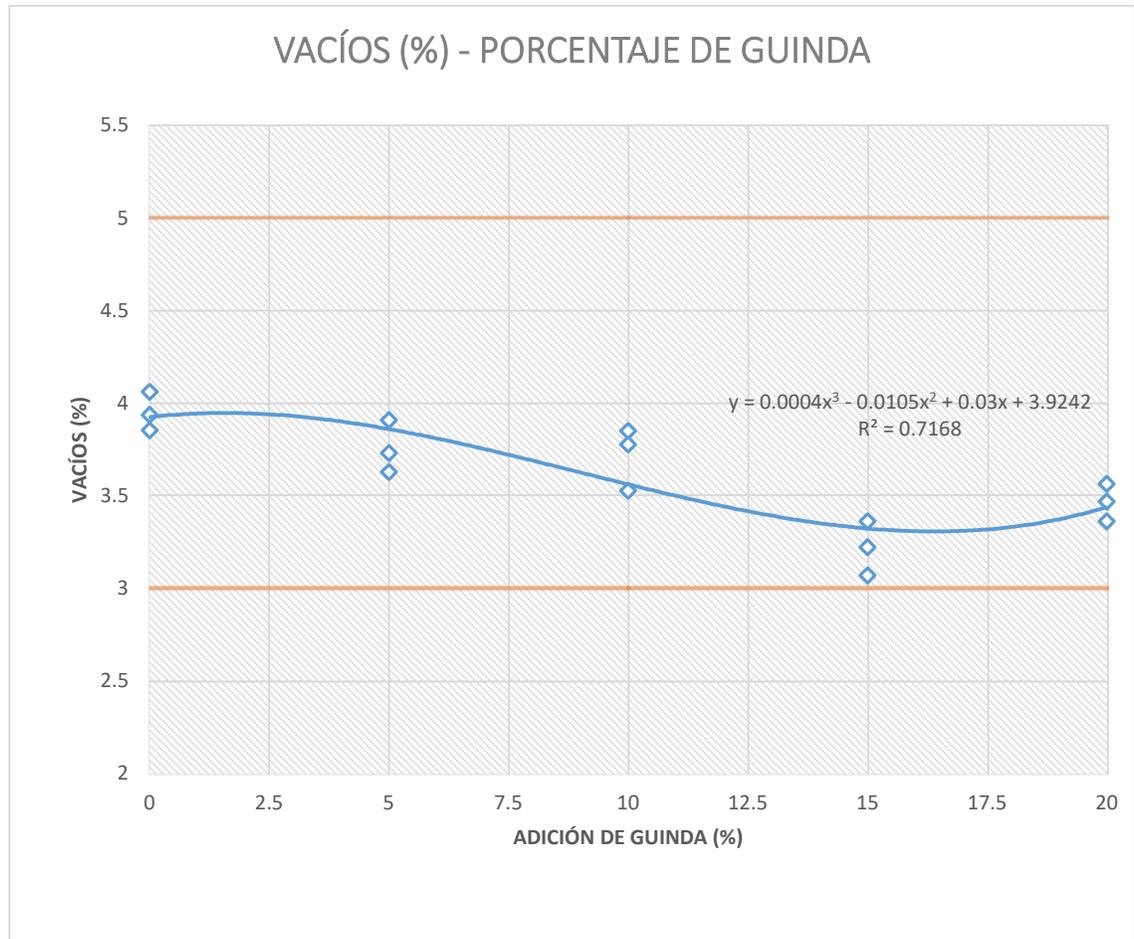


Figura 37: Flujo (%) del asfalto PEN 85-100 en función del porcentaje de guinda pulverizada añadido

Fuente: Elaboración propia

## 4.2. Prueba de Hipótesis

### 4.2.1. Ensayo de Viscosidad

**Viscosidad del asfalto PEN 85-100 con 0% de Adición de guinda y Viscosidad del asfalto PEN 85-100 con 5% de Adición de guinda**

#### a) Pruebas de normalidad

En la siguiente tabla 18, se muestra los resultados de la prueba de normalidad para datos relacionados, en este caso la viscosidad del asfalto original con la adición de 5% de guinda donde se somete a prueba:

Ho: Los datos de viscosidad provienen de una distribución normal.

H1: Los datos de viscosidad no provienen de una distribución normal.

Tabla 18: Prueba de normalidad de la viscosidad del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 5% de adición de guinda.

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Diferencia	,353	116	,000	,493	116	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración Propia

Encontrando una base de datos no paramétrica al encontrar significancias menores a 0.05, donde se rechaza la hipótesis nula, interpretando que los datos de viscosidad no provienen de una distribución normal.

### b) Diferencia Significativa

A partir de una distribución de datos no normal para la viscosidad del asfalto PEN 85-100 se analiza la significancia de dos muestras relacionadas con la Prueba de Wilcoxon, donde:

Ho: No existe diferencia significativa de la viscosidad del asfalto debido a la adición el 5% de guinda.

H1: Existe diferencia significativa de la viscosidad del asfalto debido a la adición el 5% de guinda.

Tabla 19: Análisis de significancia de la viscosidad del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 5% de adición de guinda.

Estadísticos de prueba <sup>a</sup>	
	ADICION 5% - ADICION 0%
Z	-3,287 <sup>b</sup>
Sig. asintótica(bilateral)	,001

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

b. Se basa en rangos positivos.

Fuente: Elaboración Propia

Se encuentra un valor de  $W = 0.001$  siendo menor al 5%, por lo que se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se concluye que existe diferencia significativa de la viscosidad del asfalto debido a la adición el 5% de guinda.

**Viscosidad del asfalto PEN 85-100 con 0% de Adición de guinda y Viscosidad del asfalto PEN 85-100 con 10% de Adición de guinda**

**a) Pruebas de normalidad**

En la siguiente tabla 20, se muestra los resultados de la prueba de normalidad para datos relacionados, en este caso la viscosidad del asfalto original con la Adición del 10% de guinda, donde se somete a prueba:

Ho: Los datos de viscosidad provienen de una distribución normal.

H1: Los datos de viscosidad no provienen de una distribución normal.

Para una confiabilidad del análisis estadístico al 95% de nivel de confianza.

Tabla 20: *Prueba de normalidad de la viscosidad del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 10 % de adición de guinda.*

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DIFERENCIA	,367	116	,000	,498	116	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración Propia

Encontrando una base de datos no paramétrica al hallar significancias menores a 0.05, donde se rechaza la hipótesis nula, interpretando que los datos de viscosidad no provienen de una distribución normal para los datos de viscosidad modificada a un 10% de adición de guinda pulverizada.

**b) Diferencia Significativa**

A partir de una distribución de datos no normal para la viscosidad del asfalto PEN 85-100 se analiza la significancia de dos muestras relacionadas con la Prueba de Wilcoxon, donde:

Ho: No existe diferencia significativa de la viscosidad del asfalto debido a la adición el 10% de guinda.

H1: Existe diferencia significativa de la viscosidad del asfalto debido a la adición el 10% de guinda.

Tabla 21: *Análisis de significancia de la viscosidad del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 10 % de adición de guinda.*

**Estadísticos de prueba<sup>a</sup>**

	ADICION 10% - ADICION 0%
Z	-1,678 <sup>b</sup>
Sig. asintótica(bilateral)	,093

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

b. Se basa en rangos positivos.

Fuente: Elaboración Propia

Se encuentra un valor de  $W = 0.093$  siendo mayor al 5%, no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto, no se puede concluir que hay una diferencia significativa (de las medianas) de la viscosidad del asfalto debido a la adición el 10% de la guinda.

**Viscosidad del asfalto PEN 85-100 con 0% de Adición de guinda y Viscosidad del asfalto PEN 85-100 con 15% de Adición de guinda**

**a) Pruebas de normalidad**

En la siguiente tabla 22, se muestra los resultados de la prueba de normalidad para datos relacionados, en este caso la viscosidad del asfalto original con la adición del 15% de guinda, donde se somete a prueba:

Ho: Los datos de viscosidad provienen de una distribución normal.

H1: Los datos de viscosidad no provienen de una distribución normal.

Para una confiabilidad del análisis estadístico al 95% de nivel de confianza.

Tabla 22: *Prueba de normalidad de la viscosidad del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 15 % de adición de guinda.*

**Pruebas de normalidad**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DIFERENCIA	,353	116	,000	,474	116	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración Propia

Encontrando una base de datos no paramétrica al hallar significancias menores a 0.05, donde se rechaza la hipótesis nula, interpretando que los

datos de viscosidad no provienen de una distribución normal para los datos de viscosidad modificada a un 15% de adición de guinda pulverizada.

**b) Diferencia Significativa**

A partir de una distribución de datos no normal para la viscosidad del asfalto PEN 85-100 se analiza la significancia de dos muestras relacionadas con la Prueba de Wilcoxon, donde:

Ho: No existe diferencia significativa de la viscosidad del asfalto debido a la adición el 15% de guinda.

H1: Existe diferencia significativa de la viscosidad del asfalto debido a la adición el 15% de guinda.

Tabla 23: *Análisis de significancia de la viscosidad del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 15 % de adición de guinda.*

<b>Estadísticos de prueba<sup>a</sup></b>	
	ADICION 15% - ADICION 0%
Z	-9,186 <sup>b</sup>
Sig. asintótica(bilateral)	,000

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

b. Se basa en rangos positivos.

Fuente: Elaboración Propia

Se encuentra un valor de  $W = 0.000$  siendo menor al 5%, por lo que se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se concluye que existe diferencia significativa de la viscosidad del asfalto debido a la adición el 15% de guinda.

**Viscosidad del asfalto PEN 85-100 con 0% de Adición de guinda y Viscosidad del asfalto PEN 85-100 con 20% de Adición de guinda**

**a) Pruebas de normalidad**

En la siguiente tabla 24, se muestra los resultados de la prueba de normalidad para datos relacionados, en este caso la viscosidad del asfalto original con la adición del 20% de guinda, donde se somete a prueba:

Ho: Los datos de viscosidad provienen de una distribución normal.

H1: Los datos de viscosidad no provienen de una distribución normal.

Para una confiabilidad del análisis estadístico al 95% de nivel de confianza.

Tabla 24: Prueba de normalidad de la viscosidad del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 20% de adición de guinda.

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DIFERENCIA	,303	116	,000	,676	116	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración Propia

Encontrando una base de datos no paramétrica al encontrar significancias menores a 0.05, donde se rechaza la hipótesis nula, interpretando que los datos de viscosidad no provienen de una distribución normal para los datos de viscosidad modificada a un 20% de adición de guinda pulverizada.

#### b) Diferencia Significativa

A partir de una distribución de datos no normal para la viscosidad del asfalto PEN 85-100 se analiza la significancia de dos muestras relacionadas con la Prueba de Wilcoxon, donde:

Ho: No existe diferencia significativa de la viscosidad del asfalto debido a la adición el 20% de guinda.

H1: Existe diferencia significativa de la viscosidad del asfalto debido a la adición el 20% de guinda.

Tabla 25: Análisis de significancia de la viscosidad del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 20 % de adición de guinda.

Estadísticos de prueba <sup>a</sup>	
	ADICION 20% - ADICION 0%
Z	-9,218 <sup>b</sup>
Sig. asintótica(bilateral)	,000

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

b. Se basa en rangos negativos.

Fuente: Elaboración Propia

Se encuentra un valor de  $W = 0.000$  siendo menor al 5%, por lo que se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se concluye que existe diferencia significativa de la viscosidad del asfalto debido a la adición el 20% de guinda.

#### 4.2.2. Susceptibilidad Térmica

##### Susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con 0% de Adición de guinda y Susceptibilidad térmica PEN 85-100 con 5% de Adición de guinda

###### a) Descriptivos

Para el análisis de la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y susceptibilidad térmica pen 85-100 con 5% de adición de guinda se presenta en la siguiente tabla 26, los datos estadísticos descriptivos correspondientes a la variación de la temperatura de ensayo realizada en Log Viscosidad (cP).

Tabla 26: Descriptivos de la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con 0% de Adición de guinda y con 5% de Adición de guinda

<b>Descriptivos</b>			Estadístico	Desv. Error
DIFERENCIA	Media		-,012057	,0079416
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	-,031490	
		Límite superior	,007375	
	Media recortada al 5%		-,012936	
	Mediana		-,017600	
	Varianza		,000	
	Desv. Desviación		,0210115	
	Mínimo		-,0344	
	Máximo		,0261	
	Rango		,0605	
	Rango intercuartil		,0328	
	Asimetría		1,061	,794
	Curtosis		,658	1,587

Fuente: Elaboración Propia

###### b) Pruebas de normalidad

En la siguiente tabla 27, se muestra los resultados de la prueba de normalidad para datos relacionados en este caso la susceptibilidad térmica del asfalto original con la Adición de 5% de guinda donde se somete a prueba:

Ho: Los datos de susceptibilidad térmica provienen de una distribución normal.

H1: Los datos de susceptibilidad térmica no provienen de una distribución normal.

Tabla 27: Normalidad susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con 0% de Adición de guinda y con 5% de Adición de guinda

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DIFERENCIA	,183	7	,200*	,922	7	,488

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración Propia

Al descubrir una base de datos paramétrica e identificar significancias superiores a 0.05, donde se acepta la hipótesis nula, se interpreta que los datos de susceptibilidad térmica se originan de una distribución normal.

**c) Diferencias Significativas**

A partir de una distribución de datos normal para la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 5% de adición de guinda se analiza la diferencia significativa con la prueba T de student para variables relacionadas:

Ho: No existe diferencia significativa de la susceptibilidad térmica del asfalto debido a la adición el 5% de guinda.

H1: Existe diferencia significativa de la susceptibilidad térmica del asfalto debido a la adición el 5% de guinda.

Tabla 28: Análisis de significancia de la susceptibilidad térmica del asfalto 85-100 con 0% de adición de guinda y 5% de adición de guinda.

Prueba de muestras emparejadas								
Diferencias emparejadas								
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
Par 1 ADICION 0% - ADICION 5%	,0120571	,0210115	,0079416	-,0073752	,0314895	1,518	6	,180

Fuente: Elaboración Propia

Donde se encuentra un valor de p es 0.180 siendo mayor al 5% por lo que se acepta la hipótesis nula, por lo tanto, se concluye que no existe diferencia significativa de la susceptibilidad térmica del asfalto debido a la adición el 5% de guinda.

**Susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con 0% de Adición de guinda y  
Susceptibilidad térmica PEN 85-100 con 10% de Adición de guinda**

**a) Descriptivos**

Para el análisis de la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 10% de adición de guinda, se presenta en la siguiente tabla 29, los datos estadísticos descriptivos correspondientes a la variación de la temperatura de ensayo realizada en Log Viscosidad (cP).

Tabla 29: *Descriptivos de la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con 0% de Adición de guinda y con 10% de Adición de guinda*

		Estadístico	Desv. Error	
DIFERENCIA	Media	-,0224	,00894	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	-,0443	
		Límite superior	-,0005	
	Media recortada al 5%	-,0214		
	Mediana	-,0176		
	Varianza	,001		
	Desv. Desviación	,02365		
	Mínimo	-,07		
	Máximo	,00		
	Rango	,07		
	Rango intercuartil	,03		
	Asimetría	-1,110	,794	
	Curtosis	1,402	1,587	

Fuente: Elaboración Propia

**b) Pruebas de normalidad**

En la siguiente tabla 30, se muestra los resultados de la prueba de normalidad para la susceptibilidad térmica del asfalto original 85-100 con 0% de adición de guinda y con 10% de adición de guinda, donde se somete a prueba las siguientes hipótesis:

Ho: Los datos de susceptibilidad térmica provienen de una distribución normal.

H1: Los datos de susceptibilidad térmica no provienen de una distribución normal.

Para una confiabilidad del análisis estadístico al 95% de nivel de confianza.

Tabla 30: Normalidad de la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 10% de adición de guinda

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DIFERENCIA	,178	7	,200 <sup>*</sup>	,926	7	,521

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración Propia

Al identificar una base de datos paramétrica, mediante la observación de significancias superiores a 0.05, donde se acepta la hipótesis nula, se infiere que los datos de susceptibilidad térmica para la muestra modificada con un 10% de adición de guinda pulverizada siguen una distribución normal.

### c) Diferencias Significativas

A partir de una distribución de datos normal para la susceptibilidad térmica del asfalto PEN original 85-100 con 0% de adición de guinda y con 10% de adición de guinda se analiza la diferencia significativa con la prueba T de student para variables relacionadas:

Ho: No existe diferencia significativa de la susceptibilidad térmica del asfalto debido a la adición el 10% de guinda.

H1: Existe diferencia significativa de la susceptibilidad térmica del asfalto debido a la adición el 10% de guinda.

Tabla 31: Análisis de significancia de la susceptibilidad térmica del asfalto 85-100 con 0% de adición de guinda y 10% de adición de guinda.

Prueba de muestras emparejadas									
		Diferencias emparejadas							
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	ADICION 0% - ADICION 10%	,0224143	,0236491	,0089385	,0005426	,0442860	2,508	6	,046

Fuente: Elaboración Propia

Donde se encuentra un valor de p es 0.046 siendo menor al 5% por lo que se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se concluye que existe diferencia

significativa de la susceptibilidad térmica del asfalto debido a la adición el 10% de guinda.

**Susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con 0% de Adición de guinda y Susceptibilidad térmica PEN 85-100 con 15% de Adición de guinda**

**d) Descriptivos**

Para el análisis de la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 15% de adición de guinda se presenta en la siguiente tabla 32, los datos estadísticos descriptivos correspondientes a la variación de la temperatura de ensayo realizada en Log Viscosidad (cP).

Tabla 32: *Descriptivos de la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con 0% de Adición de guinda y con 15% de Adición de guinda*

		Estadístico	Desv. Error	
DIFERENCIA	Media	-,0224	,00894	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	-,0443	
		Límite superior	-,0005	
	Media recortada al 5%	-,0214		
	Mediana	-,0176		
	Varianza	,001		
	Desv. Desviación	,02365		
	Mínimo	-,07		
	Máximo	,00		
	Rango	,07		
	Rango intercuartil	,03		
	Asimetría	-1,110	,794	
	Curtosis	1,402	1,587	

Fuente: Elaboración Propia

**e) Pruebas de normalidad**

En la siguiente tabla 33, se muestra los resultados de la prueba de normalidad para la susceptibilidad térmica del asfalto original 85-100 con 0% de adición de guinda y con 15% de adición de guinda, donde se somete a prueba las siguientes hipótesis:

Ho: Los datos de susceptibilidad térmica provienen de una distribución normal.

H1: Los datos de susceptibilidad térmica no provienen de una distribución normal.

Para una confiabilidad del análisis estadístico al 95% de nivel de confianza.

Tabla 33: Normalidad de la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 15% de adición de guinda

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DIFERENCIA	,103	7	,200*	,985	7	,982

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración Propia

Identificando una base de datos paramétrica al observar significancias superiores a 0.05, donde se respalda la hipótesis nula, se concluye que los datos de susceptibilidad térmica para la muestra modificada con un 15% de adición de guinda pulverizada se distribuyen normalmente.

#### f) Diferencias Significativas

A partir de una distribución de datos normal para la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 15% de adición de guinda se analiza la diferencia significativa con la prueba T de student para variables relacionadas:

Ho: No existe diferencia significativa de la susceptibilidad térmica del asfalto debido a la adición el 15% de guinda.

H1: Existe diferencia significativa de la susceptibilidad térmica del asfalto debido a la adición el 15% de guinda.

Tabla 34: Análisis de significancia de la susceptibilidad térmica del asfalto 85-100 con 0% de adición de guinda y 15% de adición de guinda.

Prueba de muestras emparejadas									
		Diferencias emparejadas							
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	ADICION 0% - ADICION 15%	,0100571	,0124131	,0046917	-,0014231	,0215374	2,144	6	,076

Fuente: Elaboración Propia

Donde se encuentra un valor de p es 0.076 siendo mayor al 5% por lo que se acepta la hipótesis nula, por lo tanto, se concluye que no existe diferencia significativa de la susceptibilidad térmica del asfalto debido a la adición el 15% de guinda.

**Susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con 0% de Adición de guinda y Susceptibilidad térmica PEN 85-100 con 20% de Adición de guinda**

**a) Descriptivos**

Para el análisis de la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 20% de adición de guinda se presenta en la siguiente tabla 35, los datos estadísticos descriptivos correspondientes a la variación de la temperatura de ensayo realizada en Log Viscosidad (cP).

Tabla 35: *Descriptivos de la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con 0% de Adición de guinda y con 20% de Adición de guinda*

<b>Descriptivos</b>			Estadístico	Desv. Error	
<b>DIFERENCIA</b>	Media		-,014157	,0063757	
	95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	-,029758	
			Límite superior	,001444	
	Media recortada al 5%		-,014225		
	Mediana		-,015400		
	Varianza		,000		
	Desv. Desviación		,0168686		
	Mínimo		-,0374		
	Máximo		,0103		
	Rango		,0477		
	Rango intercuartil		,0301		
	Asimetría		,116	,794	
	Curtosis		-1,025	1,587	

Fuente: Elaboración Propia

**b) Pruebas de normalidad**

En la siguiente tabla 36, se muestra los resultados de la prueba de normalidad para la susceptibilidad térmica del asfalto original 85-100 con 0% de adición

de guinda y con 20% de adición de guinda, donde se somete a prueba las siguientes hipótesis:

Ho: Los datos de susceptibilidad térmica provienen de una distribución normal.

H1: Los datos de susceptibilidad térmica no provienen de una distribución normal.

Para una confiabilidad del análisis estadístico al 95% de nivel de confianza.

Tabla 36: Normalidad de la susceptibilidad térmica del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 20% de adición de guinda

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DIFERENCIA	,108	7	,200*	,983	7	,974

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración Propia

Identificando una base de datos paramétrica al hallar significancias superiores a 0.05, lo que respalda la aceptación de la hipótesis nula, se interpreta que los datos de susceptibilidad térmica correspondientes a la muestra modificada con un 20% de adición de guinda pulverizada exhiben una distribución normal.

### c) Diferencias Significativas

A partir de una distribución de datos normal para la susceptibilidad térmica del asfalto PEN original 85-100 con 0% de adición de guinda y con 20% de adición de guinda se analiza la diferencia significativa con la prueba T de student para variables relacionadas:

Ho: No existe diferencia significativa de la susceptibilidad térmica del asfalto debido a la adición el 20% de guinda.

H1: Existe diferencia significativa de la susceptibilidad térmica del asfalto debido a la adición el 20% de guinda.

Tabla 37: *Análisis de significancia de la susceptibilidad térmica del asfalto 85-100 con 0% de adición de guinda y 20% de adición de guinda.*

		Prueba de muestras emparejadas								
		Diferencias emparejadas								
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)	
					Inferior	Superior				
Par 1	ADICION 0% - ADICION 20%	,0141571	,0168686	,0063757	-,0014437	,0297580	2,220	6	,068	

Fuente: Elaboración Propia

Donde se encuentra un valor de p es 0.069 siendo mayor al 5% por lo que se acepta la hipótesis nula, por lo tanto, se concluye que no existe diferencia significativa de la susceptibilidad térmica del asfalto debido a la adición el 20% de guinda.

#### 4.2.3. Propiedades mecánicas

##### Estabilidad Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de Adición de guinda y Estabilidad Marshall PEN 85-100 con 5% de Adición de guinda

###### a) Pruebas de normalidad

En la siguiente tabla 38, se muestra los resultados de la prueba de normalidad para datos relacionados, en este caso de la estabilidad de Marshall del asfalto original con la Adición de 5% de guinda donde se somete a prueba:

Ho: Los datos de la estabilidad de Marshall provienen de una distribución normal.

H1: Los datos de la estabilidad de Marshall no provienen de una distribución normal.

Tabla 38: *Normalidad de la estabilidad Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de Adición de guinda y con 5% de Adición de guinda*

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DIFERENCIA	,202	3	.	,994	3	,851

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración Propia

Identificando una base de datos paramétrica al descubrir significancias superiores a 0.05, lo cual conlleva a la aceptación de la hipótesis nula, se interpreta que los datos de estabilidad de Marshall tienen su origen en una distribución normal.

**b) Diferencias Significativas**

A partir de una distribución de datos normal para la estabilidad Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 5% de adición de guinda se analiza la diferencia significativa con la prueba T de student para variables relacionadas:

Ho: No existe diferencia significativa de la estabilidad Marshall del asfalto debido a la adición el 5% de guinda.

H1: Existe diferencia significativa de la estabilidad Marshall del asfalto debido a la adición el 5% de guinda.

Tabla 39: *Análisis de significancia de la estabilidad Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 5% de adición de guinda.*

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas							
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	ADICION 0% - ADICION 5%	-107,7667	35,9592	20,7610	-197,0942	-18,4391	-5,191	2	,035

Fuente: Elaboración Propia

Donde se encuentra un valor de p es 0.035 siendo menor al 5% por lo que se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se concluye que existe diferencia significativa de la estabilidad Marshall del asfalto debido a la adición del 5% de guinda.

**Estabilidad Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de Adición de guinda y Estabilidad Marshall PEN 85-100 con 10% de Adición de guinda**

**a) Pruebas de normalidad**

En la siguiente tabla 40, se muestra los resultados de la prueba de normalidad para datos relacionados, en este caso de la estabilidad de Marshall del asfalto original con la Adición de 10% de guinda donde se somete a prueba:

Ho: Los datos de la estabilidad de Marshall provienen de una distribución normal.

H1: Los datos de la estabilidad de Marshall no provienen de una distribución normal.

Tabla 40: Normalidad de la estabilidad Marshall del *asfalto PEN 85-100 con 0% de Adición de guinda y con 10% de Adición de guinda*

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DIFERENCIA	,376	3	.	,773	3	,051

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración Propia

Identificando una base de datos paramétrica al obtener significancias superiores a 0.05, y aceptando la hipótesis nula, se concluye que los datos de estabilidad de Marshall se originan de una distribución normal.

#### b) Diferencias Significativas

A partir de una distribución de datos normal para la estabilidad Marshall del *asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 10% de adición de guinda* se analiza la diferencia significativa con la prueba T de student para variables relacionadas:

Ho: No existe diferencia significativa de la estabilidad Marshall del *asfalto* debido a la adición el 10% de *guinda*.

H1: Existe diferencia significativa de la estabilidad Marshall del *asfalto* debido a la adición el 10% de *guinda*.

Tabla 41: *Análisis de significancia de la estabilidad Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 10% de adición de guinda.*

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior				
Par 1	ADICION 0% - ADICION 10%	-313,3333	18,7705	10,8372	-359,9620	-266,7047	-28,913	2	,001

Fuente: Elaboración Propia

Donde se encuentra un valor de p es 0.001 siendo menor al 5% por lo que se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se concluye que existe diferencia significativa de la estabilidad Marshall del asfalto debido a la adición el 10% de guinda.

**Estabilidad Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de Adición de guinda y Estabilidad Marshall PEN 85-100 con 15% de Adición de guinda**

**a) Pruebas de normalidad**

En la siguiente tabla 42, se muestra los resultados de la prueba de normalidad para datos relacionados, en este caso la estabilidad Marshall del asfalto original con la Adición de 15% de guinda donde se somete a prueba:

Ho: Los datos de la estabilidad Marshall provienen de una distribución normal.

H1: Los datos de estabilidad Marshall no provienen de una distribución normal.

Tabla 42: *Normalidad de la estabilidad Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 15% de adición de guinda*

<b>Pruebas de normalidad</b>						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DIFERENCIA	,188	3	.	,998	3	,913

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración Propia

Al identificar una base de datos paramétrica al obtener significancias superiores a 0.05 y aceptar la hipótesis nula, se interpreta que los datos de estabilidad de Marshall tienen una distribución normal.

**b) Diferencias Significativas**

A partir de una distribución de datos normal para la estabilidad Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 15% de adición de guinda se analiza la diferencia significativa con la prueba T de student para variables relacionadas:

Ho: No existe diferencia significativa de la estabilidad Marshall del asfalto debido a la adición el 15% de guinda.

H1: Existe diferencia significativa de la estabilidad Marshall del asfalto debido a la adición el 15% de guinda.

Tabla 43: *Análisis de significancia de la estabilidad Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 15% de adición de guinda.*

		Prueba de muestras emparejadas								
		Diferencias emparejadas								
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)	
					Inferior	Superior				
Par 1	ADICION 0% - ADICION 15%	-284,33333	44,54586	25,71856	-394,99138	-173,67529	-11,056	2	,008	

Fuente: Elaboración Propia

Donde se encuentra un valor de p es 0.008 siendo menor al 5% por lo que se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se concluye que existe diferencia significativa de la estabilidad Marshall del asfalto debido a la adición el 15% de guinda.

**Estabilidad Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de Adición de guinda y Estabilidad Marshall PEN 85-100 con 20% de Adición de guinda**

**a) Pruebas de normalidad**

En la siguiente tabla 44, se muestra los resultados de la prueba de normalidad para datos relacionados, en este caso la estabilidad Marshall del asfalto original con la Adición de 20% de guinda donde se somete a prueba:

Ho: Los datos de la estabilidad Marshall provienen de una distribución normal.

H1: Los datos de estabilidad Marshall no provienen de una distribución normal.

Tabla 44: *Normalidad de la estabilidad Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 20% de adición de guinda*

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DIFERENCIA	,185	3	.	,998	3	,923

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración Propia

Identificando una base de datos paramétrica al observar significancias superiores a 0.05 y respaldar la hipótesis nula, se interpreta que los datos relacionados con la estabilidad de Marshall se derivan de una distribución normal.

### b) Diferencias Significativas

A partir de una distribución de datos normal para la estabilidad Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 20% de adición de guinda se analiza la diferencia significativa con la prueba T de student para variables relacionadas:

Ho: No existe diferencia significativa de la estabilidad Marshall del asfalto debido a la adición el 20% de guinda.

H1: Existe diferencia significativa de la estabilidad Marshall del asfalto debido a la adición el 20% de guinda.

Tabla 45: *Análisis de significancia de la estabilidad Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 20% de adición de guinda.*

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas			95% de intervalo de confianza de la diferencia				
		Media	Dev. Desviación	Dev. Error promedio	Inferior	Superior	t	gl	Sig. (bilateral)
Par 1	ADICION 0% - ADICION 20%	-17,96667	84,06904	48,53728	-226,80574	190,87240	-,370	2	,747

Fuente: Elaboración Propia

Donde se encuentra un valor de p es 0.747 siendo mayor al 5% por lo que se acepta la hipótesis nula, por lo tanto, se concluye que no existe diferencia significativa de la estabilidad Marshall del asfalto debido a la adición el 20% de guinda.

### Fluencia Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de Adición de guinda y Estabilidad Marshall PEN 85-100 con 5% de Adición de guinda

#### a) Pruebas de normalidad

En la siguiente tabla 46, se muestra los resultados de la prueba de normalidad para datos relacionados en este caso de la Fluencia Marshall del asfalto original con la Adición de 5% de guinda donde se somete a prueba:

Ho: Los datos de la fluencia de Marshall provienen de una distribución normal.

H1: Los datos de fluencia de Marshall no provienen de una distribución normal.

Tabla 46: Normalidad de la Fluencia de Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 5% de adición de guinda

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DIFERENCIA	,194	3	.	,996	3	,886

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración Propia

Identificando una base de datos paramétrica al obtener significancias superiores a 0.05 y aceptar la hipótesis nula, se infiere que los datos de la fluencia Marshall se originan de una distribución normal.

**b) Diferencias Significativas**

A partir de una distribución de datos normal para la Fluencia Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 5% de adición de guinda se analiza la diferencia significativa con la prueba T de student para variables relacionadas:

Ho: No existe diferencia significativa de la fluencia Marshall del asfalto debido a la adición el 5% de guinda.

H1: Existe diferencia significativa de la fluencia Marshall del asfalto debido a la adición el 5% de guinda.

Tabla 47: Análisis de significancia de la Fluencia Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 5% de adición de guinda.

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	ADICION 0% - ADICION 5%	-,09000	,14526	,08386	-,45084	,27084	-1,073	2	,396

Fuente: Elaboración Propia

Donde se encuentra un valor de p es 0.396 siendo mayor al 5% por lo que se acepta la hipótesis nula, por lo tanto, se concluye que no existe diferencia significativa de la fluencia Marshall del asfalto debido a la adición el 5% de guinda.

**Fluencia Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de Adición de guinda y Estabilidad Marshall PEN 85-100 con 10% de Adición de guinda**

**a) Pruebas de normalidad**

En la siguiente tabla 48, se muestra los resultados de la prueba de normalidad para datos relacionados en este caso de la Fluencia Marshall del asfalto original con la Adición de 10% de guinda donde se somete a prueba:

Ho: Los datos de la fluencia de Marshall provienen de una distribución normal.

H1: Los datos de fluencia de Marshall no provienen de una distribución normal.

Tabla 48: *Normalidad de la Fluencia de Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 10% de adición de guinda*

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DIFERENCIA	,232	3	.	,980	3	,726

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración Propia

Al identificar una base de datos paramétrica al descubrir significancias superiores a 0.05 y respaldar la hipótesis nula, se interpreta que los datos de la fluencia Marshall tienen su origen en una distribución normal.

**b) Diferencias Significativas**

A partir de una distribución de datos normal para la Fluencia Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 10% de adición de guinda se analiza la diferencia significativa con la prueba T de student para variables relacionadas:

Ho: No existe diferencia significativa de la fluencia Marshall del asfalto debido a la adición el 10% de guinda.

H1: Existe diferencia significativa de la fluencia Marshall del asfalto debido a la adición el 10% de guinda.

Tabla 49: *Análisis de significancia de la Fluencia Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 10% de adición de guinda.*

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
Par 1					Inferior	Superior			
	ADICION 0% - ADICION 10%	-,19000	,12124	,07000	-,49119	,11119	-2,714	2	,113

Fuente: Elaboración Propia

Donde se encuentra un valor de p es 0.113 siendo mayor al 5% por lo que se acepta la hipótesis nula, por lo tanto, se concluye que no existe diferencia significativa de la fluencia Marshall del asfalto debido a la adición el 10% de guinda.

**Fluencia Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de Adición de guinda y Estabilidad Marshall PEN 85-100 con 15% de Adición de guinda**

**a) Pruebas de normalidad**

En la siguiente tabla 50, se muestra los resultados de la prueba de normalidad para datos relacionados en este caso de la Fluencia Marshall del asfalto original con la Adición de 15% de guinda donde se somete a prueba:

Ho: Los datos de la fluencia de Marshall provienen de una distribución normal.

H1: Los datos de fluencia de Marshall no provienen de una distribución normal.

Tabla 50: *Normalidad de la Fluencia de Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 15% de adición de guinda*

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DIFERENCIA	,314	3	.	,893	3	,363

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración Propia

Al identificar una base de datos paramétrica al obtener significancias superiores a 0.05 y aceptar la hipótesis nula, se interpreta que los datos relacionados con la fluencia Marshall se derivan de una distribución normal.

**b) Diferencias Significativas**

A partir de una distribución de datos normal para la Fluencia Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 15% de adición de guinda se analiza la diferencia significativa con la prueba T de student para variables relacionadas:

Ho: No existe diferencia significativa de la fluencia Marshall del asfalto debido a la adición el 15% de guinda.

H1: Existe diferencia significativa de la fluencia Marshall del asfalto debido a la adición el 15% de guinda.

Tabla 51: *Análisis de significancia de la Fluencia Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 15% de adición de guinda.*

Prueba de muestras emparejadas									
Diferencias emparejadas									
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	ADICION 0% - ADICION 15%	-,67000	,02646	,01528	-,73572	-,60428	-43,862	2	,001

Fuente: Elaboración Propia

Donde se encuentra un valor de p es 0.01 siendo menor al 5% por lo que se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se concluye que existe diferencia significativa de la fluencia Marshall del asfalto debido a la adición el 15% de guinda.

**Fluencia Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de Adición de guinda y Estabilidad Marshall PEN 85-100 con 20% de Adición de guinda**

**a) Pruebas de normalidad**

En la siguiente tabla 52, se muestra los resultados de la prueba de normalidad para datos relacionados en este caso de la Fluencia Marshall del asfalto original con la Adición de 20% de guinda donde se somete a prueba:

Ho: Los datos de la fluencia de Marshall provienen de una distribución normal.

H1: Los datos de fluencia de Marshall no provienen de una distribución normal.

Tabla 52: Normalidad de la Fluencia de Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 20% de adición de guinda

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DIFERENCIA	,222	3	.	,986	3	,770

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración Propia

Identificando una base de datos paramétrica al obtener significancias superiores a 0.05 y respaldar la hipótesis nula, se concluye que los datos de la prueba de fluencia Marshall tienen una distribución normal.

#### b) Diferencias Significativas

A partir de una distribución de datos normal para la Fluencia Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y con 20% de adición de guinda se analiza la diferencia significativa con la prueba T de student para variables relacionadas:

Ho: No existe diferencia significativa de la fluencia Marshall del asfalto debido a la adición el 20% de guinda.

H1: Existe diferencia significativa de la fluencia Marshall del asfalto debido a la adición el 20% de guinda.

Tabla 53: Análisis de significancia de la Fluencia Marshall del asfalto PEN 85-100 con 0% de adición de guinda y 20% de adición de guinda.

		Prueba de muestras emparejadas							
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
Inferior	Superior								
Par 1	ADICION 0% - ADICION 20%	,070000	,216564	,125033	-,467975	,607975	,560	2	,632

Fuente: Elaboración Propia

Donde se encuentra un valor de p es 0.632 siendo mayor al 5% por lo que se acepta la hipótesis nula, por lo tanto, se concluye que no existe diferencia significativa de la fluencia Marshall del asfalto debido a la adición el 20% de guinda.

### 4.3. Discusión de Resultados

En la tesis titulada “Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato (EVA)” de la Universidad Central de Ecuador (17), se obtuvo como resultado la disminución en la viscosidad del asfalto con mayor estabilidad a los cambios de temperatura, disminuyendo la oxidación del mismo ante el cambio de temperaturas en el proceso de producción donde se origina el envejecimiento a corto plazo del asfalto. Entre los principales beneficios de la adición de EVA en los pavimentos es la reducción a la deformación permanente, a la fatiga y la resistencia a las fisuras a bajas temperaturas. Asimismo, en la presente investigación la viscosidad del asfalto disminuye con el 5%, 10% y 15% de adición de la guinda, demostrando un mejor comportamiento como agente antioxidante del asfalto durante el proceso de producción.

En el artículo científico titulado “Evaluación del efecto del envejecimiento del cemento asfáltico 80-100 modificado con lignina” de la Universidad Piloto de Colombia (16). Se obtuvo como resultado una baja susceptibilidad térmica, en una mezcla asfáltica modificada con lignina al 15% de adición, mejorando su comportamiento ante el proceso oxidativo del asfalto. Sin embargo, en la presente investigación se obtuvo que la adición de guinda del 5%, 10 % y 15% sobre el peso del cemento asfáltico, se mantienen o aumentan con poco efecto sobre la susceptibilidad térmica como agente antioxidante demostrando que en ciertos rangos de temperatura se muestra estable, deteniendo el envejecimiento a corto plazo.

En la tesis titulada “Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato (EVA)” de la Universidad Central de Ecuador, (17). Se obtuvo como resultado el 6.3% de óptimo contenido de asfalto mientras que en la presente investigación el óptimo contenido de asfalto es el 5.5%, esto depende mucho de la caracterización del agregado y el asfalto utilizado. Mientras que los resultados de estabilidad y flujo Marshall con la adición de polímero etileno vinil acetato aumentan hasta un determinado valor de contenido de adición y luego disminuyen cuando el porcentaje de adición es mayor. Asimismo, sucede con la adición de la guinda en la presente investigación, según va incrementando el porcentaje de adición llega a un punto máximo de estabilidad y flujo, y después estos valores descienden cuando es mayor la adición. Asimismo, en ambas investigaciones se muestra una mejora de las propiedades mecánicas del cemento asfáltico con el uso del aditivo, mediante el ensayo Marshall que permite ser empleado para simular procesos de producción, ya que el

envejecimiento del asfalto a corto plazo se da en contacto con el oxígeno mientras es calentando. Demostrando que la adición de la guinda mejora las propiedades mecánicas que se pierden con el envejecimiento a corto plazo del asfalto.

En la tesis titulada “Control del envejecimiento del asfalto a través de la adición polvo deshidratado de orujo, bioproducto de la industria enológica”, tesis de doctorado de la Pontificia Universidad Católica de Chile (18). Se obtuvieron resultados donde el uso de orujo deshidratado en forma de polvo como agente antioxidante demuestra ventajas en términos de minimizar el daño oxidativo en el asfalto investigado. Se identifica que una adición del 10% de CsAox se considera óptima, ya que ofrece beneficios consistentes en todas las pruebas realizadas en el estudio. Asimismo, en la presente investigación se demuestra que la adición de la guinda como agente antioxidante, mejora las propiedades físicas y mecánicas del asfalto, reduciendo el envejecimiento del asfalto. Con el intervalo de porcentaje del 10% al 15% de adición de guinda (*prunus capulí*) en estado pulverizado.

En el artículo científico titulado “El efecto de la adición del antioxidante 1,2-dihidro-2,2,4-trimetil-quinolina en características del asfalto modificado con caucho crepé en condiciones de envejecimiento a corto plazo y envejecimiento a largo plazo” del departamento de Ingeniería química e Ingeniería civil de la Universidad de Riau de Indonesia (18). Se obtuvieron resultados donde el porcentaje de adición del 10% caucho crepé más el 2% del antioxidante TMQ, disminuye la viscosidad del asfalto, mejora la estabilidad térmica, menor penetración y punto blando, con alta estabilidad Marshall de 1403.96 kg. Asimismo, en la presente investigación con el porcentaje de adición del 5%, 10% y 15% de la guinda (*Prunus capulí*) como agente antioxidante presentó mejores resultados al disminuir la viscosidad, reduciendo las posibilidades del envejecimiento a corto plazo. En cuanto a la susceptibilidad térmica del asfalto con adición de la guinda del 10% el asfalto presenta una mayor estabilidad ante el cambio de temperatura de producción. Con el 10% de adición de la guinda (*Prunus capulí*) al asfalto, se obtuvo la estabilidad Marshall de 1580 kg, una mayor estabilidad a diferencia de la adición de caucho de crepé más el antioxidante TMQ, donde los autores afirman “que la mayor estabilidad del asfalto, proporciona una mejor durabilidad, aumentando su capacidad para evitar la formación de surcos, reduciendo la deformación a altas temperaturas, reduciendo la resistencia a la fatiga y previniendo el envejecimiento a corto plazo del asfalto”.

En el artículo científico titulado “Upcycle orujo de oliva como antioxidante y agente de reciclaje en materiales de pavimentación asfáltica” del departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos e Ingeniería civil de la Universidad de California. (19). Se Obtuvieron resultados donde la dosis optima de uso de orujo de oliva es el 15%, ya que obtuvo una mejor resistencia al agrietamiento y desempeño antioxidante, una resistencia a la formación de surcos y temperaturas de producción. Pero, con el 15% de adición de orujo de aceituna aumentó ligeramente la viscosidad y las temperaturas de producción del ligante en unos grados. Mientras que en la presente investigación la adición de la guinda demuestra un mejor comportamiento disminuyendo la viscosidad, con poco efecto a la susceptibilidad térmica, y con mejora en la estabilidad Marshall con el porcentaje de adición del 10% de guinda (Prunus Capulí) en el asfalto como agente antioxidante, pues retrasa el envejecimiento a corto plazo con la mejora de sus propiedades físicas y mecánicas.

En la Tesis titulada “Determinación de fenoles totales y capacidad antioxidante en el fruto de guinda (Prunus Serotina Spp) de la Provincia de Acobamba - Huancavelica”, tesis de grado de la Universidad Nacional del Huancavelica (25). Se determinó que la guinda posee la capacidad antioxidante debido a la cantidad de polifenoles. Asimismo, en la presente investigación se evidencia las propiedades antioxidantes de las guindas debido a que muestra una mejora en la viscosidad y estabilidad del asfalto, reduciendo el envejecimiento a corto plazo por la oxidación del mismo.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- Se concluye que la adición de la Guinda como agente antioxidante logra mantener a la mezcla asfáltica estable ante la presencia de oxígeno, manteniendo la viscosidad baja, la susceptibilidad térmica sin cambio alguno y mejores propiedades mecánicas en el ensayo Marshall; por lo que reduce el envejecimiento del asfalto a corto plazo. Ya que según los porcentajes de adición del modificante a 5%, 10% y 15% con respecto al peso del ligante asfáltico, se consigue mejorar significativamente las propiedades físicas y mecánicas del asfalto PEN 85-100, para climas templados como el de Huancayo con temperaturas de -5°C y 9°C en épocas de frío y que alcanza una temperatura de 19°C en días soleados. El asfalto Pen 85-100 presenta un mejor comportamiento en porcentajes mayores al 5% y menores al 15%, ya porcentajes fuera de este rango no mejoran las propiedades, además que con el 15% de adición se logró disminuir un mayor porcentaje la viscosidad y además no generó cambios significativos en cuanto a la susceptibilidad térmica; con el 10% de adición de la guinda se logró aumentar en un mayor porcentaje la estabilidad Marshall y solo con la adición del 20% de guinda disminuye la Fluencia Marshall. Cabe resaltar que los datos obtenidos de los ensayos de estabilidad y fluencia Marshall con los diferentes porcentajes de adición, están por encima y dentro de los parámetros que exige la normatividad del MTC – Ministerio de Transportes y comunicaciones.
- Se concluye que las propiedades antioxidantes de la guinda disminuyen la viscosidad con respecto a la muestra patrón, por lo cual al reducir su viscosidad se reducen las posibilidades de que el cemento asfáltico sufra de envejecimiento a corto plazo. Teniendo en cuenta que con la adición del 5% la viscosidad disminuye en un promedio de 3.116%, con la adición 10% disminuye en 1.527%, con adición del 15% disminuye en 11.156% y con el 20% aumenta en un 29.912%. Del total de los resultados obtenidos de la viscosidad a diferentes temperaturas. La guinda como aditivo también muestra un efecto sobre la temperatura de trabajabilidad del ligante asfáltico puesto que presentó un descenso sobre la temperatura máxima de trabajabilidad del cemento asfáltico en los distintos porcentajes de adición de la guinda pulverizada. Cuando el asfalto empieza a oxidarse en su proceso de producción en planta, la viscosidad aumenta originando que la mezcla se rigidice, por lo cual se evidencia que con la adición de la guinda está disminuyendo. Asimismo, se detalla que a partir de los porcentajes de 5%, 10% y 15% respecto del peso del ligante asfáltico, puesto que las viscosidades obtenidas a estos porcentajes son en comparación menores al asfalto PEN 85-100 sin modificación.

Hallando a la par que el porcentaje de 20% tiene un incremento elevado con respecto a los otros porcentajes de adición e incluso un incremento del 29.912% en promedio, mayor al del cemento asfáltico virgen, se observó que este comportamiento es debido al alto contenido de modificante del aditivo vegetal ya que no llega a conformarse totalmente al ligante

- Se concluye que la adición de la guinda como agente antioxidante no genera cambios significativos a las propiedades al asfalto ante el cambio de temperatura, ya que al realizar el ensayo cuando se oxida una mezcla la curva de la susceptibilidad térmica tiende a desplazarse hacia la izquierda perdiendo sus propiedades viscoelásticas originando el envejecimiento del asfalto, producto del cálculo de la susceptibilidad térmica con respecto al ensayo de la viscosidad ejecutados al ligante asfáltico modificado con porcentajes de adición de guinda pulverizada sobre el peso del cemento asfáltico, se concluyó que los porcentajes de adición de guinda del 5%, 10 % y 15% sobre el peso del cemento asfáltico, se mantienen o aumentan con poco efecto sobre la susceptibilidad térmica. Solo con la variación de sus pendientes con la adición del 5% la pendiente se incrementó en un 26.63%, con la adición del 10% la pendiente se incrementó en un 21.69%, con la adición del 15% la pendiente se incrementó en un 21.55% y con la adición del 20% la pendiente se incrementó en un 20.22% con respecto a la muestra sin adición del asfalto virgen. Los porcentajes de adición de guinda pulverizada con mejor comportamiento viene a ser de entre 5% hasta el 15% de adición del modificante natural con respecto del peso del ligante asfáltico manteniendo a la susceptibilidad térmica al margen de lo permitido.
- A partir del ensayo con las briquetas de mezcla asfáltica en caliente realizadas con diferentes porcentajes de guinda pulverizada, de acuerdo al MTC el ensayo Marshall se puede utilizar tanto para supervisar los procesos de fabricación de mezclas bituminosas en la planta como para servir como punto de referencia en la evaluación de diversas mezclas y los impactos de distintas condiciones de preparación. Es importante tener en cuenta que el envejecimiento a corto plazo ocurre durante la producción, cuando la mezcla entra en contacto con el oxígeno simulado mediante las briquetas que se emplearán. Con la adición del 5% se incrementa la estabilidad del asfalto en un 8.48%, con la adición del 10% se incrementa la estabilidad del asfalto en un 24.66%, con la adición del 15% se incrementa la estabilidad del asfalto en un 22.38% y con la adición del 20% se incrementa la estabilidad del asfalto en un 1.41%. Asimismo, con la adición del 5% se incrementa la fluencia del asfalto en un 3.34%, con la adición del 10% se incrementa la fluencia del asfalto en un 7.05%, con la adición

del 15% se incrementa la fluencia del asfalto en un 24.88% y con la adición del 20% disminuye la fluencia del asfalto en un -2.60%. Por lo que se concluye que se evidencia un aumento con respecto a la estabilidad de diseño debido a la adición del aditivo natural, mostrando un valor de máxima estabilidad adquirida entre el 10% al 15% de adición de guinda pulverizada sobre el peso del cemento asfáltico, también se obtuvo que las muestras con diferentes porcentajes de adición están dentro de los parámetros requeridos por la normativa Marshall, de 830 kg en sus estabilidades. La adición de la guinda en la mezcla asfáltica durante el proceso de elaboración de las briquetas que ha estado en contacto con el oxígeno, pero la estabilidad y fluencia Marshall con el porcentaje de adición del 10% al 15% cumplen el requerimiento mínimo de la normativa Marshall del MTC, demostrando que la adición de la guinda pulverizada como agente antioxidante reduce el envejecimiento del cemento asfáltico. Por otro lado, también se puede decir que el porcentaje que trabaja de mejor manera como aditivo orgánico sobre el peso del cemento asfáltico se encuentra entre los porcentajes de 5% al 15% pero, menor a este último.

- Se rechaza la hipótesis nula por lo que se considera que los resultados son estadísticamente significativos. En función a la regresión lineal simple, ya que en el análisis estadístico realizado con un nivel de significancia del 5%, se encontró evidencia para afirmar que la adición de la guinda en sus diferentes porcentajes presenta una diferencia significativa en la viscosidad del asfalto PEN 85-100, sin embargo en cuanto a la susceptibilidad térmica solo existe una diferencia significativa con la adición del 10% de guinda; en cuanto a las propiedades mecánicas como la estabilidad Marshall, existe una diferencia significativa con la adición del 5%, 10% y 15% de guinda, mientras que en la Fluencia Marshall solo presenta una diferencia significativa con la adición del 15% de la guinda. Por lo que se concluye que la adición de la guinda en sus diferentes porcentajes, evidencia cambios en las propiedades físicas y mecánicas del asfalto PEN 85-100.

## **5.2. Recomendaciones**

- Se sugiere utilizar el asfalto modificado con antioxidantes de manera inmediata al preparar la mezcla asfáltica, ya que pueden conducir a una separación de sus componentes cuando se almacena durante períodos prolongados. Además, se recomienda aplicar la modificación del ligante utilizando el método de la "vía húmeda", ya que en comparación con la "vía seca", este proceso permite una mejor incorporación

de las propiedades antioxidantes en la mezcla asfáltica, según los resultados obtenidos en los estudios de laboratorio previos correspondientes.

- En relación a los ensayos de susceptibilidad térmica realizados en el ligante asfáltico PEN 85-100 modificado con diferentes proporciones de guinda pulverizada, se sugiere realizar un estudio exclusivo sobre la sábila pulverizada como aditivo. Esto se hace con el propósito de investigar su capacidad para reducir la viscosidad en porcentajes de adición inferiores al 10%. El objetivo es determinar hasta qué temperatura se puede reducir la mezcla asfáltica sin afectar sus propiedades mecánicas y volumétricas, lo que podría llevar a una disminución de los costos al reducir el consumo de combustible y, al mismo tiempo, contribuir a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, beneficiando así al medio ambiente.
- Teniendo en consideración los resultados obtenidos en las propiedades físicas de la adición de guinda pulverizada, se sugiere llevar a cabo una investigación complementaria centrada en las propiedades reológicas del ligante. Esto se realizaría mediante el uso de un reómetro de corte dinámico, con el objetivo de asignar una clasificación PG (Performance Grade). Esto proporcionaría una comprensión más profunda de cómo las propiedades antioxidantes de la guinda se integran con el ligante asfáltico. Sin embargo, es importante destacar que este estudio, que forma parte de la metodología SUPERPAVE, debería llevarse a cabo cuando haya disponibilidad de tecnología adecuada en los laboratorios de la región. En la actualidad, se presenta una restricción tecnológica considerable que obstaculiza la ejecución de investigaciones relacionadas con la reología del asfalto.
- Se sugiere llevar a cabo una investigación adicional centrada en los porcentajes de adición de guinda pulverizada que se encuentran en el rango del 5% al 15%. Esto se basa en la observación de que en estos porcentajes se logró reducir la viscosidad del asfalto original PEN 85-100. Como resultado, hay una probabilidad de mitigar el envejecimiento de la mezcla asfáltica en caliente al aprovechar las propiedades antioxidantes de la guinda. Sin embargo, es importante tener en cuenta que actualmente hay una limitación tecnológica en los laboratorios locales, dado que no se cuenta con hornos rotatorios de envejecimiento a corto y largo plazo que posibiliten la evaluación del comportamiento del ligante bajo las condiciones específicas de ensayo según la metodología SUPERPAVE.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **DOW, A. W.** *Asphalt Experiments at Washington*. Washington. : Engineering Record, 1903.
2. **VARGAS, Xiomara y REYES, Freddy.** *El fenómeno de envejecimiento de los asfaltos*. s.l. : Ingeniería e Investigación, 2010.
3. **FERNANDEZ, RONDON y REYES.** *Envejecimiento de Asfaltos y Mezclas Asfálticas: Estado del Conocimiento*. Bogotá : Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Pontificia Universidad Javeriana, 2011.
4. **PETERSEN, C. y GLASER, R.** *Asphalt Oxidation Mechanisms and the role of Oxidation Products on Age Hardening Revisited*. 2011.
5. **BELL, C. A., & KLIEWER.** *Evaluating Aging of Asphalt Mixtures*. 1995.
6. **IBAÑEZ MALDONADO, Walter.** *Uso de Polímeros en un Nuevo Diseño para Mejorar las Propiedades Fisico- Mecanicas del asfalto: Contribución para el tramo de la carretera Chilete-Cajamarca*. Cajamarca : Universidad Nacional de Cajamarca, 2015.
7. **ASFALTO & CONSTRUCCIONES S.A.C.**  
WWW.ASFALTOYCONSTRUCCIONES.COM. [En línea]  
[https://static.websguru.com.ar/var/m\\_4/4b/4b3/70188/1018245-CEMENTO\\_ASFALTICO.pdf](https://static.websguru.com.ar/var/m_4/4b/4b3/70188/1018245-CEMENTO_ASFALTICO.pdf)
8. **INSTITUTO GEOFISICO DEL PERÚ.** *Atlas Climatico de precipitacion y temperatura del aire en la Cuenca del rio Mantaro. Serie: Evaluación Local Integrada de Cambio Climático para la Cuenca del Río Mantaro*. Lima : Fondo Editorial del Consejo Nacional del Ambiente - CONAM, 2005. 1.
9. **SIDDIQUI, M. N., & ALI, M. F.** *Studies on the aging behavior of the Arabian asphalts*. s.l. : Fuel, 1999.
10. **LESUEUR, Didier.** *The colloidal structure of bitumen: Consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification*. s.l. : Advances in colloid and interface science, 2009.

11. **APEAGYEI, A.** *Laboratory evaluation of antioxidants for asphalt binders.* *Construction and Building Materials*, 25(1), 47-53. onbuildmat. : DOI: 10.1016/, 2011. 2010.06.058.
12. **GORINSTEIN, S., ZACHWIEJA, Z., FOLTA, M., BARTON, H., PIOTROWICZ, J., ZEMSER, M., & TRAKHTENBERG, S.** *Comparative contents of dietary fiber, total phenolics, and minerals in persimmons and apples.* s.l. : Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008.
13. **YU, X., PENG, Y., SHU, X., & LIU, P.** *Aging characteristics of asphalt cement under different environmental conditions.* s.l. : Construction and Building Materials, 2017.
14. **PRAKASH, A.** *Antioxidant Activity.* Mineapolis USA : Medallion Laboratorios Analytical Progress, 2001.
15. **ROJAS ROJAS, Gabriel, AGUIAR MOYA, José Pablo y ARIAS BARRANTES, Eliécer y BALDI, Alejandra.** *Modificación del asfalto con orujo de uva roja como material antioxidante.* SAN JOSE - COSTA RICA : Revista Infraestructura Vial / LanammeUCR, 2020.
16. **D. RODRÍGUEZ U., RODRÍGUEZ, Cristian S. RAMÍREZ, C. FLÓREZ.** *Evaluación del efecto del envejecimiento del cemento asfáltico 80-100 modificado con lignina.* Barranquilla : Inginiare - Universidad Libre-Barranquilla, 2016. 47-61.
17. **MAILA PAUCAR, Manuel E.** *Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada.* QUITO – ECUADOR. : UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, 2013.
18. **BAHRUDDIN, Ibrahim y ARYA, Wiranata y ALFIAN, Malik.** *The Effect of Addition of Antioxidant 1,2-dihydro-2,2,4-trimethyl-quinoline on Characteristics of Crepe Rubber Modified Asphalt in Short Term Aging and Long Term Aging Conditions.* Pekanbaru Indonesia : Applied Sciences, 2020. 10.
19. **KUN ZHANG, HEFEI ZHAO, SELINA C WANG.** *Upcycle orujo de oliva como antioxidante y agente de reciclaje en materiales de pavimentación asfáltica.* California EE. UU. : Elsevier - Universidad de California, 2021.

20. **LLANO MUÑOZ, Jose Luis.** *Efecto de los agregados en el envejecimiento de la mezcla asfáltica.* SANTIAGO DE CALI: PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA, 2017.
21. **CALABI FLOODY, Alejandra T.** *Control del Envejecimiento del Asfalto a Traves de la Adición Polvo Deshidratado de Orujo, Bioproducto de la Industria Enológica.* Santiago de Chile : s.n., 2012.
22. **DE LA CRUZ BAZÁN Paulino, Guillermo LAZO LÁZARO.** *Evaluación de desempeño de mezclas asfálticas en caliente diseñadas por la metodología marshall con el ensayo de la metodología marshall con el ensayo de la rueda cargada de Hamburgo para el proyecto de rehabilitación de la carretera DV Imperial-Pampas.* LIMA PERU : UNIVERSIDAD RICARDO PALMA, 2015.
23. **PEÑA ANCCASI, Juan Carlo Y ARAMAYO PINAZO, Francisco A.** *Desempeño mecánico de la mezcla asfáltica en caliente incorporando cenizas volantes provenientes de la termoeléctrica de Ilo.* LIMA PERU : UNIVERSIDAD RICARDO PALMA, 2019.
24. **VILLAROEL DIAZ, Galia J.** *Determinacion de la Actividad Antioxidante de la Guinda (Prunus Capuli).* Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2008.
25. **QUISPE PADILLA, Alicia.** *Determinacion de fenoles totales y capacidad antioxidante en el fruto de la guinda (Prunus serotina spp) de la Provincia de Acobamba - Huancavelica.* Huancavelica : Universidad Nacional de Huancavelica, 2021.
26. **NEE, M.** *Sinopsis de Prunus (Rosaceae) en Mexico.* D.F. Mexico : Anales del Jardín Botánico de Missouri, 1999. 898-918.
27. **TINITANA, L.F. y PAREDES, A. & TAPIA, M.** *Caracterización morfológica de germoplasma de capulí (Prunus capuli Cav.) proveniente de la Sierra Central del Ecuador.* Quito : Bioagro, 2017. 183-190.
28. **MARTINEZ VALVERDE, I. y PERIAGO, j. y ROS, J.** *Significado nutricional de los compuestos fenólicos en la dieta.* California : En archivos latinoamericanos de nutrición, 2000. 18.

29. **ORINSTEIN, S., ZACHWIEJA, Z., FOLTA, M., BARTON, H., PIOTROWICZ, J., ZEMSER, M., & TRAKHTENBERG, S.** *Comparative contents of dietary fiber, total phenolics, and minerals in persimmons and apples.* s.l. : Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008.
30. **VALCHEVA-KUZMANOVA, S., MLADENOVA, I., KUZMANOV, K., BANKOVA, V., GALUNSKA, B., & ANTOVA, G.** *Chemical composition and biological activity of Bulgarian wild-growing Prunus species.* s.l. : Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 2014.
31. **ZHANG, D.** *Antioxidant activity and bioactive compounds of cherry (Prunus avium L.) cultivars harvested at different ripening stages.* s.l. : Journal of Food Science, 2018. 526-534.
32. **PUZINAUSKAS VP, CORBETT LW.** *Differences between petroleum asphalt, coal-tar pitch, and road tar.* College Park : The Asphalt Institute, 1978.
33. **CARRERA Virginia, PARTAL Pedro, GARCIA Moises, GALLEGOS Crispulo, PAEZ Antonio.** *Influence of Bitumen Colloidal Nature on the Design of Isocyanate-Based Bituminous Products with Enhanced Rheological Properties.* Móstoles : Universidad de Huelva, 2009.
34. **CORBETT L.W., and MERZ R.E.** *Asphalt Binder Hardening in the Michigan Test Road, After 18 years of Service.* Michigan : Transportation Research Record, 1975. 34.
35. **R. HERRERA-NÁJERA, G. GARCÍA, H. XICOTÉNCATL, & L. MEDINA.** *Efecto de la composición del bloque elastomérico de sbs y sebes en las propiedades reológicas de asfaltos modificados.* Mexico : Revista Mexicana de Ingeniería química, 2011. 133-144.
36. **CORTÉS VARGAS, Hector A.** *Análisis del proceso de oxidación del asfalto colombiano.* Bogota Colombia : FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL, 2012.
37. **PETERSEN, J. C.** *Chapter 14 Chemical Composition of Asphalt as Related to Asphalt Durability.* s.l. : Asphaltenes and Asphalts, 2000.

38. **HERRINGTON P.R., WU Y., FORBES M.C.** *Rheological modification of bitumen with.* Fuel : s.n., 1999. 78.
39. **PETROPERÚ.** *Ficha de Datos de Seguridad - Asfalto Solido 85/100 PEN.* Lima : s.n., 2019.
40. **BAHIA, H., Anderson, R., & TURNER, P.** *Characterization of asphalt binders in Superpave mix design.* Washington, D.C. : Transportation Research Board, National Research Council, 2007.
41. **YIN., JIMING y Lv, SHENYUE WANG y FANREN.** *Improving the short-term aging resistance of asphalt by addition of crumb rubber radiated by microwave and impregnated in epoxidized soybean oil.* Jiangsu China : Construction and Building Materials, 2013. 712-719.
42. **ASSOCIATION OF ASPHALT PAVING TECHNOLOGISTS (AAPT).** *Asphalt Paving Technology: Association of Asphalt Paving Technologists-Proceedings of the Technical Sessions.* 2016.
43. **ISACSSON, U., & LU, X.** *Aging of Asphalt Binders: Chemical and Physical Changes.* Springer : In Asphalt Materials Science and Technology, 2012.
44. **GAO, H., WEN, H., LIU, G., & WANG, J.** *Investigation of Volatile Organiz Compounds Emissions from Asphalt Pavements.* s.l. : Construction and building materials, 2016.
45. **BHASIN, A., MOHAMMAD, L., & BUTTON, J.** *Fundamental of Asphalt Engineering.* s.l. : CRC Press, 2013.
46. **AIREY, G. D.** *State of the art report on ageing test methods for bituminous pavement materials.* s.l. : International Journal of Pavement Engineering, 2003. 4.
47. **SHEN, S., WANG, Y., LIU, J., HUANG, X., & YU, J.** *Aging Effects on Mechanical Properties of Asphalt Mixtures.* s.l. : Construction and Building Materials, 2013. 842-848.
48. **GOH, S. W., WANG, D., YOU, Z., & WHITE, G.** *Effect of Aging on Asphalt-Aggregate Adhesion and Moisture Sensitivity.* s.l. : Journal of Materials in Civil Engineering, 2017.

49. **KENNEDY, T. W., & AUSTIN, A. M.** *Susceptibility of hot mix asphalt binders to rutting and cracking: literature review and interpretation.* Washington, D.C. : Strategic Highway Research Program, 1999.
50. **MTC.** *Manual de ensayo de materiales.* Lima : s.n., 2016.
51. *Heavy duty asphalt pavement in Pensylvannia: An evaluation for rutting.* **P.S. KANDHAL, S.A. CROSS y E.R. BROWN.** 2, s.l. : NCAT report, 1993, Vol. 93. 283.
52. **OYEKUNLE, L. O.** *Influence of Chemical Composition on the Physical Characteristics of Paving Asphalts.* Estados Unidos : Petroleum Science and Technology, 2007.
53. **INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. INVIAS.** Bogota : s.n., 2007.
54. **Ministerio de Transportes y Comunicaciones.** *Manual de Carreteras - Especificaciones Tecnicas Generales de la Construcción.* 2013.
55. **SALAMANCA ARCE, G. J.** *Influencia de la contaminación salina en el envejecimiento prematuro de mezclas y tratamientos asfálticos.* Santiago de Chile : s.n., 2007.
56. **THENOUX, G.** *Durability of Bituminous Binder.* England : Master Science Thesis - University of Birmingham, 1983.
57. **THURSTON R.R., KNOWLES E.C.** *Asphalt and Its Constituents. Oxidation at Service Temperatures.* s.l. : Ind. Eng. Chem., 1941. 320-324.
58. **ATENCIA H., Olga.** *Análisis de los Procesos de Oxidación de Asfaltos Colombianos en inmersión bajo agua.* Bogotá D.C. : Pontificia Universidad Javeriana, 2011.
59. **RAJAGOPAL, K. R., y J. M. KRISHNAN.** *Review of the uses and modeling of bitumen from ancient to modern times.* s.l. : Appl. Mech. Rev, 2003.
60. **SHATTUCK, C. L.** *Measurement of the Resistance of Oil Asphalts (50-60 Pen) to Changes in Penetration and Ductility at Plant Mixing Temperatures, Proceedings.* s.l. : Association of Asphalt Paving, 1940. 203.

61. **LEWIS, R. H., WELBOM, J. Y.** *Report on the Properties of the Residues of 50-60 and 85-100 Penetration Asphalts from Oven Tests and Exposure.* s.l. : Association of Asphalt Paving Technologists, 1940. 157.
62. **LEWIS, R. H., HALSTEAD, W. J.** *Behavior of Asphalts in Thin Film Oven Test.* s.l. : Public Roads, 1946. 220-226.
63. **VALLERGA, B. A. MONISMITH, C. L., GRANTHEM, K.** *A Study of Some Factors Influencing the Weathering of Paving Asphalts.* Texas : Association of Asphalt Paving Technologists, 1957. 126-150.
64. **TAXLER, R.N.** *Relation between asphalt composition and hardening by volatilization and oxidation.* Texas : Proceedings Association of Asphalt Paving Technologist, 1961. 359-377.
65. **C., CHÁVEZ-VALENCIA L.E y HERNÁNDEZ-BARRIGA.** *Modelación del envejecimiento de los pavimentos asfálticos.* Guanajuato : Ingeniería Investigación y Tecnología - Universidad de Guanajuato, 2011.
66. **PETERSEN, J. C.** *Chemical Composition of Asphalt as Related to Asphalt Durability: State of the Art.* s.l. : ransportation Research Board, 1984. pp. 13-30.
67. **LAU C.K., LUNSFORD K.M., GLOVERC.J., DAVISON R.R., BULLIN J.A.** *Reaction Rates and Hardening Susceptibilities as Determined from POV Aged Asphalts.* s.l. : Transportation Research Record, 1992.
68. **LIN, M. S.** *The formation of asphaltenes and its impact on the chemical and physical properties of asphalts.* s.l. : Ed. UMI, 1995.
69. **DOMKE H., DAVISON R. R., y GLOVER C. J.** *Effect of Oxygen Pressure on Asphalt Oxidation Kinetics.* s.l. : Ind. Eng. Chem. Res., 2000. 592-598.
70. **C., CHÁVEZ-VALENCIA L.E y HERNÁNDEZ-BARRIGA.** *Modelación del envejecimiento de los pavimentos asfálticos.* Guanajuato : Ingeniería Investigación y Tecnología - Universidad de Guanajuato, 2011.
71. **GAWELL, I., y K. BAGINSKA.** *Effect of chemical nature on the susceptibility of asphalt to aging.* s.l. : Taylor & Francis, 2004. 1261-1271.

72. **QI, YUTAI, y FENGXIU WANG.** *Study and evaluation of aging performance of petroleum asphalts and their constituents during oxygen absorption. II. Chemical group composition and structure changes.* s.l. : Petroleum Science and Technology, 2004. 236-274.
73. **COPLANTZ, A., MOLINER, E., & NAVARRO, F. J.** *Application of antioxidants in Asphalt mixtures.* s.l. : Materiales de construccion.
74. **AI-BAYATI, A., & ZOOROB, S.** *Review of antioxidant additives for asphalt binder.* s.l. : Construction and Building Materials, 2014.
75. *Evaluating the effectiveness of phosphoric anhydride antioxidants on long-term aging of asphalt binder.* **HABIB, M., ABDELRAHMAN, M., & ZOOROB, S.** 5, s.l. : Journal of Materials in Civil Engineering, 2016, Vol. 28.
76. **ARIAS, FIDIAS.** *El Proyecto de Investigación: Introducción a la metodología científica.* Caracas : Episteme, 2012. 6.
77. **JIMENEZ PANEQUE, Rosa.** *Metodología de la investigación.* La Habana : s.n., 1998.
78. **MENDOZA, HERNÁNDEZ-SAMPIERI y.** *Metodología de la investigación.* Mexico : Mc Graw Hill Educacion, 2010.
79. **ROSALES NAVARRO, Tulio.** *Mezcla asfáltica altamente modificada con polímeros elastómero termoplástico sintético para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas.* Lima-Peru : Universidad Ricardo Palma, 2022.
80. **GARCÉS PAZ, Hugo.** *Investigación científica.* Quito : s.n., 2000.
81. **TROCHIM, W. M. K., & DONNELLY, J. P.** *The Research Methods Knowledge Base.* s.l. : Atomic Dog, 2008. 3.
82. **ANASTASI, A., & URBINA, S.** *Psychological Testing.* New Jersey : Prentice Hall, 1997. 3.
83. **ISO.** *ISO in Brief: A simple guide to the International Organization for Standardization.* 2019.
84. **SHAPIRO, S. S., & WILK, M. B.** *An analysis of variance test for normality (complete samples).* s.l. : Biometrika, 1965. 591-611.

85. **KOLMOGOROV, A. N., & SMIRNOV, N. V.** *Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione.* s.l. : Giornale dell'Istituto Italiano degli Attuari, 1933. 83-91.

86. **CROSS, Wayne W. Daniel y Chad L.** *Biostatistics: A Foundation for Analysis in the Health Sciences.* Georgia : Wiley, 2013.

## ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

MATRIZ DE CONSISTENCIA					
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	MÉTODO
<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuál es el efecto de la adición de guinda como agente antioxidante en el proceso de envejecimiento a corto plazo del cemento asfáltico de penetración 85-100 - Huancayo 2021?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar cuál es el efecto de la adición de guinda como agente antioxidante en el proceso de envejecimiento a corto plazo del cemento asfáltico de penetración 85-100 - Huancayo 2021.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La adición de la guinda, afecta significativamente como agente antioxidante en el proceso de envejecimiento a corto plazo del cemento asfáltico de PEN 85-100 - Huancayo 2021.</li> </ul>	VI: GUINDA	D1: Porcentajes de adición del 5% D2: Porcentajes de adición del 10% D3: Porcentajes de adición del 15% D4: Porcentajes de adición del 20%	<b>Método de la investigación:</b> Científico <b>Tipo de investigación:</b> Aplicada
<b>PROBLEMA ESPECÍFICO</b>	<b>OBJETIVO ESPECÍFICO</b>	<b>HIPÓTESIS ESPECÍFICA</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuál es el efecto de la adición de guinda como agente antioxidante en la viscosidad del cemento asfáltico de penetración 85-100 - Huancayo 2021?</li> <li>¿Cuál es el efecto de la adición de guinda como agente antioxidante en la susceptibilidad térmica del cemento asfáltico de penetración 85-100 - Huancayo 2021?</li> <li>¿Cuál es el efecto de la adición de la guinda como agente antioxidante en estabilidad y fluencia de Marshall de la mezcla asfáltica elaborada con cemento asfáltico envejecido de PEN 85-100 - Huancayo 2021?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Examinar cuál es el efecto de la adición de la guinda como agente antioxidante en la viscosidad del cemento asfáltico de PEN 85-100 - Huancayo 2021.</li> <li>Analizar cuál es el efecto de la adición de la guinda como agente antioxidante en la susceptibilidad térmica del cemento asfáltico de PEN 85-100 - Huancayo 2021.</li> <li>Evaluar cuál es el efecto de la adición de la guinda (Prunus capulí) como agente antioxidante en la estabilidad y fluencia de Marshall de la mezcla asfáltica elaborada con cemento asfáltico PEN 85-100 - Huancayo 2021.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El efecto de la adición de la guinda como antioxidante, disminuye la viscosidad del cemento asfáltico de PEN 85-100 - Huancayo 2021.</li> <li>El efecto de la adición de la guinda como agente antioxidante, disminuye la susceptibilidad térmica del cemento asfáltico de PEN 85-100 - Huancayo 2021.</li> <li>El efecto de la adición de la guinda como agente antioxidante, aumenta la estabilidad y disminuye la Fluencia Marshall de la mezcla asfáltica elaborada con cemento asfáltico de PEN 85-100 - Huancayo 2021.</li> </ul>	VD: ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFÁLTICO	D1: Propiedades físicas D2: Propiedades mecánicas	<b>Nivel de investigación:</b> Explicativo <b>Diseño de la investigación:</b> Cuasi Experimental <b>Población:</b> Criterio de inclusión: La población de estudio serán las mezclas asfálticas producidas en caliente con pen 80-100, diseñadas específicamente para su aplicación en carpetas asfálticas. <b>Muestra:</b> 2489 mililitros de asfalto para los ensayos de viscosidad y susceptibilidad térmica, 15 briquetas que fueron utilizados para el ensayo de Marshall.

## ANEXO 2: MATRIZ OPERACIONAL

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE VALORACIÓN	NORMATIVA
VARIABLE INDEPENDIENTE: Guinda	La guinda contiene antocianinas y los ácidos fenólicos ayudan a neutralizar los radicales libres y proteger las células del daño oxidativo (28).	La variable independiente se operacionaliza mediante su granulometría. La adición de la guinda pulverizada mediante en ensayo de granulometría se utilizará el material más fino para adicionar a la mezcla asfáltica en diferentes porcentajes	D1: Porcentajes de adición del 5% D2: Porcentajes de adición del 10% D3: Porcentajes de adición del 15% D4: Porcentajes de adición del 20%	I1: Tamaño de partículas (Granulometría) I2: Peso en seco (gr)	Ordinal  Razón	MTC E 204 - Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos
VARIABLE DEPENDIENTE: Envejecimiento A Corto Plazo Del Cemento Asfáltico	El envejecimiento del asfalto a corto plazo se produce cuando los componentes del mismo entran en contacto con el oxígeno, lo que provoca cambios químicos en la viscosidad, la sensibilidad térmica del asfalto y las características mecánicas de la mezcla asfáltica (3).	La variable dependiente se operacionaliza mediante sus dimensiones: Viscosidad, Susceptibilidad Térmica, estabilidad, fluencia y vacíos del ensayo de Marshall	D1: Propiedades físicas  D2: Propiedades mecánicas	I1.- Viscosidad (Pas) I2.- Susceptibilidad Térmica (Pa.s/°C)  I3.- Estabilidad del ensayo de Marshall () I4.-Fluencia del ensayo Marshall ()	Razón	ASTM D4402 - Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer  ASTM D4402 - Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated

						<p>Temperatures Using a Rotational Viscometer</p> <p>ASTM D5- MTC E 304</p> <p>Ensayo de penetración de materiales bituminosos</p>
						<p>ASTM D6927 - Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures.</p> <p>MTC E 504 Resistencia de Mezclas Bituminosas Empleando el Aparato Marshall.</p>

## ANEXO 3: FICHA TÉCNICA



### Cementos Asfálticos (NTP 321.051.2002)

#### ESPECIFICACIONES DE CEMENTOS ASFÁLTICOS

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

NTP: Norma Técnica Peruana

ASTM: American Society for Testing Materials

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials

Nota 1: El uso del Spot Test es opcional. Cuando sea especificado, se debe indicar el tipo de solvente utilizado en la determinación del ensayo: Nafta estándar, Nafta-xileno, Heptano-xileno y también en el caso de utilizar solventes con xileno, el porcentaje de xileno utilizado.

## ANEXO 4: RESULTADOS DE LABORATORIO

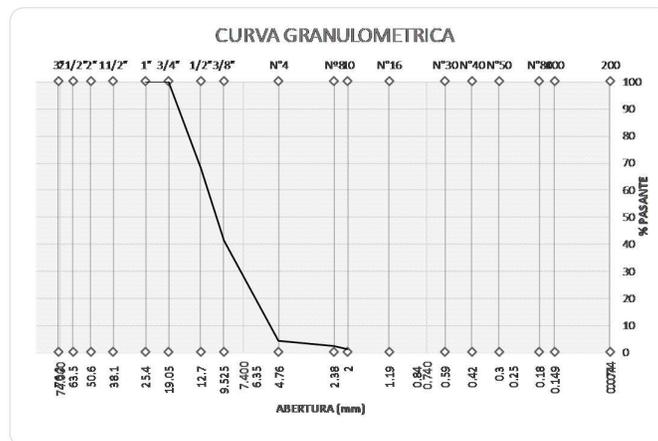


### LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO:	EFECTO DE LA ADICIÓN GUINDA COMO AGENTE ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFALTICO PENETRACIÓN 85-100 - HUANCAYO 2021		
CLIENTE:	BACH. SHIRLEY LESLIE BERNAOLA POMA	CERTIFICADO:	2021-521
MATERIAL:	AGREGADO GRUESOS Y FINOS	TEMPERATURA AMBIENTE:	19°C
MUESTRA:	GRANULOMETRIA DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS	FECHA:	20/10/2021

#### ANALISIS GRANULOMETRIA DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

GRAVA CHANCADA TM 1/2"					
Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumulad	% Pasante
Tamiz	mm				
tm - 3"	76.200				
tm - 2 1/2"	63.550				
tm - 2"	50.800				
tm - 1 1/2"	38.110	0.00	0.00	0.00	0.00
tm - 1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 1/2"	12.700	956.70	31.89	31.89	68.11
tm - 3/8"	9.525	795.50	26.52	58.41	41.59
tm - N°4	4.750	1120.40	37.35	95.75	4.25
tm - N°8	2.550	52.60	1.75	97.51	2.49
tm - N°10	2.000	40.30	1.34	98.85	1.15
tm - N°16	1.185	11.50	0.38	99.23	0.77
tm - N°30	0.600	6.60	0.22	99.45	0.55
tm - N°40	0.425	3.70	0.12	99.58	0.42
tm - N°50	0.295	1.40	0.05	99.62	0.38
tm - N°80	0.175	1.30	0.04	99.67	0.33
tm - N°100	0.148	3.50	0.12	99.78	0.22
tm - N°200	0.072	1.10	0.04	99.82	0.18
< tm - N°200		5.40	0.18	100.00	0.00
<b>TOTAL MUESTRA =</b>		3000.00	gr		



Juan Ernesto Tejada Diaz  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDFIX E.L.R.L.

Julio Adrian Rojas Poma  
 TECNICO DE LABORATORIO  
 COLDFIX E.L.R.L.

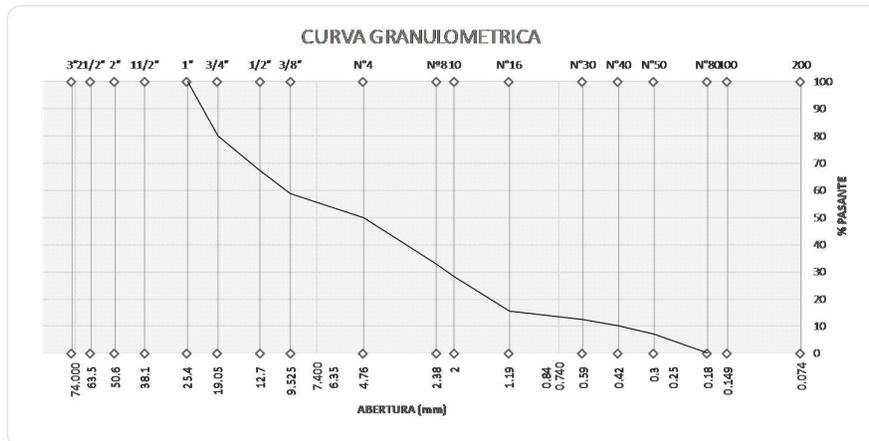


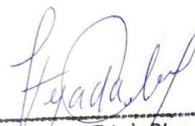
## LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO:** EFECTO DE LA ADICIÓN GUINDA COMO AGENTE ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFALTICO PENETRACIÓN 85-100 - HUANCAYO 2021  
**CLIENTE:** BACH. SHIRLEY LESLIE BERNAOLA POMA **CERTIFICADO:** 2021 522  
**MATERIAL:** AGREGADO GRUESOS Y FINOS **TEMPERATURA AMBIENTE:** 19°C  
**MUESTRA:** GRANULOMETRIA DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS **FECHA:** 20/10/2021

### ANALISIS GRANULOMETRIA DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

ARENA NATURAL					
Malla	mm	Peso (gr)	% Reten.	% Reten.	% Pasante
tm - 3"	76.200				
tm - 2 1/2"	63.550				
tm - 2"	50.800				
tm - 1 1/2"	38.110	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°4	4.750	301.30	20.09	20.09	79.91
tm - N°8	2.550	187.70	12.51	32.60	67.40
tm - N°10	2.000	126.50	8.43	41.03	58.97
tm - N°16	1.185	137.30	9.15	50.19	49.81
tm - N°30	0.600	251.50	16.77	66.95	33.05
tm - N°40	0.425	72.80	4.85	71.81	28.19
tm - N°50	0.295	191.60	12.77	84.58	15.42
tm - N°80	0.175	41.50	2.77	87.35	12.65
tm - N°100	0.148	35.60	2.37	89.72	10.28
tm - N°200	0.072	45.70	3.05	92.77	7.23
< tm - N°200		108.50	7.23	100.00	0.00
<b>TOTAL MUESTRA =</b>		1500.00	gr		



  
 Juan Ernesto Tejada Diaz  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

  
 Julio Adrian Rojas Poma  
 TECNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

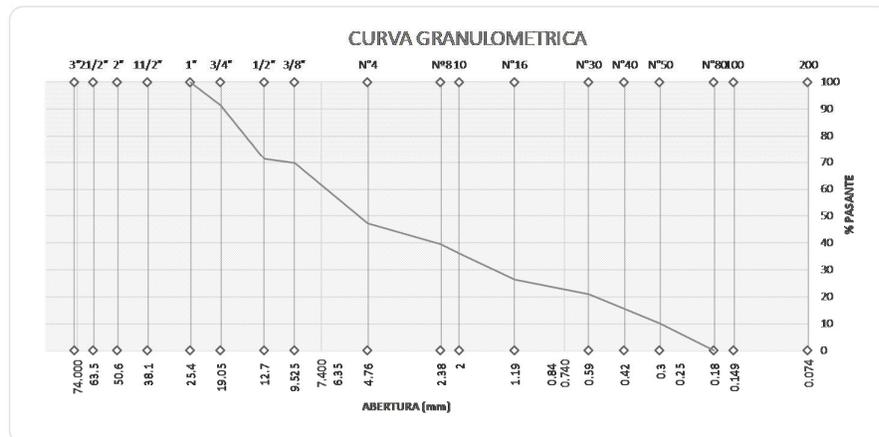


## LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO:** EFECTO DE LA ADICIÓN GUINDA COMO AGENTE ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFALTICO PENETRACIÓN 85-100 - HUANCAYO 2021  
**CLIENTE:** BACH. SHIRLEY LESLIE BERNAOLA POMA **CERTIFICADO:** 2021-523  
**MATERIAL:** AGREGADO GRUESOS Y FINOS **TEMPERATURA AMBIENTE:** 19°C  
**MUESTRA:** GRANULOMETRIA DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS **FECHA:** 20/10/2021

### ANÁLISIS GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

ARENA PROCESADA					
Malla		Peso (gr)	% Reten.	% Reten.	% Pasante
Tamiz	mm				
tm - 3"	76.200				
tm - 2 1/2"	63.550				
tm - 2"	50.800				
tm - 1 1/2"	38.110	0.00	0.00	0.00	0.00
tm - 1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°4	4.750	132.80	8.85	8.85	91.15
tm - N°8	2.550	297.20	19.81	28.67	71.33
tm - N°10	2.000	27.40	1.83	30.49	69.51
tm - N°16	1.185	331.70	22.11	52.61	47.39
tm - N°30	0.600	117.50	7.83	60.44	39.56
tm - N°40	0.425	54.80	3.65	64.09	35.91
tm - N°50	0.295	144.30	9.62	73.71	26.29
tm - N°80	0.175	78.40	5.23	78.94	21.06
tm - N°100	0.148	81.50	5.43	84.37	15.63
tm - N°200	0.072	83.80	5.59	89.96	10.04
< tm - N°200		150.60	10.04	100.00	0.00
<b>TOTAL MUESTRA =</b>		1500.00	gr		



  
 Juan Ernesto Tejada Diaz  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

  
 Julio Achicaney Rojas Poma  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

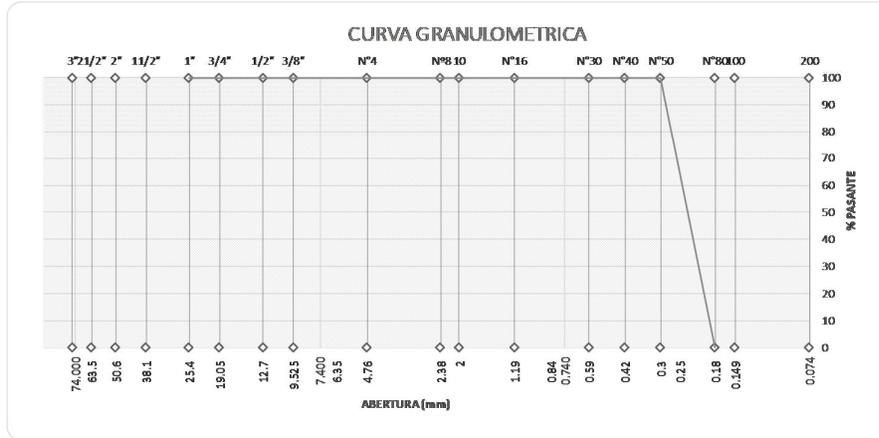


# LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO:** EFECTO DE LA ADICIÓN GUINDA COMO AGENTE ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFALTICO PENETRACIÓN 85-100 - HUANCAYO 2021  
**CLIENTE:** BACH. SHIRLEY LESLIE BERNAOLA POMA **CERTIFICADO:** 2021-524  
**MATERIAL:** AGREGADO GRUESOS Y FINOS **TEMPERATURA AMBIENTE:** 19°C  
**MUESTRA:** GRANULOMETRIA DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS **FECHA:** 20/10/2021

## ANÁLISIS GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

FILLER					
Malla		Peso (gr)	% Reten.	% Reten.	% Pasante
Tamiz	mm				
tm - 3"	76.200				
tm - 2 1/2"	63.550				
tm - 2"	50.800				
tm - 1 1/2"	38.110	0.00	0.00	0.00	0.00
tm - 1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°8	2.550	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°10	2.000	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°16	1.185	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°30	0.600	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°40	0.425	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°50	0.295	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°80	0.175	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°100	0.148	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°200	0.072	0.00	0.00	0.00	100.00
< tm - N°200		500.00	100.00	100.00	0.00
<b>TOTAL MUESTRA =</b>		500.00		gr	



**Juan Ernesto Tejada Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

**Julio Adrian Rojas Poma**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

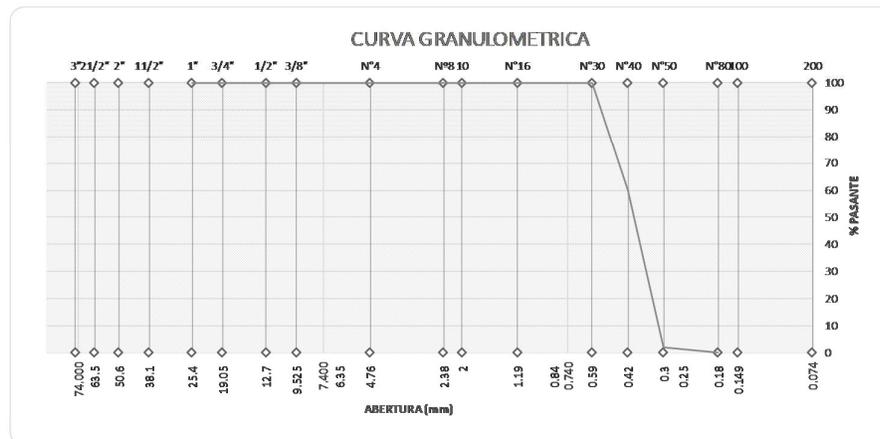


## LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO:** EFECTO DE LA ADICIÓN GUINDA COMO AGENTE ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFALTICO PENETRACIÓN 85-100 - HUANCAYO 2021  
**CLIENTE:** BACH. SHIRLEY LESLIE BERNAOLA POMA **CERTIFICADO:** 2021-525  
**MATERIAL:** GUINDA PULVERIZADA **TEMPERATURA AMBIENTE:** 19°C  
**MUESTRA:** GRANULOMETRIA DE GUINDA PUVERIZADA **FECHA:** 20/10/2021

### ANÁLISIS GRANULOMETRIA DE GUINDA PULVERIZADA

GRANULOMETRIA DE GUINDA PULVERIZADA					
Malla		Peso (gr)	% Reten.	% Reten.	% Pasante
Tamiz	mm				
tm - 3"	76.200				
tm - 2 1/2"	63.550				
tm - 2"	50.800				
tm - 1 1/2"	38.110	0.00	0.00	0.00	0.00
tm - 1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°8	2.550	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°10	2.000	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°16	1.185	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°30	0.600	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°40	0.425	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°50	0.295	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°80	0.175	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°100	0.148	200.00	40.00	40.00	60.00
tm - N°200	0.072	290.00	58.00	98.00	2.00
< tm - N°200		10.00	2.00	100.00	0.00
<b>TOTAL MUESTRA =</b>		<b>500.00</b>	<b>gr</b>		



  
**Juan Ernesto Tejada Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDFIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Poma**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 COLDFIX E.I.R.L.

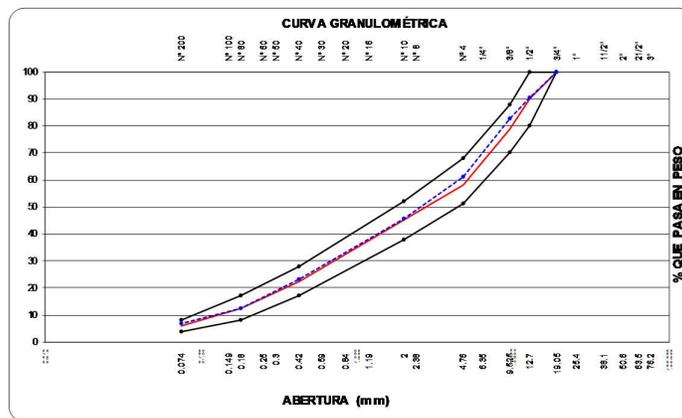


# LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO:** EFECTO DE LA ADICIÓN GUINDA COMO AGENTE ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFALTICO PENETRACIÓN 85-100 - HUANCAYO 2021  
**CLIENTE:** BACH. SHIRLEY LESLIE BERNAOLA POMA **CERTIFICADO:** 2021-526  
**MATERIAL:** AGREGADO GRUESOS Y FINOS **TEMPERATURA AMBIENTE:** 19°C  
**MUESTRA:** **FECHA:** 20/10/2021

### COMBINACION TEORICA DE AGRGADOS PARA ASFALTO - MAC 2

Malla		Porcentajes pasantes (%)						Especificaciones
Tamiz	mm.	PIEDRAS		ARENAS		filler	MEZCLA	MAC - 2
Agregados		pedra 3/4"	pedra 1/2"	Arena Procesada	Arena Chancada	filler	100%	MTC
Proporciones		3/4"	1/2"	NATURAL	CHANCADA	filler		
1"	25.4	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00		
3/4"	19.05	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100 - 100
1/2"	12.7	0.00	68.11	100.00	100.00	100.00	90.43	80 - 100
3/8"	9.525	0.00	41.59	100.00	100.00	100.00	82.48	70 - 88
Nº 4	4.76	0.00	4.25	79.91	91.15	100.00	61.12	51 - 68
Nº 8	2.36	0.00	2.49	67.40	71.33	100.00	49.55	
Nº 10	2	0.00	1.15	58.97	69.51	100.00	45.51	38 - 52
Nº 16	1.18	0.00	0.77	49.81	47.39	100.00	34.80	
Nº 30	0.6	0.00	0.55	33.05	39.56	100.00	26.12	
Nº 40	0.42	0.00	0.42	28.19	35.91	100.00	23.13	17 - 28
Nº 50	0.3	0.00	0.38	15.42	26.29	100.00	15.34	
Nº 80	0.18	0.00	0.33	12.65	21.06	100.00	12.61	8 - 17
Nº 100	0.15	0.00	0.22	10.28	15.63	100.00	9.92	
Nº 200	0.074	0.00	0.18	7.23	10.04	100.00	6.97	4 - 8
pasa		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	



Juan Ernesto Tejada Diaz  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

Julio Adrian Rojas Poma  
 TECNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

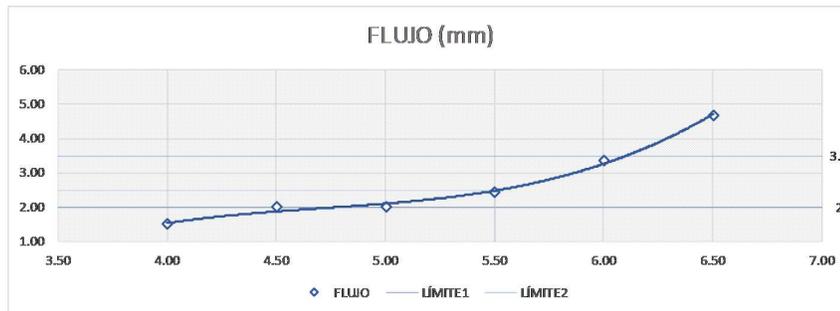
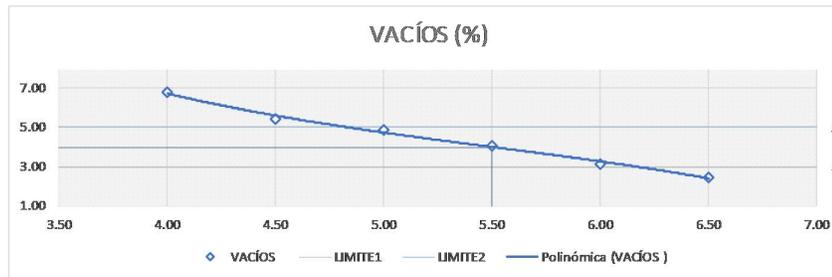


## LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO:** EFECTO DE LA ADICIÓN GUINDA COMO AGENTE ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFALTICO PENETRACIÓN 85-100 - HUANCAYO 2021  
**CLIENTE:** BACH. SHIRLEY LESLIE BERNAOLA POMA **CERTIFICADO:** 2021-527  
**MATERIAL:** CEMENTO ASFALTICO 85-100 **TEMPERATURA AMBIENTE:** 19°C  
**MUESTRA:** DISEÑO **FECHA:** 20/10/2021

### RESISTENCIA DE MEZCLA BITUMINOSAS EMPLEANDO MARSHALL

CEMENTO ASFALTICO	%	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50
VACIOS	%	6.79	5.41	4.89	4.09	3.10	2.46
FLUJO	mm	1.50	2.00	2.00	2.45	3.35	4.68
ESTABILIDAD	kg	968.10	1363.70	1460.13	1287.90	954.43	761.40



Juan Ernesto Tejada Diaz  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

Julio A. Maza Rojas Poma  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

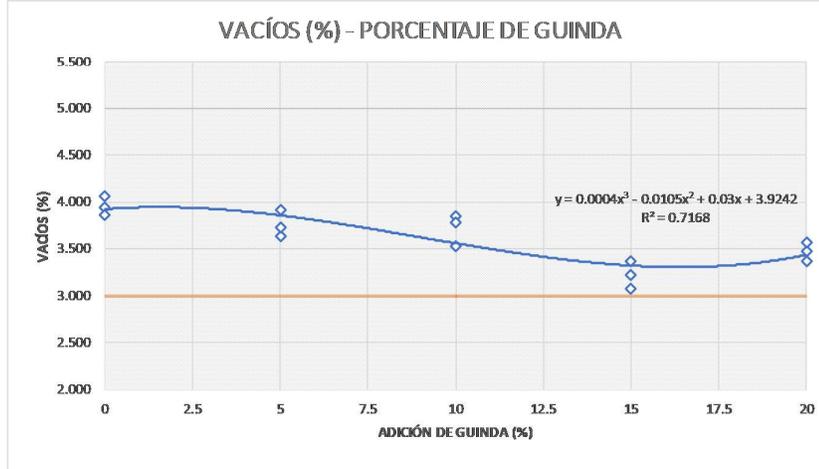


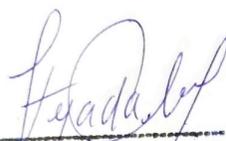
## LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO:** ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFALTICO PENETRACIÓN 85-100 - HUANCAYO 2021  
**CLIENTE:** BACH. SHIRLEY LESLIE BERNAOLA POMA **CERTIFICADO:** 2021-532  
**MATERIAL:** CEMENTO ASFALTICO 85-100 **TEMPERATURA AMBIENTE:** 19°C  
**MUESTRA:** CEMENTO ASFALTICO 85-100 + % GUINDA PULVERIZADA **FECHA:** 23/10/2021

### RESISTENCIA DE MEZCLA BITUMINOSAS EMPLEANDO MARSHALL + ADITIVO DE GUINDA PULVERIZADA

% DE VACIOS EN EL ASFALTO						
# DE BRIQUETAS	ADICION DE GUINDA	ADICION DE GUINDA(%)	Psec(Gr)	Psat(Gr)	PSSS(Gr)	VACIOS(%)
1		0%	1249.80	716.80	1255.30	3.94
2	0.00	0%	1249.10	717.90	1256.80	4.06
3		0%	1249.50	719.90	1257.80	3.85
4		5%	1248.00	720.00	1256.00	3.63
5	0.05	5%	1246.00	721.00	1257.70	3.91
6		5%	1249.00	715.00	1252.00	3.73
7		10%	1250.00	719.00	1255.30	3.53
8	0.10	10%	1250.00	720.00	1258.10	3.85
9		10%	1247.00	715.00	1251.40	3.78
10		15%	1247.00	716.00	1250.10	3.36
11	0.15	15%	1246.00	723.00	1255.90	3.22
12		15%	1251.00	721.00	1255.20	3.07
13		20%	1251.00	727.00	1263.40	3.47
14	0.20	20%	1250.00	723.00	1259.50	3.56
15		20%	1247.00	724.00	1258.10	3.36



  
 Juan Ernesto Tejada Diaz  
 JEFE DE LABORATORIO  
 GOLDFIX E.I.R.L.

  
 Julio Adrian Rojas Poma  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 GOLDFIX E.I.R.L.



## LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO:** EFECTO DE LA ADICIÓN GUINDA COMO AGENTE ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFALTICO PENETRACIÓN 85-100 - HUANCAYO 2021

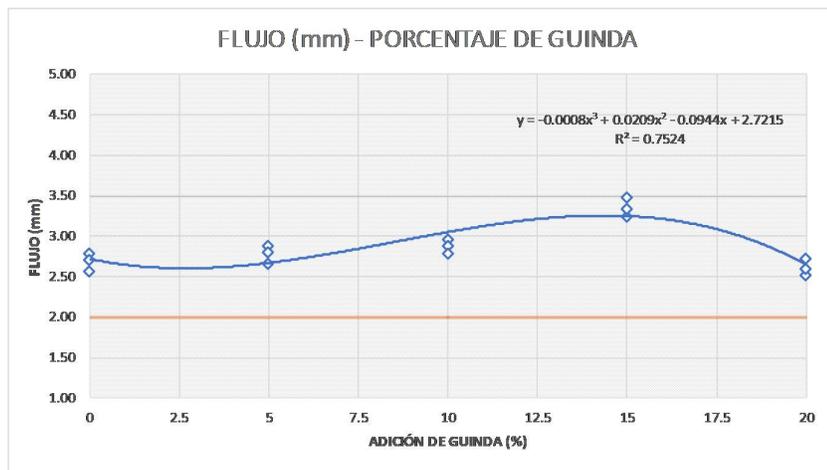
**CLIENTE:** BACH. SHIRLEY LESLIE BERNAOLA POMA **CERTIFICADO:** 2021-533

**MATERIAL:** CEMENTO ASFALTICO 85-100 **TEMPERATURA AMBIENTE:** 19°C

**MUESTRA:** CEMENTO ASFALTICO 85-100 + % GUINDA PULVERIZADA **FECHA:** 23/10/2021

### RESISTENCIA DE MEZCLA BITUMINOSAS EMPLEANDO MARSHALL + ADITIVO DE GUINDA PULVERIZADA

FLUJO EN EL ASFALTO					
# DE BRIQUETAS	ADICION DE GUINDA	ADICION DE GUINDA(%)	LIMITE MAXIMO	LIMITE MINIMO	FLUJO(mm)
1		0%			2.80
2	0.00	0%	2.00	3.50	2.57
3		0%			2.71
4		5%			2.88
5	0.05	5%	2.00	3.50	2.81
6		5%			2.66
7		10%			2.97
8	0.10	10%	2.00	3.50	2.89
9		10%			2.79
10		15%			3.49
11	0.15	15%	2.00	3.50	3.25
12		15%			3.35
13		20%			2.53
14	0.20	20%	2.00	3.50	2.73
15		20%			2.61



*Juan Ernesto Tejada Diaz*  
 Juan Ernesto Tejada Diaz  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

*Julio Adrian Rojas Poma*  
 Julio Adrian Rojas Poma  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.



## LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO:** EFECTO DE LA ADICIÓN GUINDA COMO AGENTE ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFALTICO PENETRACIÓN 85-100 - HUANCAYO 2021

**CLIENTE:** BACH. SHIRLEY LESLIE BERNAOLA POMA **CERTIFICADO:** 2021-534

**MATERIAL:** CEMENTO ASFALTICO 85-100 **TEMPERATURA AMBIENTE:** 19°C

**MUESTRA:** CEMENTO ASFALTICO 85-100 + % GUINDA PULVERIZADA **FECHA:** 23/10/2021

### RESISTENCIA DE MEZCLA BITUMINOSAS EMPLEANDO MARSHALL + ADITIVO DE GUINDA PULVERIZADA

ESTABILIDAD DEL ASFALTO					
# DE BRIQUETAS	ADICION DE GUINDA	ADICION DE GUINDA(%)	ESTABILIDAD SIN	FV	ESTABILIDAD CORREGIDA(kg)
1		0%	1229.0	1.00	1229.0
2	0.00	0%	1307.0	1.00	1307.0
3		0%	1288.0	0.99	1275.1
4		5%	1371.0	1.00	1371.0
5	0.05	5%	1418.0	1.00	1418.0
6		5%	1359.0	0.99	1345.4
7		10%	1564.0	1.00	1564.0
8	0.10	10%	1609.0	1.00	1609.0
9		10%	1594.0	0.99	1578.1
10		15%	1559.0	1.00	1559.0
11	0.15	15%	1589.0	1.00	1589.0
12		15%	1547.0	0.98	1516.1
13		20%	1329.0	1.00	1329.0
14	0.20	20%	1239.0	1.00	1239.0
15		20%	1297.0	1.00	1297.0



*Juan Ernesto Tejada Diaz*  
 Juan Ernesto Tejada Diaz  
 JEFE DE LABORATORIO  
 GOLDFIX E.I.R.L.

*Julio Adrian Rojas Poma*  
 Julio Adrian Rojas Poma  
 TECNICO DE LABORATORIO  
 GOLDFIX E.I.R.L.



# LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

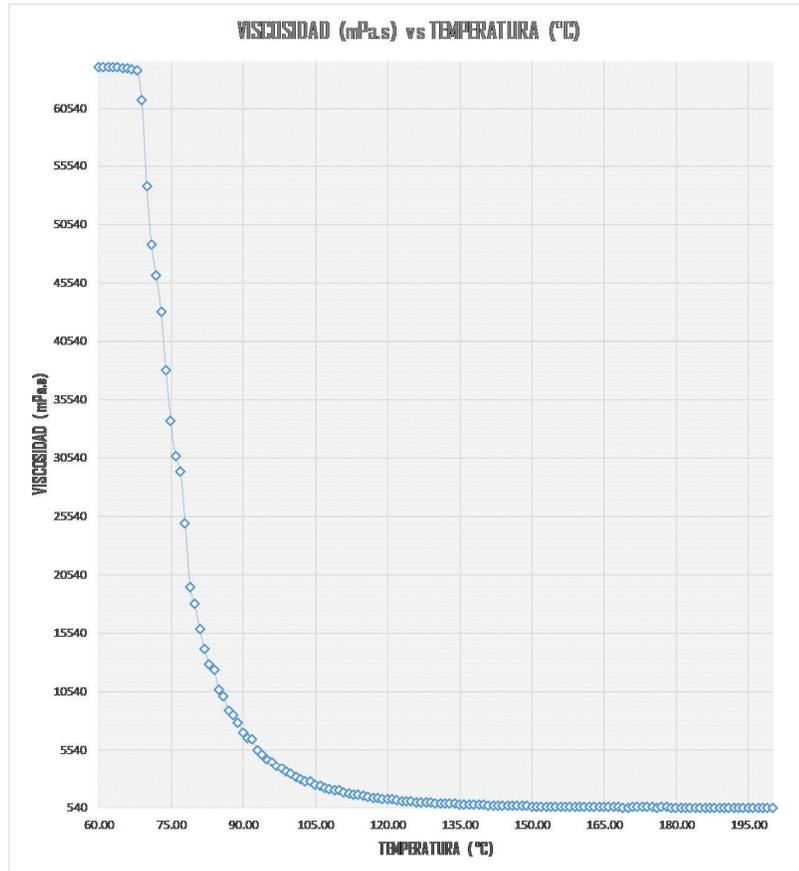
**PROYECTO:** EFECTO DE LA ADICIÓN GUINDA COMO AGENTE ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFALTICO PENETRACIÓN 85-100 - HUANCAYO 2021

**CLIENTE:** BACH. SHIRLEY LESLIE BERNAOLA POMA **CERTIFICADO:** 2021-539

**MATERIAL:** CEMENTO ASFALTICO 85-100 **TEMPERATURA AMBIENTE:** 19°C

**MUESTRA:** M.01 100% CEMENTO ASFALTICO 85-100 **FECHA:** 27/10/2021

TEMPERATURA (°C)	Viscosidad (mPa.s)
60.00	64100
61.00	64100
62.00	64100
63.00	64100
64.00	64100
65.00	64000
66.00	64000
67.00	63900
68.00	63800
69.00	61200
70.00	53800
71.00	48800
72.00	46100
73.00	43000
74.00	38000
75.00	33700
76.00	30700
77.00	29400
78.00	24900
79.00	19500
80.00	18000
81.00	15900
82.00	14200
83.00	12900
84.00	12400
85.00	10700
86.00	10100
87.00	8870
88.00	8510



Página 1 de 2

*Juan Ernesto Tejada Diaz*  
 Juan Ernesto Tejada Diaz  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

*Julio Adrian Rojas Poma*  
 Julio Adrian Rojas Poma  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.



# LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO:** EFECTO DE LA ADICIÓN GUINDA COMO AGENTE ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFALTICO PENETRACIÓN 85-100 - HUANCAYO 2021

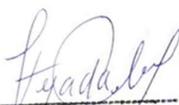
**CLIENTE:** BACH. SHIRLEY LESLIE BERNAOLA POMA **CERTIFICADO:** 2021-539

**MATERIAL:** CEMENTO ASFALTICO 85-100 **TEMPERATURA AMBIENTE:** 19°C

**MUESTRA:** M.01 100% CEMENTO ASFALTICO 85-100 **FECHA:** 27/10/2021

T (°C)	Viscosidad (mPa.s)	T (°C)	Viscosidad (mPa.s)
60.00	64100.00	89.00	7880.00
61.00	64100.00	90.00	7030.00
62.00	64100.00	91.00	6520.00
63.00	64100.00	92.00	6410.00
64.00	64100.00	93.00	5520.00
65.00	64000.00	94.00	5120.00
66.00	64000.00	95.00	4700.00
67.00	63900.00	96.00	4510.00
68.00	63800.00	97.00	4120.00
69.00	61200.00	98.00	3890.00
70.00	53800.00	99.00	3610.00
71.00	48800.00	100.00	3440.00
72.00	46100.00	101.00	3140.00
73.00	43000.00	102.00	2980.00
74.00	38000.00	103.00	2780.00
75.00	33700.00	104.00	2750.00
76.00	30700.00	105.00	2500.00
77.00	29400.00	106.00	2370.00
78.00	24900.00	107.00	2220.00
79.00	19500.00	108.00	2130.00
80.00	18000.00	109.00	2050.00
81.00	15900.00	110.00	1970.00
82.00	14200.00	111.00	1820.00
83.00	12900.00	112.00	1710.00
84.00	12400.00	113.00	1630.00
85.00	10700.00	114.00	1600.00
86.00	10100.00	115.00	1550.00
87.00	8870.00	116.00	1490.00
88.00	8510.00	117.00	1400.00

T (°C)	Viscosidad (mPa.s)	T (°C)	Viscosidad (mPa.s)
118.00	1340.00	147.00	683.00
119.00	1300.00	148.00	675.00
120.00	1250.00	149.00	666.00
121.00	1220.00	150.00	642.00
122.00	1160.00	151.00	645.00
123.00	1120.00	152.00	640.00
124.00	1070.00	153.00	631.00
125.00	1050.00	154.00	624.00
126.00	1010.00	155.00	616.00
127.00	977.00	156.00	610.00
128.00	964.00	157.00	603.00
129.00	953.00	158.00	601.00
130.00	927.00	159.00	594.00
131.00	892.00	160.00	591.00
132.00	888.00	161.00	589.00
133.00	857.00	162.00	591.00
134.00	848.00	163.00	572.00
135.00	804.00	164.00	581.00
136.00	797.00	165.00	574.00
137.00	781.00	166.00	570.00
138.00	769.00	167.00	566.00
139.00	750.00	168.00	562.00
140.00	746.00	169.00	555.00
141.00	734.00	170.00	549.00
142.00	731.00	171.00	566.00
143.00	727.00	172.00	564.00
144.00	708.00	173.00	568.00
145.00	699.00	174.00	560.00
146.00	694.00	175.00	561.00

  
 Juan Ernesto Tejada Diaz  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDFIX E.I.R.L.

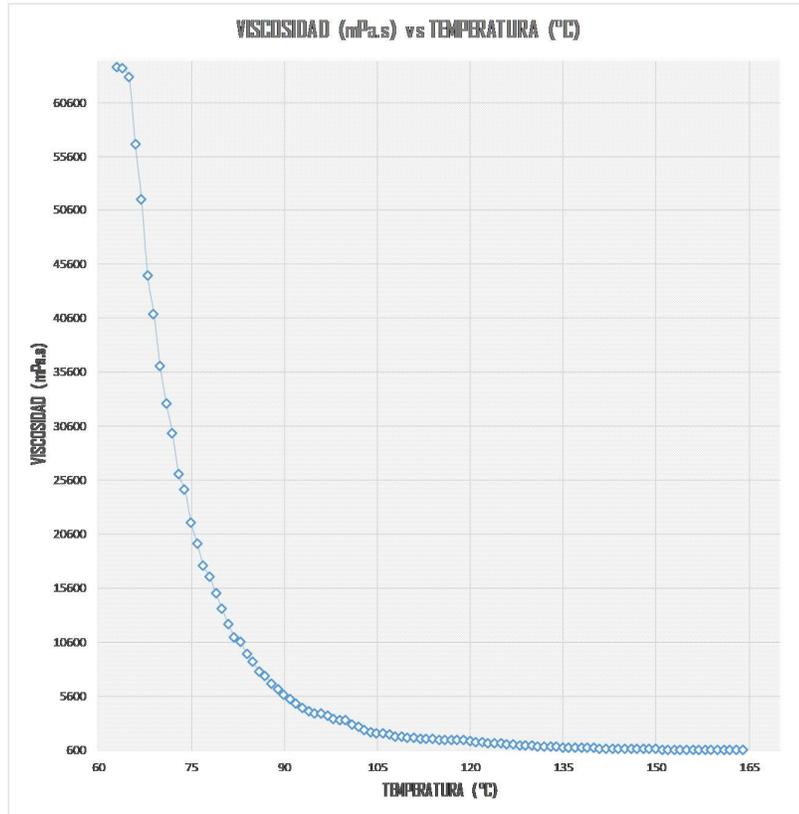
  
 Julio Adrian Rojas Poma  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 COLDFIX E.I.R.L.

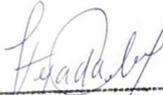


## LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO:** EFECTO DE LA ADICIÓN GUINDA COMO AGENTE ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFALTICO PENETRACIÓN 85-100 - HUANCAYO 2021  
**CLIENTE:** BACH. SHIRLEY LESLIE BERNAOLA POMA **CERTIFICADO:** 2021-540  
**MATERIAL:** CEMENTO ASFALTICO 85-100 **TEMPERATURA AMBIENTE:** 19°C  
**MUESTRA:** M.02 95% CEMENTO ASFALTICO 85-100 + 5%GUINDA **FECHA:** 27/10/2021

TEMPERATURA (°C)	Viscosidad (mPas)
63	64000
64	63800
65	63000
66	56800
67	51600
68	44500
69	41000
70	36200
71	32700
72	29900
73	26200
74	24700
75	21700
76	19700
77	17700
78	16700
79	15100
80	13700
81	12300
82	11100
83	10600
84	9500
85	8760
86	7880
87	7520
88	6800
89	6210
90	5780
91	5330



  
 Juan Ernesto Tejada Diaz  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

  
 Julio Adrian Rojas Poma  
 TECNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

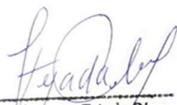


## LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO:** EFECTO DE LA ADICIÓN GUINDA COMO AGENTE ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFALTICO PENETRACIÓN 85-100 - HUANCAYO 2021  
**CLIENTE:** BACH. SHIRLEY LESLIE BERNAOLA POMA **CERTIFICADO:** 2021-540  
**MATERIAL:** CEMENTO ASFALTICO 85-100 **TEMPERATURA AMBIENTE:** 19°C  
**MUESTRA:** M.02 95% CEMENTO ASFALTICO 85-100 + 5%GUINDA **FECHA:** 27/10/2021

T (°C)	Viscosidad (mPa.s)	T (°C)	Viscosidad (mPa.s)
63	64000	92	4880
64	63800	93	4530
65	63000	94	4260
66	56800	95	4060
67	51600	96	4040
68	44500	97	3770
69	41000	98	3540
70	36200	99	3370
71	32700	100	3360
72	29900	101	2980
73	26200	102	2790
74	24700	103	2530
75	21700	104	2270
76	19700	105	2210
77	17700	106	2160
78	16700	107	2030
79	15100	108	1880
80	13700	109	1820
81	12300	110	1810
82	11100	111	1730
83	10600	112	1700
84	9500	113	1670
85	8760	114	1640
86	7880	115	1610
87	7520	116	1610
88	6800	117	1580
89	6210	118	1580
90	5780	119	1580
91	5330	120	1490

T (°C)	Viscosidad (mPa.s)	T (°C)	Viscosidad (mPa.s)
121	1400	150	694
122	1340	151	683
123	1300	152	675
124	1250	153	666
125	1220	154	642
126	1160	155	645
127	1120	156	640
128	1070	157	631
129	1050	158	631
130	1010	159	640
131	977	160	631
132	964	161	624
133	953	162	617
134	927	163	609
135	892	164	604
136	888		
137	857		
138	848		
139	804		
140	797		
141	781		
142	769		
143	750		
144	746		
145	734		
146	731		
147	727		
148	708		
149	699		

  
 Juan Ernesto Tejada Diaz  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

  
 Julio Adrian Rojas Poma  
 TECNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

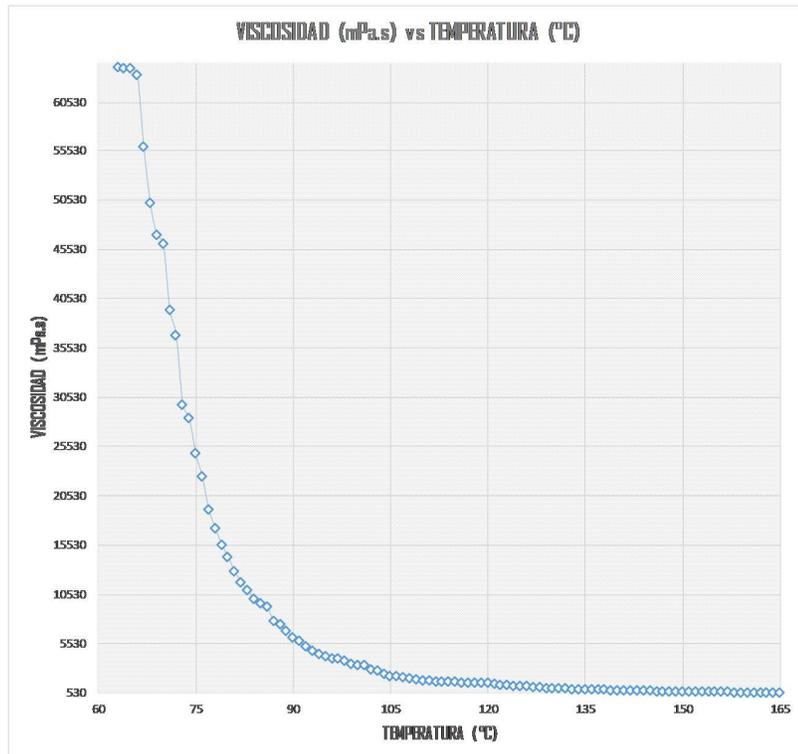
Página 2 de 2



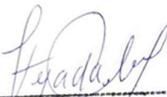
## LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO:** EFECTO DE LA ADICIÓN GUINDA COMO AGENTE ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFALTICO PENETRACIÓN 85-100 - HUANCAYO 2021  
**CLIENTE:** BACH. SHIRLEY LESLIE BERNAOLA POMA **CERTIFICADO:** 2021-541  
**MATERIAL:** CEMENTO ASFALTICO 85-100 **TEMPERATURA AMBIENTE:** 19°C  
**MUESTRA:** M.03 90% CEMENTO ASFALTICO 85-100 + 10%GUINDA **FECHA:** 27/10/2021

TEMPERATURA (°C)	Viscosidad
63	64100
64	64000
65	64000
66	63300
67	55900
68	50200
69	47000
70	46100
71	39400
72	36800
73	29800
74	28400
75	24800
76	22500
77	19200
78	17300
79	15600
80	14300
81	12900
82	11800
83	11000
84	10100
85	9600
86	9290
87	7820
88	7520
89	6800
90	6210
91	5780



Página 1 de 2

  
 Juan Ernesto Tejada Diaz  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

  
 Julio Agustín Rojas Poma  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.



## LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO:** EFECTO DE LA ADICIÓN GUINDA COMO AGENTE ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFALTICO PENETRACIÓN 85-100 - HUANCAYO 2021

**CLIENTE:** BACH. SHIRLEY LESLIE BERNAOLA POMA **CERTIFICADO:** 2021-541

**MATERIAL:** CEMENTO ASFALTICO 85-100 **TEMPERATURA AMBIENTE:** 19°C

**MUESTRA:** M.03 90% CEMENTO ASFALTICO 85-100 + 10%GUINDA **FECHA:** 27/10/2021

T (°C)	Viscosidad (mPa.s)	T (°C)	Viscosidad (mPa.s)
63	64100	92	5330
64	64000	93	4880
65	64000	94	4530
66	63300	95	4260
67	55900	96	4060
68	50200	97	4040
69	47000	98	3770
70	46100	99	3540
71	39400	100	3370
72	36800	101	3360
73	29800	102	2980
74	28400	103	2790
75	24800	104	2530
76	22500	105	2270
77	19200	106	2210
78	17300	107	2160
79	15600	108	2030
80	14300	109	1880
81	12900	110	1820
82	11800	111	1810
83	11000	112	1730
84	10100	113	1700
85	9600	114	1670
86	9290	115	1640
87	7820	116	1610
88	7520	117	1610
89	6800	118	1580
90	6210	119	1580
91	5780	120	1580

T (°C)	Viscosidad (mPa.s)	T (°C)	Viscosidad (mPa.s)
121	1490	150	699
122	1400	151	694
123	1340	152	683
124	1300	153	675
125	1250	154	666
126	1220	155	642
127	1160	156	645
128	1120	157	642
129	1070	158	632
130	1050	159	625
131	1010	160	608
132	977	161	593
133	964	162	589
134	953	163	581
135	927	164	574
136	892	165	568
137	888		
138	857		
139	848		
140	804		
141	797		
142	781		
143	769		
144	750		
145	746		
146	734		
147	731		
148	727		
149	708		

*Juan Ernesto Tejada Diaz*  
 Juan Ernesto Tejada Diaz  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDFIX E.L.R.L.

*Julio A. Juan Rojas Poma*  
 Julio A. Juan Rojas Poma  
 TECNICO DE LABORATORIO  
 COLDFIX E.L.R.L.

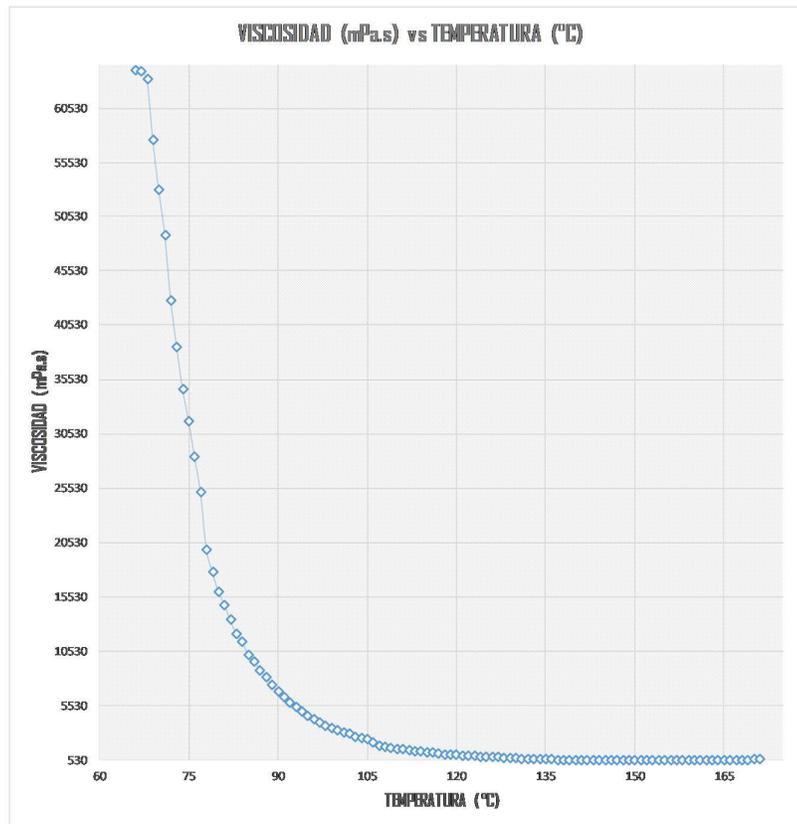
Página 2 de 2



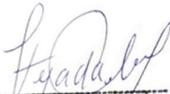
## LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO:** EFECTO DE LA ADICIÓN GUINDA COMO AGENTE ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFALTICO PENETRACIÓN 85-100 - HUANCAYO 2021  
**CLIENTE:** BACH. SHIRLEY LESLIE BERNAOLA POMA **CERTIFICADO:** 2021-542  
**MATERIAL:** CEMENTO ASFALTICO 85-100 **TEMPERATURA AMBIENTE:** 19°C  
**MUESTRA:** M.04 85% CEMENTO ASFALTICO 85-100 + 15%GUINDA **FECHA:** 27/10/2021

TEMPERATURA (°C)	Viscosidad
66	64000
67	63900
68	63200
69	57600
70	52900
71	48800
72	42800
73	38500
74	34600
75	31700
76	28400
77	25100
78	19900
79	17800
80	16000
81	14800
82	13400
83	12100
84	11400
85	10200
86	9540
87	8810
88	8120
89	7450
90	6830
91	6280
92	5860
93	5380
94	5020



Página 1 de 2

  
 Juan Ernesto Tejada Diaz  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDFIX E.I.R.L.

  
 Julio A. Bernales Poma  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 COLDFIX E.I.R.L.

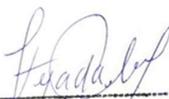


## LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO:** EFECTO DE LA ADICIÓN GUINDA COMO AGENTE ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFALTICO PENETRACIÓN 85-100 - HUANCAYO 2021  
**CLIENTE:** BACH. SHIRLEY LESLIE BERNAOLA POMA **CERTIFICADO:** 2021-542  
**MATERIAL:** CEMENTO ASFALTICO 85-100 **TEMPERATURA AMBIENTE:** 19°C  
**MUESTRA:** M.04 85% CEMENTO ASFALTICO 85-100 + 15%GUINDA **FECHA:** 27/10/2021

T (°C)	Viscosidad (mPa.s)	T (°C)	Viscosidad (mPa.s)
66	64000	95	4570
67	63900	96	4270
68	63200	97	3960
69	57600	98	3710
70	52900	99	3510
71	48800	100	3300
72	42800	101	3070
73	38500	102	2940
74	34600	103	2700
75	31700	104	2580
76	28400	105	2420
77	25100	106	2200
78	19900	107	1860
79	17800	108	1780
80	16000	109	1650
81	14800	110	1580
82	13400	111	1540
83	12100	112	1430
84	11400	113	1360
85	10200	114	1290
86	9540	115	1240
87	8810	116	1190
88	8120	117	1160
89	7450	118	1080
90	6830	119	1050
91	6280	120	1000
92	5860	121	970
93	5380	122	940
94	5020	123	900

T (°C)	Viscosidad (mPa.s)	T (°C)	Viscosidad (mPa.s)
124	870	153	549
125	840	154	542
126	800	155	548
127	785	156	543
128	764	157	545
129	731	158	547
130	706	159	542
131	671	160	551
132	659	161	554
133	648	162	550
134	638	163	544
135	620	164	549
136	611	165	543
137	604	166	541
138	597	167	542
139	583	168	548
140	574	169	544
141	568	170	545
142	567	171	541
143	560		
144	553		
145	554		
146	549		
147	547		
148	543		
149	552		
150	547		
151	545		
152	547		

  
 Juan Ernesto Tejada Diaz  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

  
 Julio Adrian Rojas Poma  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

Página 2 de 2



## LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

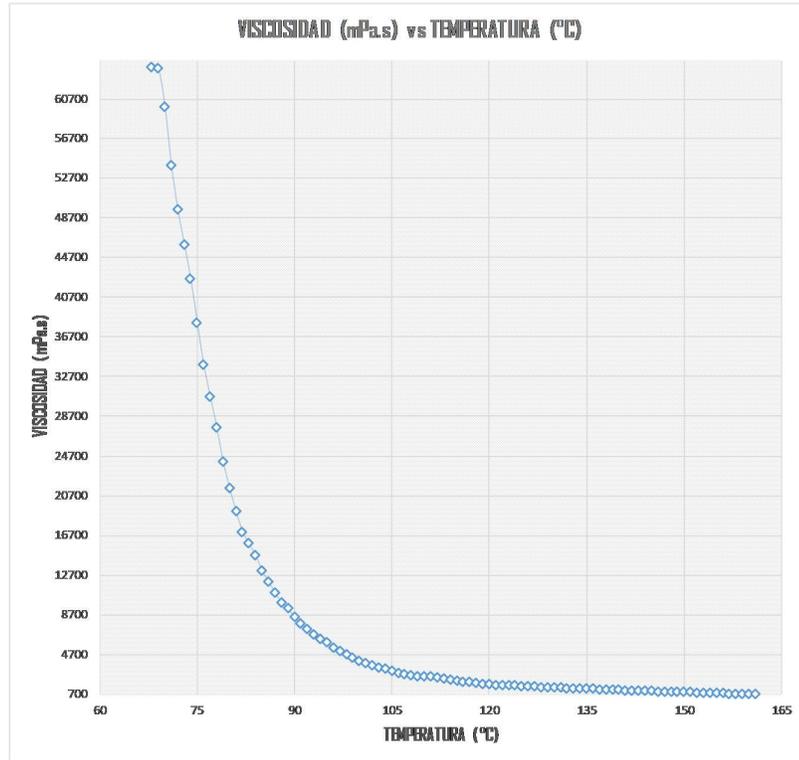
PROYECTO: EFECTO DE LA ADICIÓN GUINDA COMO AGENTE ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFALTICO PENETRACIÓN 85-100 - HUANCAYO 2021

CLIENTE: BACH. SHIRLEY LESLIE BERNAOLA POMA CERTIFICADO: 2021-543

MATERIAL: CEMENTO ASFALTICO 85-100 TEMPERATURA AMBIENTE: 19°C

MUESTRA: M.04 80% CEMENTO ASFALTICO 85-100 + 20%GUINDA FECHA: 27/10/2021

TEMPERATURA (°C)	Viscosidad
68	64000
69	63800
70	60000
71	54000
72	49500
73	46000
74	42500
75	38100
76	33900
77	30700
78	27600
79	24100
80	21500
81	19100
82	17100
83	15900
84	14700
85	13200
86	12100
87	11000
88	10000
89	9390
90	8500
91	7850
92	7310
93	6750
94	6330
95	5920
96	5380



Página 1 de 2

Juan Ernesto Tejada Diaz  
JEFE DE LABORATORIO  
COLDPIX E.L.R.L.

Julio A. Juan Rojas Poma  
TÉCNICO DE LABORATORIO  
COLDPIX E.L.R.L.



## LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO:** EFECTO DE LA ADICIÓN GUINDA COMO AGENTE ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFALTICO PENETRACIÓN 85-100 - HUANCAYO 2021

**CLIENTE:** BACH. SHIRLEY LESLIE BERNAOLA POMA **CERTIFICADO:** 2021-543

**MATERIAL:** CEMENTO ASFALTICO 85-100 **TEMPERATURA AMBIENTE:** 19°C

**MUESTRA:** M.04 80% CEMENTO ASFALTICO 85-100 + 20%GUINDA **FECHA:** 27/10/2021

T (°C)	Viscosidad (mPa.s)						
68	64000	97	5020	126	1510	155	848
69	63800	98	4700	127	1470	156	804
70	60000	99	4410	128	1430	157	797
71	54000	100	4090	129	1410	158	781
72	49500	101	3880	130	1380	159	769
73	46000	102	3620	131	1360	160	750
74	42500	103	3420	132	1330	161	746
75	38100	104	3270	133	1310		
76	33900	105	3040	134	1290		
77	30700	106	2880	135	1270		
78	27600	107	2750	136	1250		
79	24100	108	2640	137	1225		
80	21500	109	2570	138	1212		
81	19100	110	2550	139	1180		
82	17100	111	2470	140	1160		
83	15900	112	2380	141	1130		
84	14700	113	2260	142	1110		
85	13200	114	2150	143	1080		
86	12100	115	2100	144	1060		
87	11000	116	2010	145	1040		
88	10000	117	1940	146	1020		
89	9390	118	1870	147	1000		
90	8500	119	1790	148	975		
91	7850	120	1740	149	962		
92	7310	121	1680	150	953		
93	6750	122	1640	151	927		
94	6330	123	1610	152	892		
95	5920	124	1580	153	888		
96	5380	125	1540	154	857		

  
Juan Ernesto Tejada Diaz  
JEFE DE LABORATORIO  
COLDPIX E.I.R.L.

  
Julio Adán Rojas Poma  
TÉCNICO DE LABORATORIO  
COLDPIX E.I.R.L.

Página 2 de 2



## LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO:** EFECTO DE LA ADICION GUINDA COMO AGENTE ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFALTICO PENETRACION 85-100 - HUANCAYO 2021

**CLIENTE:** BACH. SHIRLEY LESLIE BERNAOLA POMA **CERTIFICADO:** 2021-548

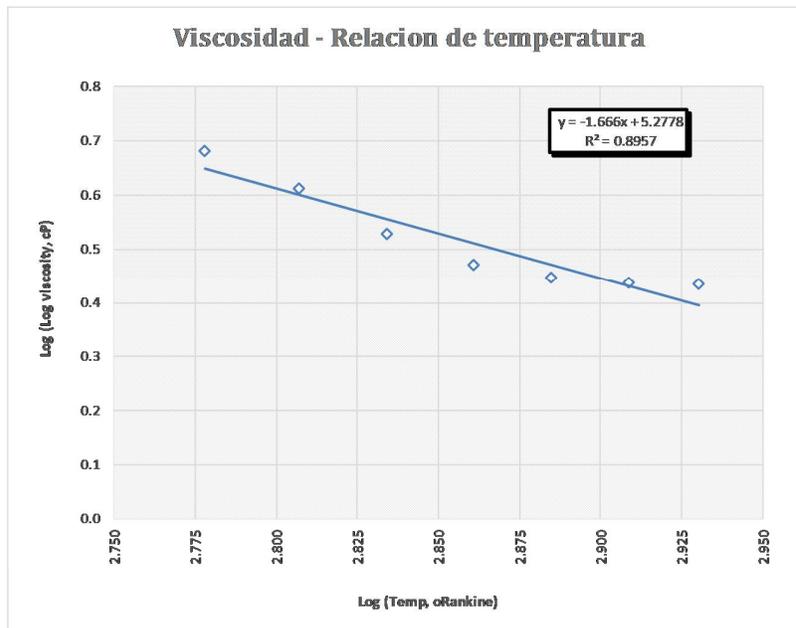
**MATERIAL:** CEMENTO ASFALTICO 85-100 **TEMPERATURA AMBIENTE:** 19°C

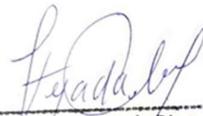
**MUESTRA:** M.01 CEMENTO ASFALTICO 85-100 **FECHA:** 02/11/2021

### Determinación de la Susceptibilidad Térmica

Temp. (°C)	Temp. (°F)	Log Temp (°Rankine)	Pen. (0.1mm)	Viscosidad (Poise)	Viscosidad (cP)	Log Log Visc (cP)	Ensayo
15	59.0	2.7149	7.1	3.85E+08	3.85E+10	1.02E+00	Penetracion
25	77.0	2.7297	7.8	3.07E+08	3.07E+10	1.02E+00	Penetracion

Temp. (°C)	Temp. (°F)	Log Temp (°Rankine)	Viscosidad (cP)	Log Log Visc (cP)	Ensayo
60	140.0	2.7779	64100	6.82E-01	Brookfield
83	181.4	2.8069	12900	6.14E-01	Brookfield
106	222.8	2.8341	2370	5.28E-01	Brookfield
130	266.0	2.8608	927	4.72E-01	Brookfield
153	307.4	2.8849	631	4.47E-01	Brookfield
177	350.6	2.9086	556	4.39E-01	Brookfield
200	392.0	2.9303	544	4.37E-01	Brookfield



  
 Juan Ernesto Tejada Diaz  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

  
 Julio Adrian Rojas Poma  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.



## LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO:** EFECTO DE LA ADICIÓN GUINDA COMO AGENTE ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFALTICO PENETRACIÓN 85-100 - HUANCAYO 2021

**CLIENTE:** BACH. SHIRLEY LESLIE BERNAOLA POMA **CERTIFICADO:** 2021-549

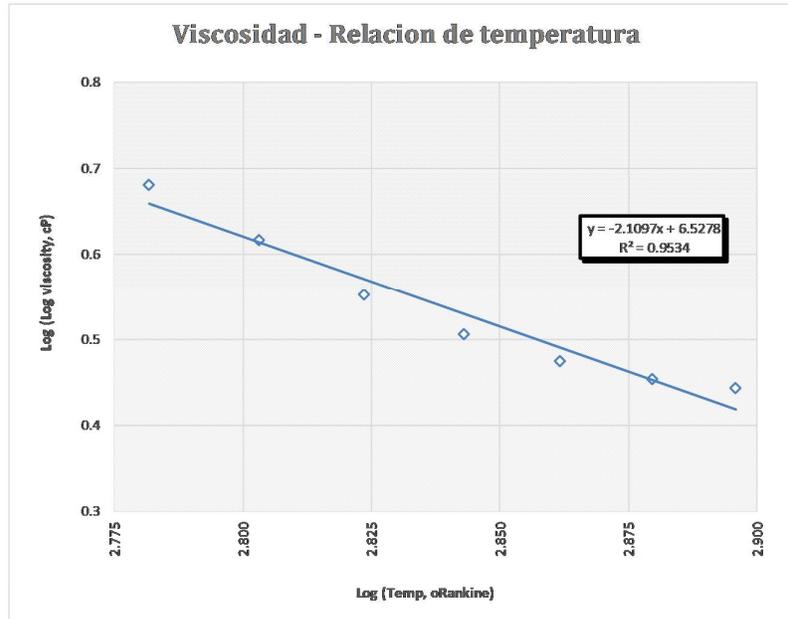
**MATERIAL:** CEMENTO ASFALTICO 85-100 **TEMPERATURA AMBIENTE:** 19°C

**MUESTRA:** M.02 CEMENTO ASFALTICO 85-100+5%GUINDA **FECHA:** 02/11/2021

### Determinación de la Susceptibilidad Térmica

Temp. (°C)	Temp. (°F)	Log Temp (°Rankine)	Pen. (0.1mm)	Viscosidad (Poise)	Viscosidad (cP)	Log Log Visc (cP)	Ensayo
15	59.0	2.7149	5.6	6.52E+08	6.52E+10	1.03E+00	Penetracion
25	77.0	2.7297	5.9	5.77E+08	5.77E+10	1.03E+00	Penetracion

Temp. (°C)	Temp. (°F)	Log Temp (°Rankine)	Viscosidad (cP)	Log Log Visc (cP)	Ensayo
63	145.4	2.7818	64000	6.82E-01	Brookfield
80	176.0	2.8033	13700	6.17E-01	Brookfield
97	206.6	2.8237	3770	5.53E-01	Brookfield
114	237.2	2.8432	1640	5.07E-01	Brookfield
131	267.8	2.8618	977	4.76E-01	Brookfield
148	298.4	2.8797	708	4.55E-01	Brookfield
164	327.2	2.8959	603	4.44E-01	Brookfield



*Juan Ernesto Tejada Diaz*  
 Juan Ernesto Tejada Diaz  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

*Julio Achán Rojas Poma*  
 Julio Achán Rojas Poma  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.



## LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO:** EFECTO DE LA ADICIÓN GUINDA COMO AGENTE ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFALTICO PENETRACIÓN 85-100 - HUANCAYO 2021

**CLIENTE:** BACH. SHIRLEY LESLIE BERNAOLA POMA **CERTIFICADO:** 2021-550

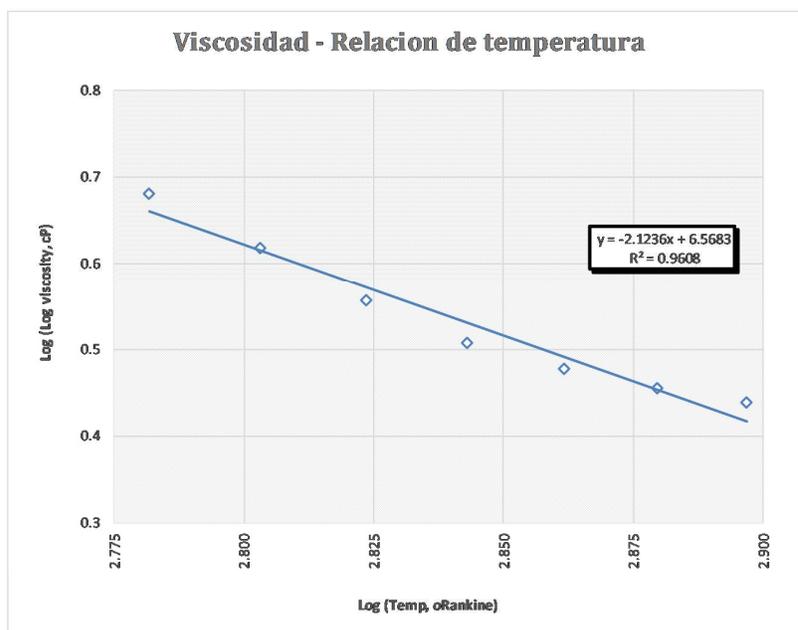
**MATERIAL:** CEMENTO ASFALTICO 85-100 **TEMPERATURA AMBIENTE:** 19°C

**MUESTRA:** M.03 CEMENTO ASFALTICO 85-100+10%GUINDA **FECHA:** 02/11/2021

### Determinación de la Susceptibilidad Térmica

Temp. (°C)	Temp. (°F)	Log Temp (°Rankine)	Pen. (0.1mm)	Viscosidad (Poise)	Viscosidad (cP)	Log Log Visc (cP)	Ensayo
15	59.0	2.7149	4.8	9.19E+08	9.19E+10	1.04E+00	Penetracion
25	77.0	2.7297	5.3	7.35E+08	7.35E+10	1.04E+00	Penetracion

Temp. (°C)	Temp. (°F)	Log Temp (°Rankine)	Viscosidad (cP)	Log Log Visc (cP)	Ensayo
63	145.4	2.7818	64100	6.82E-01	Brookfield
80	176.0	2.8033	14300	6.19E-01	Brookfield
97	206.6	2.8237	4040	5.57E-01	Brookfield
114	237.2	2.8432	1670	5.08E-01	Brookfield
131	267.8	2.8618	1010	4.78E-01	Brookfield
148	298.4	2.8797	727	4.57E-01	Brookfield
165	329.0	2.8969	564	4.40E-01	Brookfield



*Juan Ernesto Tejada Diaz*  
 Juan Ernesto Tejada Diaz  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

*Julio A. Poma Rojas Poma*  
 Julio A. Poma Rojas Poma  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.



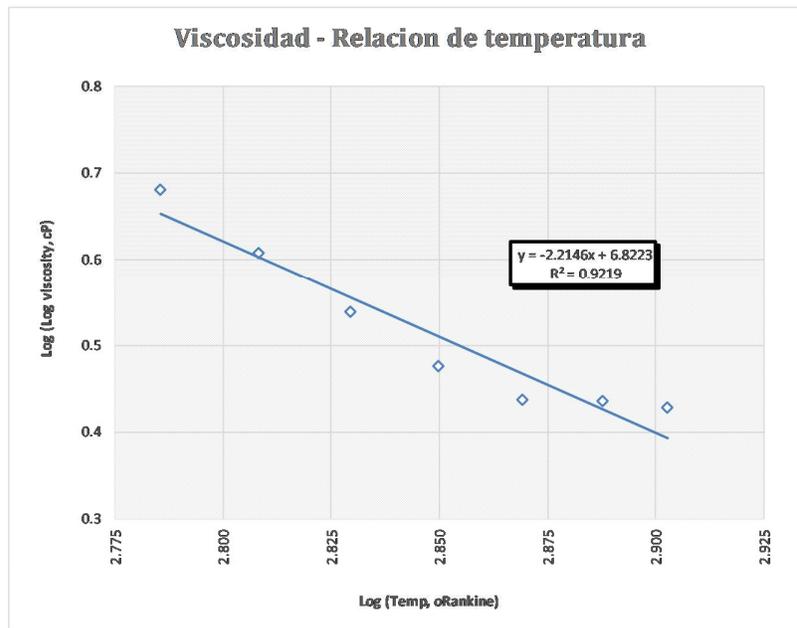
## LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO:** EFECTO DE LA ADICIÓN GUINDA COMO AGENTE ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFALTICO PENETRACIÓN 85-100 - HUANCAYO 2021  
**CLIENTE:** BACH. SHIRLEY LESLIE BERNAOLA POMA **CERTIFICADO:** 2021-551  
**MATERIAL:** CEMENTO ASFALTICO 85-100 **TEMPERATURA AMBIENTE:** 19°C  
**MUESTRA:** M.04 CEMENTO ASFALTICO 85-100+15%GUINDA **FECHA:** 02/11/2021

### Determinación de la Susceptibilidad Térmica

Temp. (°C)	Temp. (°F)	Log Temp (°Rankine)	Pen. (0.1mm)	Viscosidad (Poise)	Viscosidad (cP)	Log Log Visc (cP)	Ensayo
15	59.0	2.7149	4.8	9.19E+08	9.19E+10	1.04E+00	Penetracion
25	77.0	2.7297	5.3	7.35E+08	7.35E+10	1.04E+00	Penetracion

Temp. (°C)	Temp. (°F)	Log Temp (°Rankine)	Viscosidad (cP)	Log Log Visc (cP)	Ensayo
66	150.8	2.7857	64000	6.82E-01	Brookfield
84	183.2	2.8081	11400	6.08E-01	Brookfield
102	215.6	2.8295	2940	5.40E-01	Brookfield
120	248.0	2.8498	1000	4.77E-01	Brookfield
138	280.4	2.8693	555	4.38E-01	Brookfield
156	312.8	2.8879	543	4.37E-01	Brookfield
171	339.8	2.9028	489	4.30E-01	Brookfield



Juan Ernesto Tejada Diaz  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

Julio A. Rojas Poma  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.



## LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO:** EFECTO DE LA ADICIÓN GUINDA COMO AGENTE ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO DEL CEMENTO ASFALTICO PENETRACIÓN 85-100 - HUANCAYO 2021

**CLIENTE:** BACH. SHIRLEY LESLIE BERNAOLA POMA **CERTIFICADO:** 2021-552

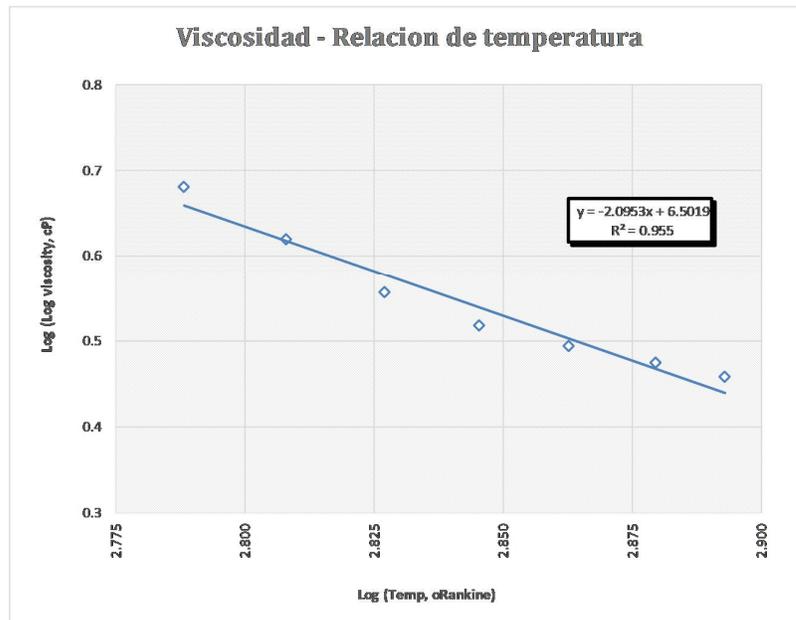
**MATERIAL:** CEMENTO ASFALTICO 85-100 **TEMPERATURA AMBIENTE:** 19°C

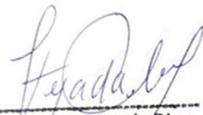
**MUESTRA:** M.05 CEMENTO ASFALTICO 85-100+20%GUINDA **FECHA:** 02/11/2021

### Determinación de la Susceptibilidad Térmica

Temp. (°C)	Temp. (°F)	Log Temp (°Rankine)	Pen. (0.1mm)	Viscosidad (Poise)	Viscosidad (cP)	Log Log Visc (cP)	Ensayo
15	59.0	2.7149	4.5	1.04E+09	1.04E+11	1.04E+00	Penetracion
25	77.0	2.7297	5.1	8.09E+08	8.09E+10	1.04E+00	Penetracion

Temp. (°C)	Temp. (°F)	Log Temp (°Rankine)	Viscosidad (cP)	Log Log Visc (cP)	Ensayo
		64000			
68	154.4	2.7882	64000	6.82E-01	Brookfield
84	183.2	2.8081	14700	6.20E-01	Brookfield
100	212.0	2.8272	4090	5.58E-01	Brookfield
116	240.8	2.8454	2010	5.19E-01	Brookfield
132	269.6	2.8629	1330	4.95E-01	Brookfield
148	298.4	2.8797	975	4.76E-01	Brookfield
161	321.8	2.8929	746	4.58E-01	Brookfield



  
 Juan Ernesto Tejada Diaz  
 JEFE DE LABORATORIO  
 GOLDFIX E.L.R.L.

  
 Julio Adhiza Rojas Poma  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 GOLDFIX E.L.R.L.

## ANEXO 5: PANEL FOTOGRÁFICO



Anexo 1: Guinda en estado natural



Anexo 2: Guinda en seco



Anexo 3: Molido de la guinda en seco



Anexo 4: Tamizado de guinda pulverizada



Anexo 5: Guinda pulverizada pasante del tamiz #100



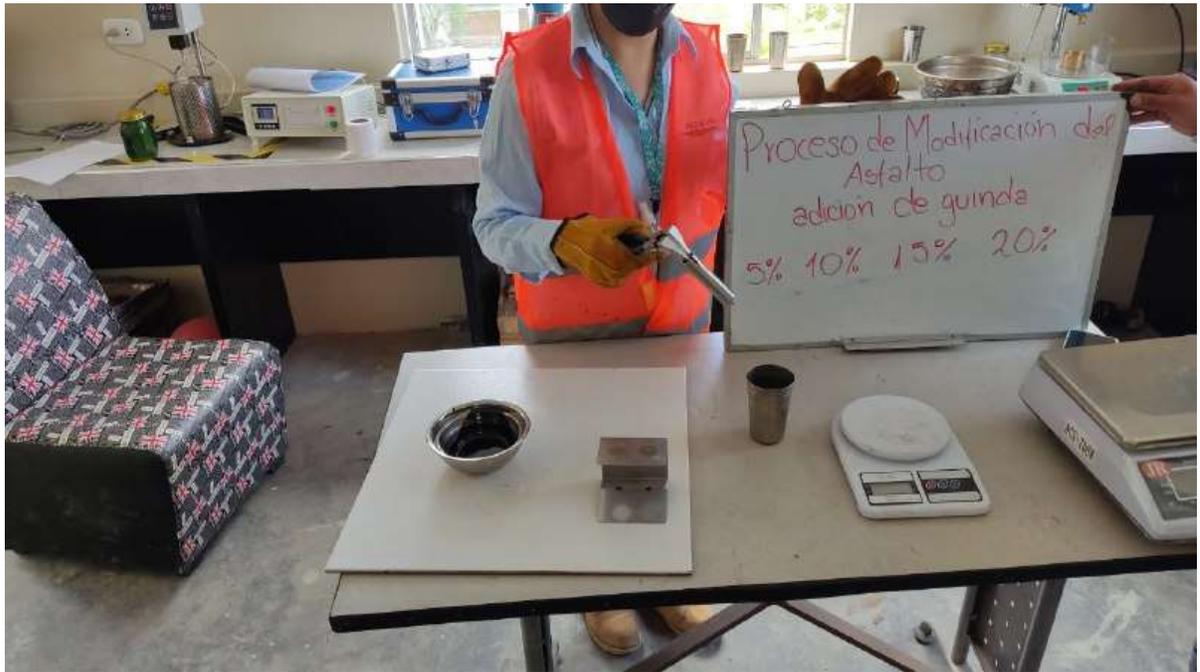
Anexo 6: extracción del cemento asfáltico para las muestras de los ensayos de viscosidad



Anexo 7: Acondicionamiento del asfalto para los ensayos de viscosidad



Anexo 8: Pesado de la guinda pulverizada porcentajes de adición del 5%, 10%, 15% y 20% con respecto del peso del cemento asfáltico.



Anexo 9: mezcla de la guinda pulverizada



Anexo 10: braseado de la muestra para el ensayo de viscosidad



Anexo 11: extracción de la muestra del soporte de la cápsula.



Anexo 12: colocado de la muestra con la ayuda de la pinza al contenedor térmico



Anexo 13: colocado del vástago



Anexo 14: colocado de la tapa aislante



Anexo 15: comienzo del ensayo de viscosidad



Anexo 16: toma de datos de la muestra para el ensayo de viscosidad



Anexo 17: fenómeno de ebullición del ligante asfáltico modificado con guinda pulverizada



Anexo 18: extracción del ligante asfáltico para los ensayos de penetración



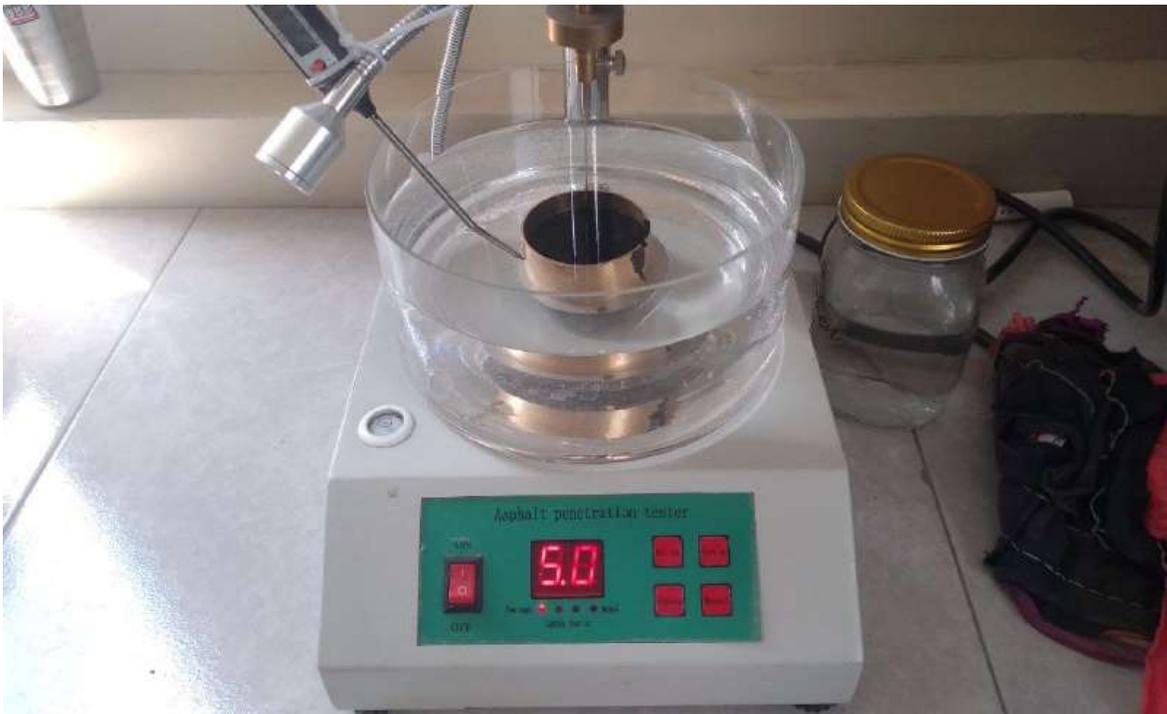
Anexo 19: Acondicionamiento del ligante asfáltico para los ensayos de penetración



Anexo 20: Muestra lista en el recipiente para el ensayo de penetración.



Anexo 21: Colocado de la muestra para en ensayo de penetración



Anexo 22: Toma de datos del ensayo de penetración



Anexo 23: Granulometría de los agregados



Anexo 24: Peso de los agregados por tamiz



Anexo 25: Categorizado de agregado por dimensiones para la mezcla asfáltica



Anexo 26: Peso de los agregados para la mezcla asfáltica



Anexo 27: Acondicionamiento de la mezcla de agregados a una temperatura 150 y 160°C



Anexo 28: Acondicionamiento del asfalto PEN 85-100 a una temperatura 150 y 160°C



Anexo 29: Acondicionamiento de los accesorios (molde base y cabezal) para la compactación de briqueta



Anexo 30: pesado del ligante asfáltico a una temperatura de 160°C sobre el agregado acondicionado para la mezcla asfáltica.



Anexo 31: Acondicionamiento a temperatura para la mezcla de agregado y asfalto



Anexo 32: toma de la temperatura de la mezcla asfáltica para mantenerlo a 160 °C



Anexo 33: colocado de los accesorios al pedestal



Anexo 34: colocado del papel filtro en la base del molde



Anexo 35: Vertiendo la mezcla asfáltica al molde



Anexo 36: Achurado de la mezcla asfáltica en caliente a 25 golpes (15 a los lados y 10 al centro)



Anexo 37: colocado del papel filtro sobre la mezcla asfáltica para la compactación



Anexo 38: Compactación de la mezcla 75 golpes por cara



Anexo 39: Obtención de la muestra compactada



Anexo 40: Colocado de la muestra compactada a temperatura ambiente para su enfriamiento



Anexo 41: desencofrado de la muestra



Anexo 42: Codificación de la muestra para el ensayo de Marshall



Anexo 43: Peso en seco de briqueta para el cálculo del porcentaje de vacíos



Anexo 44: Peso en sumergido de briqueta para el cálculo del porcentaje de vacíos



Anexo 45: Peso en parcialmente seco de briqueta para el cálculo del porcentaje de vacíos



Anexo 46: Acondicionamiento de las muestras en baño maría a 60°C por 30 min para el ensayo con la prensa Marshall



Anexo 47: toma de datos y resultado del ensayo con la prensa de Marshall



Anexo 48: Colocado de briqueta para el ensayo de Marshall



Anexo 49: colocado del dial a la prensa de Marshall



Anexo 50: Toma de datos y resultado del ensayo con la prensa de Marshall

## ANEXO 6: CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS

**GEOLAB EQUIPOS S.A.C**  
RUC 20606348402

Equipos para Laboratorio de  
suelos, concreto y asfaltos

### INFORME DE CALIBRACION

LT - 012 – 2021

Expediente: 009-2021

Fecha de Emisión: 2021-01-15

Página: 1 de 3

**SOLICITANTE :** COLDFIX E.I.R.L.  
**Dirección :** Cal. San Gregorio nro. 228 Huancayo

**DESCRIPCION DEL EQUIPO :** ESTUFA  
**Marca :** NO INDICA  
**Modelo :** HR001  
**Serie :** 520  
**Capacidad del Equipo :** 87 L  
**Indicación :** DIGITAL  
**Marca pirómetro :** THOLZ  
**Modelo pirómetro :** MDH  
**Temperatura Calibra :** 110 °C

#### LUGAR DE CALIBRACION

Instalaciones de COLDFIX E.I.R.L.

#### METODO DE CALIBRACION

La Calibración se realizó según el procedimiento de calibración PC-018  
"Procedimiento de Calibración para medios isotérmicos usando aire  
Como medio conductor"

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo indicados ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

GEOLAB EQUIPOS S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

#### TRAZABILIDAD

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO O INFORME	TRAZABILIDAD
TERMOMETRO DIGITAL	DELTA OHM	LT-075-2021	SISTEMA INTERNACIONAL
TERMOMETRO DIGITAL	FLUKE	LT-041-2021	

#### CONDICIONES AMBIENTALES

MAGNITUD	INICIAL	FINAL
TEMPERATURA	17.1 °C	17.4 °C
HUMEDAD RELATIVA	48%	49%

#### CONCLUSIONES

La estufa se encuentra dentro de los rangos  $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$  para la realización de los ensayos de Laboratorio según la norma ASTM

#### OBSERVACIONES

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color celeste indicando el número del informe y la fecha de la calibración.

  
Carlos E. Ramírez Mendieta  
GERENTE GENERAL

INFORME DE CALIBRACION N° LT-012-2021

Página : 2 de 3

**CALIBRACION PARA 110 °C**

Tiempo hh:mm	Indicador del Equipo °C	Temperaturas convencionalmente verdaderas expresadas en °C										T. Prom. °C	Δ Tmax °C
		Posicion 1	Posicion 2	Posicion 3	Posicion 4	Posicion 5	Posicion 6	Posicion 7	Posicion 8	Posicion 9	Posicio n 10		
00:00	113,2	113,1	114,8	114,4	115,6	114,4	111,3	110,7	110,8	111,7	114,7	113,2	4,8
00:02	111,5	111,2	113,1	112,9	115,2	112,3	109,5	109,4	110,4	109,5	113,2	111,7	5,7
00:04	109,8	108,6	110,8	110,5	112,9	112,1	107,4	107,8	108,0	107,6	110,9	109,6	5,4
00:06	107,6	107,2	110,0	110,1	110,9	109,5	106,3	105,8	105,7	105,6	109,4	108,0	5,2
00:08	109,9	108,5	110,8	111,1	112,3	111,9	108,7	106,5	107,1	107,1	110,9	109,5	5,8
00:10	110,4	109,9	112,1	111,4	113,9	112,2	109,3	108,0	109,0	108,3	113,1	110,7	5,9
00:12	112,6	111,3	113,6	112,8	114,7	113,3	112,5	109,2	109,8	110,7	113,9	112,2	5,4
00:14	113,2	113,1	114,8	114,4	115,6	114,4	111,3	110,7	110,8	111,7	114,7	113,2	4,8
00:16	111,5	111,2	113,1	112,9	115,2	112,3	109,5	109,4	110,4	109,5	113,2	111,7	5,7
00:18	109,8	108,6	110,8	110,5	112,9	112,1	107,4	107,8	108,0	107,6	110,9	109,6	5,4
00:20	107,6	107,2	110,0	110,1	110,9	109,5	106,3	105,8	105,7	105,6	109,4	108,0	5,2
00:22	109,9	108,5	110,8	111,1	112,3	111,9	108,7	106,5	107,1	107,1	110,9	109,5	5,8
00:24	110,4	109,9	112,1	111,4	113,9	112,2	109,3	108,0	109,0	108,3	113,1	110,7	5,9
00:26	112,6	111,3	113,6	112,8	114,7	113,3	112,5	109,2	109,8	110,7	113,9	112,2	5,4
00:28	113,2	113,1	114,8	114,4	115,6	114,4	111,3	110,7	110,8	111,7	114,7	113,2	4,8
00:30	111,5	111,2	113,1	112,9	115,2	112,3	109,5	109,4	110,4	109,5	113,2	111,7	5,7
00:32	109,8	108,6	110,8	110,5	112,9	112,1	107,4	107,8	108,0	107,6	110,9	109,6	5,4
00:34	107,6	107,2	110,0	110,1	110,9	109,5	106,3	105,8	105,7	105,6	109,4	108,0	5,2
00:36	109,9	108,5	110,8	111,1	112,3	111,9	108,7	106,5	107,1	107,1	110,9	109,5	5,8
00:38	110,4	109,9	112,1	111,4	113,9	112,2	109,3	108,0	109,0	108,3	113,1	110,7	5,9
00:40	112,6	111,3	113,6	112,8	114,7	113,3	112,5	109,2	109,8	110,7	113,9	112,2	5,4
00:42	113,2	113,1	114,8	114,4	115,6	114,4	111,3	110,7	110,8	111,7	114,7	113,2	4,8
00:44	111,5	111,2	113,1	112,9	115,2	112,3	109,5	109,4	110,4	109,5	113,2	111,7	5,7
00:46	109,8	108,6	110,8	110,5	112,9	112,1	107,4	107,8	108,0	107,6	110,9	109,6	5,4
00:48	107,6	107,2	110,0	110,1	110,9	109,5	106,3	105,8	105,7	105,6	109,4	108,0	5,2
00:50	109,9	108,5	110,8	111,1	112,3	111,9	108,7	106,5	107,1	107,1	110,9	109,5	5,8
00:52	110,4	109,9	112,1	111,4	113,9	112,2	109,3	108,0	109,0	108,3	113,1	110,7	5,9
00:54	112,6	111,3	113,6	112,8	114,7	113,3	112,5	109,2	109,8	110,7	113,9	112,2	5,4
00:56	113,2	113,1	114,8	114,4	115,6	114,4	111,3	110,7	110,8	111,7	114,7	113,2	4,8
00:58	111,5	111,2	113,1	112,9	115,2	112,3	109,5	109,4	110,4	109,5	113,2	111,7	5,7
01:00	109,8	108,6	110,8	110,5	112,9	112,1	107,4	107,8	108,0	107,6	110,9	109,6	5,4
<b>T. Promedio</b>	110,1	112,2	112,0	113,7	112,3	109,3	108,3	108,8	108,7	112,4	<b>Temperatura Promedio General (°C)</b> 110,8		
<b>T. Máximo</b>	113,1	114,8	114,4	115,6	114,4	112,5	110,7	110,8	111,7	114,7			
<b>T. Mínimo</b>	107,2	110,0	110,1	110,9	109,5	106,3	105,8	105,7	105,6	109,4			
<b>DTT</b>	5,9	4,8	4,4	4,7	5,0	6,2	5,0	5,1	6,1	5,3			

Parametro	Valor (°C)	Incertidumbre Expandida °C
Maxima Temperatura Medida	115,6	0,3
Minima Temperatura Medida	105,6	0,2
Desviacion de Temperatura en el Espacio	6,2	0,1
Desviacion de Temperatura en el Tiempo	5,4	0,1
Estabilidad Media ( ± )	3,08	0,04
Unifomidad Media	5,9	0,1

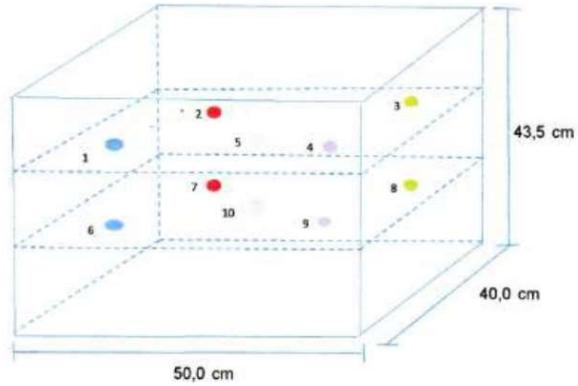
Para cada posición de medición su "desviación de temperatura en el tiempo" DTT esta dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura registradas en dicha posición

Entre dos posiciones de medición su "desviación de temperatura en el espacio" esta dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.

La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura k=2 que, para una distribución normal corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%

  
**Carlos E. Ramirez Mendieta**  
GERENTE GENERAL

**DISTRIBUCIÓN DE LOS SENSORES EN EL EQUIPO**



- Los Sensores 5 y 10 se ubicaron sobre sus respectivos niveles.
- Los demás sensores se ubicaron a 8 cm de las paredes laterales y a 8 cm del fondo y del frente del equipo.
- Los Sensores del nivel superior se ubicaron a 1,5 cm por encima de la altura mas alta que emplea el usuario.
- Los Sensores del nivel inferior se ubicaron a 1,5 cm por debajo de la parrilla más baja.

  
Carlos E. Ramirez Mendileta  
GERENTE GENERAL

**INFORME DE CALIBRACION**

**LF - 002 – 2021**

Expediente: 002-2021

Fecha de Emisión: 2021-01-07

Página: 1 de 2

**SOLICITANTE :** COLDFIX E.I.R.L.  
**Dirección :** Cal. San Gregorio nro. 228 Huancayo

**DESCRIPCION DEL EQUIPO :** PRENSA MARSHALL - CBR  
**Marca :** NO INDICA  
**Modelo :** K20  
**Serie :** 604  
**Marca de la Celda :** ZEMIC  
**Modelo de Celda :** H3C-C3-5.0T-6B  
**Serie de Celda :** SP036154  
**Capacidad de Celda :** 5 t  
**Marca del Indicador :** HIGH-WEIGHT  
**Modelo del indicador :** 315-X8  
**Serie del indicador :** 982514525

**LUGAR DE CALIBRACION**

Instalaciones de COLDFIX E.I.R.L.

**METODO DE CALIBRACION**

La Calibración se realizó de acuerdo a la norma ASTM E4

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo indicados ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

GEOLAB EQUIPOS S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

**TRAZABILIDAD**

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO O INFORME	TRAZABILIDAD
CELDA DE CARGA	AEP TRANSDUCER	INF-LE-110	SISTEMA INTERNACIONAL
INDICADOR	AEP TRANSDUCER		

**CONDICIONES AMBIENTALES**

MAGNITUD	INICIAL	FINAL
TEMPERATURA	18.1 °C	18.4 °C
HUMEDAD RELATIVA	48%	49%

**RESULTADOS DE LA MEDICION**

Los errores de la prensa se encuentran en la página siguiente.

**OBSERVACIONES**

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color celeste indicando el número del informe y la fecha de la calibración.

  
Carlos E. Ramírez Mendieta  
GERENTE GENERAL

INFORME DE CALIBRACION Nº LF-002-2021

Página : 2 de 2

**TABLA Nº 1**

SISTEMA DIGITAL "A" Kgf	SERIE DE VERIFICACION (kgf)				PROMEDIO "B" kgf	ERROR Ep %	RPTBLD Rp %
	SERIE 1	SERIE 2	ERROR (1) %	ERROR (2) %			
500	502,60	503,50	-0,52	-0,70	503,05	-0,61	-0,18
1000	1006,05	1005,05	-0,60	-0,50	1005,55	-0,55	0,10
1500	1503,95	1501,10	-0,26	-0,07	1502,53	-0,17	0,19
2000	2001,15	2000,50	-0,06	-0,03	2000,83	-0,04	0,03
2500	2497,45	2504,15	0,10	-0,17	2500,80	-0,03	-0,27
3000	2996,15	2996,45	0,13	0,12	2996,30	0,12	-0,01
3500	3493,30	3493,05	0,19	0,20	3493,18	0,20	0,01
4000	3985,24	3984,75	0,37	0,38	3985,00	0,38	0,01

NOTAS SOBRE LA CALIBRACIÓN

1.- Ep y Rp son el Error Porcentual y la Repetibilidad definidos en la citada Norma:

$$Ep = ((A-B) / B) * 100 \quad Rp = Error(2) - Error(1)$$

2.- La norma exige que Ep y Rp no excedan el 1,0 %

3.- Coeficiente Correlación:  $R2 = 1$

Ecuación de ajuste :  $y = 1,0049x - 9,5241$



Carlos E. Ramírez Mendieta  
GERENTE GENERAL

**INFORME DE CALIBRACION**

**LL - 007 – 2021**

Expediente: 015-2021

Fecha de Emisión: 2021-01-17

Página: 1 de 2

**SOLICITANTE :** COLDFIX E.I.R.L.  
**Dirección :** Cal. San Gregorio nro. 228 Huancayo

DESCRIPCION DEL EQUIPO	COMPARADOR DE CUADRANTE
Tipo de Indicación	ANALOGIA
Alcance de Indicación	0 mm a 20 mm
División de Escala	0,01 mm
Marca	INSIZE
Modelo	NO INDICA
Serie	6615841

**LUGAR DE CALIBRACION**

Instalaciones de COLDFIX E.I.R.L.

**METODO DE CALIBRACION**

La Calibración se efectuó por comparación directa tomando como referencia el procedimiento de calibración de Comparadores de cuadrante PC-014 (2da Edición 2001) del servicio nacional de metrología del INACAL - DM

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo indicados ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

GEOLAB EQUIPOS S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

**TRAZABILIDAD**

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO O INFORME	TRAZABILIDAD
BLOQUES PLANOPARALELOS	INSIZE	LLA – C – 075- 2021	SISTEMA INTERNACIONAL

**CONDICIONES AMBIENTALES**

MAGNITUD	INICIAL	FINAL
TEMPERATURA	18.1 °C	18.4 °C
HUMEDAD RELATIVA	48%	49%

**OBSERVACIONES**

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color celeste indicando el número del informe y la fecha de la calibración.

  
Carlos E. Ramírez Mendieta  
GERENTE GENERAL

**RESULTADOS**

ALCANCE DEL ERROR DE INDICACIÓN ( $f_s$ )

VALOR PATRÓN (mm)	INDICACIÓN DEL COMPARADOR (mm)	ERROR DE INDICACIÓN (mm)
0,00	0,00	0,00
1,00	1,01	0,01
2,00	2,02	0,02
5,00	5,01	0,01
8,00	8,03	0,03
10,00	10,01	0,01
13,00	13,01	0,01
15,00	15,02	0,02
20,00	20,01	0,01
25,00	25,02	0,02

Alcance de error de indicación ( $f_s$ ) : 0,03 mm  
Incertidumbre del error de indicación :  $\pm 3 \mu\text{m}$

ERROR DE REPETIBILIDAD ( $f_w$ )

VALOR PATRÓN (mm)	INDICACIÓN DEL COMPARADOR (mm)	ERROR DE INDICACIÓN (mm)
13,00	13,02	0,02
	13,01	0,01
	13,01	0,01
	13,02	0,02
	13,01	0,01

Error de Repetibilidad ( $f_w$ ) : 0,02 mm  
Incertidumbre de medición :  $\pm 3 \mu\text{m}$

La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura  $k = 2$  que, para una distribución normal corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%.

  
Carlos E. Ramírez Mendieta  
GERENTE GENERAL