



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

ESCUELA DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL CON MENCIÓN EN CARRETERAS,
PUENTES Y TÚNELES**

**Mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo para mejorar su
comportamiento mecánico a bajas temperaturas de compactación en zona
Altoandina**

TESIS

Para optar el Grado Académico de Maestro en Ingeniería Vial con mención en
Carreteras, Puentes y Túneles

AUTOR

Bachiller Andagua Mendoza, Kengy Edinson (0000.0003.0237.6872)

ASESOR

Doctor Valencia Gutiérrez, Andrés Avelino (0000.0002.8873.189X)

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos de autor

Andagua Mendoza, Kengy Edinson

Tipo de documento de identidad del AUTOR: DNI

Número de documento de identidad del AUTOR: 42843986

Datos de asesor

Doctor Valencia Gutiérrez, Andrés Avelino

Tipo de documento de identidad del ASESOR: DNI

Número de documento de identidad del ASESOR: 7066759

Datos del jurado

JURADO 1: Doctor Chavarry Vallejos, Carlos Magno, DNI N°7410234, ORCID 0000-0003-0512-8954

JURADO 2: Doctor Tamara Rodríguez, Joaquín Samuel, DNI N°31615859, ORCID 0000-0002-4568-9759

JURADO 3: Doctor Altamirano Herrera, Aníbal, DNI N°10426902, ORCID 0000-0003-2940-0078

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 732527

Código del Programa: 2.01.05

Página del Jurado

Presidente: Doctor Carlos Magno Chavarry Vallejos.

Miembro 1: Doctor Joaquín Samuel Tamara Rodríguez.

Miembro 2: Doctor Aníbal Altamirano Herrera.

Asesor: Doctor Andrés Avelino Valencia Gutiérrez.

Dedicatoria

A mi padre Antonio Andagua Pineda y a mi madre Juana Mendoza Champi, que me brindan todo su amor inculcando los buenos valores y ofreciendo su apoyo incondicional en los momentos difíciles.

A mi hermana María Andagua Mendoza, por su apoyo y el compartir de sus conocimientos adquiridos a lo largo de su carrera profesional.

Agradecimiento

A mi familia, por el apoyo que me brindan en las metas de mi vida.

Al Dr. Valencia, por asesorarme con su amplia experiencia en el desarrollo de la Tesis.

Al Msc. Ing. Guillermo Lazo, por asesorarme técnicamente en las decisiones de la investigación y guiarme profesionalmente.

Al Msc. Ing. Jorge Escalante y a la Ing. Wendy Herencia, por haberme facilitado el aditivo tensoactivo y posibilitado la realización de esta investigación.

Y a todas las personas que sumaron para iniciar y sacar adelante esta investigación.

Índice General

Capítulo I	20
Planteamiento del Problema	20
1.1. Descripción del Problema.....	20
1.2. Formulación del Problema de Investigación.....	25
1.2.1. Problema General	25
1.2.2. Problemas Específicos.....	25
1.3. Importancia y justificación de la Investigación.....	25
1.3.1. Importancia: Relevancia de la Investigación	25
1.3.2. Justificación Teórica	26
1.3.3. Justificación Económica.....	26
1.3.4. Justificación Ambiental	27
1.4. Delimitación del Estudio	27
1.4.1. Teórica	27
1.4.2. Espacial.....	27
1.4.3. Temporal	28
1.5. Objetivos de la Investigación.....	28
1.5.1. Objetivo General:.....	28
1.5.2. Objetivos Específicos:.....	30
Capítulo II	32
Marco Teórico	32
2.1. Marco Histórico.....	32
2.2. Investigaciones previas relacionadas con el tema	35
2.2.1. Investigaciones Extranjeras	35
2.2.2. Investigaciones Nacionales.....	39
2.3. Estructura Teórica y científica que Sustenta el Estudio	43
2.3.1. Mezclas Asfálticas Tibias – Warm Mix Asphalt (WMA).....	43
2.3.1.1. Áridos.....	46
2.3.1.2. Cementos asfálticos.....	55
2.3.1.3. Composición de las mezclas asfálticas	73

2.3.1.4.	Tecnologías de mezclas tibias.....	74
2.3.2.	Comportamiento mecánico.....	86
2.3.2.1.	Características y comportamiento de las mezclas asfálticas.....	88
2.3.2.2.	Temperaturas de mezclas asfálticas.....	91
2.3.2.3.	Método Marshall.....	93
2.3.2.4.	Ensayo de Resistencia al daño.....	103
2.3.3.	Beneficios de utilizar mezclas asfálticas tibias.....	106
2.4.	Definición de Términos Básicos.....	108
2.4.1.	Mezcla asfáltica tibia.....	108
2.4.2.	Aditivo tensoactivo.....	108
2.4.3.	Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica.....	109
2.4.4.	Ensayo Marshall.....	109
2.4.5.	Resistencia al daño por humedad inducida AASHTO T 283.....	109
2.5.	Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis.....	111
2.6.	Hipótesis.....	113
2.6.1.	Hipótesis General.....	113
2.6.2.	Hipótesis Específicas.....	113
2.7.	Variables.....	114
2.7.1.	Definición conceptual de la variable.....	114
2.7.2.	Operacionalización de variables.....	114
	Capítulo III.....	117
	Metodología del Estudio.....	117
3.1.	Tipo, Método y Diseño de la Investigación.....	117
3.1.1.	Tipo de Investigación.....	117
3.1.2.	Método de la Investigación.....	117
3.1.3.	Nivel de la Investigación.....	118
3.1.4.	Orientación de la Investigación.....	118
3.1.5.	Enfoque de la Investigación.....	118
3.1.6.	Recolección de Datos.....	118
3.1.7.	Diseño de la Investigación.....	118
3.2.	Población y Muestra.....	120
3.2.1.	Población.....	120

3.2.2. Objeto de Estudio.....	120
3.2.3. Criterios de inclusión	121
3.2.4. Criterios de exclusión.....	121
3.2.5. Muestra	121
3.3. Técnicas e instrumento de la recolección de datos.....	125
3.3.1. Procedimientos y métodos.....	125
3.3.2. Instrumento de recolección de datos	125
3.3.3. Validez del instrumento.....	126
3.3.4. Confiabilidad del instrumento.....	126
3.4. Descripción de análisis de datos	126
4.1 Resultados	129
4.2 Análisis de Resultados	131
4.3 Contrastación de hipótesis.....	181
Conclusiones y recomendaciones	183
Referencias bibliográficas	186
Anexos	194

Índice de Tablas

Tabla 1 Infraestructura vial existente del SINAC.....	21
Tabla 2 Exigencias para los agregados minerales gruesos.	49
Tabla 3 Exigencias para los agregados minerales finos.	50
Tabla 4 Exigencias para la cal hidratada.	50
Tabla 5 Gradación para M.A.C. de acuerdo a las EG-2013	51
Tabla 6 Gradación para M.A.C. de acuerdo al Instituto del Asfalto	51
Tabla 7 Gradación para M.A.C. de acuerdo a la ASTM D 3515	52
Tabla 8 Composición de química de un asfalto PEN 100	64
Tabla 9 Clasificación del asfalto por penetración.....	69
Tabla 10 Selección del cemento asfáltico en función de la temperatura media anual.	69
Tabla 11 Clasificación del asfalto por viscosidad.....	71
Tabla 12 Composición de las mezclas asfálticas (Hunter, 1994).....	74
Tabla 13 Requisitos para mezcla de concreto asfáltico	103
Tabla 14 Operacionalización de variables.....	115
Tabla 15 Muestras para la verificación del ensayo Marshall de la mezcla asfáltica en caliente (del diseño en obra).....	121
Tabla 16 Muestras para el ensayo de Gravedad específica teórica máxima y densidades de la verificación de mezcla asfáltica en caliente (del diseño en obra).	122
Tabla 17 Muestras para el ensayo Marshall de mezclas asfálticas tibias, con una dosificación de tensoactivo de 0.30 %.....	122
Tabla 18 Muestras para el ensayo de Gravedad específica teórica máxima y densidades de la mezcla tibia con una dosificación de tensoactivo de 0.30 %.....	123
Tabla 19 Muestras para el ensayo Marshall de mezclas asfálticas tibias, con una dosificación de tensoactivo de 0.50 %.....	123
Tabla 20 Muestras para el ensayo de Gravedad específica máxima teórica y densidad de las mezclas asfálticas tibias, con una dosificación de tensoactivo de 0.50 %.....	124
Tabla 21 Muestras para determinar la cantidad de golpes que tendrán las briquetas para un porcentaje de vacíos igual a 7%, con una dosificación de tensoactivo de 0.50 %.	124
Tabla 22 Muestras para el ensayo de Resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad, con una dosificación de tensoactivo de 0.50 %.....	124
Tabla 23 Requerimientos para los agregados gruesos.....	135

Tabla 24 Requerimientos para los agregados finos.....	137
Tabla 25 Requerimientos para el cemento asfáltico PEN 120/150	140
Tabla 26 Proporciones de áridos para la mezcla asfáltica en caliente	141
Tabla 27 Diseño de mezcla asfáltica en caliente.....	141
Tabla 28 Parámetros de diseño de la mezcla asfáltica en caliente	143
Tabla 29 Parámetros mecánicos del ensayo Marshall.....	152
Tabla 30 Diseño de mezcla asfáltica tibia con tensoactivo al 0.30 %	157
Tabla 31 Diseño de mezcla asfáltica tibia con tensoactivo al 0.50 %	157
Tabla 32 Temperaturas de fabricación.....	157
Tabla 33 Parámetros mecánicos Marshall con tensoactivo a 0.30%	164
Tabla 34 Parámetros mecánicos Marshall con tensoactivo 0.50 %.....	165
Tabla 35 Resumen de los parámetros mecánicos de la mezcla asfáltica tibia.....	171
Tabla 36 Comparación de los parámetros mecánicos entre la MAC y MAT.....	171

Índice de Figuras

Figura 1 Relación de Viscosidad – Temperatura, una de las tecnologías de asfaltos tibios.	45
Figura 2 Tamizado	49
Figura 3 Productos y temperaturas típicas de destilación.....	57
Figura 4 Esquema de la refinación típica de asfaltos	59
Figura 5 Endurecimiento de asfalto después de haber sido expuesto a altas temperaturas.	68
Figura 6 Esquemización del ensayo de penetración a 25 °C.....	70
Figura 7 Viscosidad Absoluta	72
Figura 8 Viscosidad cinemática	73
Figura 9 Esquema de la cámara de expansión del asfalto espumado	77
Figura 10 Procedimiento de mezclado del asfalto espumado con los áridos.	78
Figura 11 Tecnología de base acuosa. Proceso de mezclado.....	80
Figura 12 Comportamiento de la viscosidad-temperatura del ligante asfáltico modificado con aditivo orgánico.....	81
Figura 13 Ceras como aditivo orgánico.	81
Figura 14 Esquema de diferentes mezclas asfálticas.....	84
Figura 15 Ángulo entre el árido y ligante asfáltico.....	84
Figura 16 Esfuerzos presentes en el pavimento debido a una carga.....	86
Figura 17 Distribución de esfuerzos en el pavimento	87
Figura 18 Proceso de preparación de briquetas Marshall y ensayo a la compresión diametral.	93
Figura 19 Equipo Marshall	95
Figura 20 Curva Flujo vs Contenido de asfalto.	101
Figura 21 Curva Estabilidad vs Contenido de asfalto	102
Figura 22 Ensayo de Resistencia a la tracción indirecta.....	104
Figura 23 Ensayo de Tracción Indirecta en falla (Huang,1996)	105
Figura 24 Probetas colocadas en el baño termostático a 60 °C.....	106
Figura 25 Fundamentos teóricos.	111
Figura 26 Corredor de la investigación.....	132
Figura 27 Cantera Chalqui	134
Figura 28 Estación Huayhuahuasi	138
Figura 29 Estación Porpera	140

Figura 30 Temperatura de la piedra chancada, 8.3 °C.	144
Figura 31 Piedra chancada	144
Figura 32 Temperatura de la arena chancada, 9.0 °C.....	145
Figura 33 Arena chancada	145
Figura 34 Filler o llenante, Cal hidratada.....	145
Figura 35 Tanques de ligante asfáltico PEN 120/150	147
Figura 36 Curva Granulométrica de la combinación de agregados D-5 ASTM D 3515.	147
Figura 37 Combinación agregados y peso de la muestra.....	148
Figura 38 Adición del mejorador de adherencia en el ligante asfáltico y su posterior mezcla con los árido.	148
Figura 39 Mezclado del asfalto en caliente y temperatura de fabricación.	149
Figura 40 Colocación de la mezcla en el molde y se compacta la mezcla a 75 golpes, ambas caras.....	150
Figura 41 Contenido óptimo de asfalto de 6.7 % y ± 0.3 %, en total 09 briquetas.....	150
Figura 42 Balanza hidrostática.	151
Figura 43 Baño maría a 60 °C y su posterior ensayo de estabilidad y flujo.....	151
Figura 44 Porcentaje de vacíos, MAC.	153
Figura 45 Flujo, MAC.	154
Figura 46 Estabilidad, MAC.	154
Figura 47 Estabilidad-Flujo, MAC.	155
Figura 48 Mezcla de áridos y adición del tensoactivo en el ligante asfáltico.	158
Figura 49 Colocación de los componentes en horno a 115, 125 y 135 °C.....	159
Figura 50 Adición del ligante asfáltico con el aditivo tensoactivo en los áridos.....	160
Figura 51 Mezcla asfáltica tibia a 115, 125 y 135 ° C.	160
Figura 52 Proceso de compactación.	161
Figura 53 Briquetas fabricadas a temperaturas de 115,125 y 135 °C, con tensoactivo 0.3 %.	161
Figura 54 Briquetas fabricadas a temperaturas de 115, 125 y135 °C, con tensoactivo de 0.50 %.	163
Figura 55 Briquetas en baño maría a 60 °C y posterior colocación en la máquina de carga.	164
Figura 56 Porcentaje de vacíos, MAT.	166
Figura 57 Porcentaje de vacíos de agregado mineral, MAT.....	167
Figura 58 Flujo, MAT.	168

Figura 59 Estabilidad, MAT.	168
Figura 60 Estabilidad-Flujo, MAT.	169
Figura 61 Relación polvo-asfalto	170
Figura 62 Mezclado y compactación de los especímenes a temperatura de 125 °C.....	173
Figura 63 Compactación de especímenes a 20-25-30-35-40-45-50 golpes	174
Figura 64 Curva de golpes	174
Figura 65 Especímenes compactados a 45 golpes	176
Figura 66 Especímenes de condición seca en máquina de carga.	176
Figura 67 Especímenes preparados para el ingreso al congelador.	177
Figura 68 Especímenes en baño maría y su posterior apertura.	177
Figura 69 Especímenes en condición húmeda en la máquina de carga	178
Figura 70 Especímenes después del ensayo a compresión diametral.	178
Figura 71 Gráfica de resistencia al daño inducido por humedad.	179

Resumen

La presente investigación titulada: Mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo para mejorar el comportamiento mecánico a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina, tiene un enfoque cuantitativo que surge ante el problema ¿De qué manera influye en una mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo, su comportamiento mecánico a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina?, que motivó la formulación del objetivo Determinar una mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo con la finalidad de mejorar su comportamiento mecánico a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina a través de ensayos de laboratorio, que permitió por medio de la metodología deductiva obtener los resultados de la elaboración de una mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo a una dosificación de 0.50 % y a temperaturas reducidas de compactación a 115, 125 y 135 °C, el mejoramiento de los parámetros mecánicos Marshall y la resistencia al daño por humedad inducida del 81.30 %. Concluyendo que, la mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo garantiza un comportamiento mecánico a bajas temperaturas de fabricación en zona altoandina. Se recomienda para futuras investigaciones utilizar un compactador giratorio para el amasado de la mezcla asfáltica, trabajar con más alternativas de temperaturas teniendo un delta de temperatura de 5 °C, la adición de polímeros conjuntamente con el tensoactivo para evaluar el comportamiento mecánico, incluir ensayos para evaluación de deformación permanente, ensayo de módulo resiliente y ensayo de resistencia a la fatiga.

Palabras claves: Mezcla asfáltica tibia, aditivo tensoactivo, comportamiento mecánico.

Abstract

The present investigation entitled: Warm asphalt mixture with tensoactive additive to improve the mechanical behavior at low compaction temperatures in the high Andean zone, has a quantitative approach that arises before the problem: How does a warm asphalt mixture with tensoactive additive influence its behavior mechanical at low compaction temperatures in the high Andean zone?, which motivated the formulation of the objective Determine a warm asphalt mixture with a tensoactive additive in order to improve its mechanical behavior at low compaction temperatures in the high Andean zone through laboratory tests, which allowed Through the deductive methodology, obtain the results of the preparation of a warm asphalt mixture with a tensoactive additive at a dosage of 0.50 % and at reduced compaction temperatures at 115, 125 and 135 °C, the improvement of the Marshall mechanical parameters and the resistance to induced moisture damage of 81.30 %. Concluding that the warm asphalt mixture with a tensoactive additive guarantees mechanical behavior at low manufacturing temperatures in the high Andean zone. It is recommended for future research to use a gyratory compactor for mixing the asphalt mixture, to work with more temperature alternatives having a temperature delta of 5 °C, the addition of polymers together with the surfactant to evaluate the mechanical behavior, to include tests for permanent deformation evaluation, resilient modulus test and fatigue resistance test.

Keywords: Warm asphalt mixture, tensoactive additive, mechanical behavior.

Introducción

Esta investigación lleva el título: Mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo para mejorar el comportamiento mecánico a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina, esta investigación utiliza una serie de datos que son procesados y es caracterizado como un enfoque cuantitativo que surge ante el problema ¿De qué manera influye en una mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo, su comportamiento mecánico a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina?, que motivó a la formulación del objetivo Determinar una mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo con la finalidad de mejorar su comportamiento mecánico a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina a través de ensayos de laboratorio, que permitió por medio de la metodología deductiva llegar a obtener los resultados siguientes; La elaboración de una mezcla asfáltica tibia con una composición del 44.50 % de piedra chancada, 54.50 % de arena gruesa 1.00 % de filler (cal hidratada), ligante asfáltico caracterizado por su penetración PEN 120/150, la adición de tensoactivo a una dosificación de 0.30 y 0.50 % y a temperaturas reducidas de compactación a 115, 125 y 135 °C. Los parámetros mecánicos a través del ensayo Marshall, se tuvieron los siguiente resultados dentro de los parámetros establecidos en la EG-2013, los vacíos de aire tuvieron un resultado de 3.60 %, los vacíos de agregado mineral tuvieron un resultado de 16.10%, el flujo tuvo un resultado de 13.70 (0.01 pulg), la estabilidad tuvo un resultado de 1244.70 kg y la relación estabilidad/flujo tuvo un resultado de 3 590 kg/cm, estos parámetros fueron obtenido para una dosificación de tensoactivo de 0.5 % y a una temperatura de compactación de 125 °C. Y la comprobación del aditivo tensoactivo que actúa como mejorador de adherencia entre el ligante asfáltico y los áridos a la acción del agua resultando una resistencia al daño por humedad inducida del 81.30 %, valor superior al mínimo de acuerdo a las especificaciones técnicas EG-2013. Después de un análisis riguroso se concluye que, la mezcla asfáltica tibia con aditivo

tensoactivo garantiza el comportamiento mecánico a bajas temperaturas de fabricación en zona altoandina. La mezcla asfáltica tibia con adición de tensoactivos reduce las temperaturas de compactación en zona altoandina. La mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo mejora los valores de los parámetros mecánicos del ensayo Marshall a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina y la mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo mejora el grado de adherencia a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina. Lo que motiva a recomendar para futuras investigaciones; utilizar un compactador giratorio para el amasado de la mezcla asfáltica tibia ya que recrea mejor las condiciones de obra en comparación del martillo Marshall, que es una compactación por impacto, se recomienda trabajar con más alternativas de temperaturas teniendo un delta de temperatura de 5 °C y diferentes dosificaciones de tensoactivo respetando el rango de dosificación recomendado por la ficha técnica del aditivo, se recomienda obtener los parámetros mecánicos por el método Superpave y comparar con los resultados del método Marshall, se recomienda analizar el grado de adherencia a diferentes dosificaciones de tensoactivo, se recomienda la adición de polímeros conjuntamente con el aditivo tensoactivo para evaluar la durabilidad y el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica tibia, incluir ensayos para evaluación de deformación permanente, ensayo de módulo resiliente y ensayo de resistencia a la fatiga.

Esta investigación se desarrolló en cuatro (04) capítulos consistentes los cuales son:

Capítulo I: Este capítulo consta del planteamiento del problema donde se realizó una descripción de la problemática en general y problemas específicos. Luego se aborda la importancia y justificación de la investigación, realizando una delimitación del estudio, teórica, espacial y temporal, culminando este capítulo con los objetivos generales y específicos de la investigación.

Capítulo II: Este capítulo desarrolla el marco teórico, luego las investigaciones

relacionadas con el tema, tanto nacionales como extranjeras. Después, se explica la estructura teórica y científica que sustenta el estudio, conjuntamente con la definición de términos básicos. Terminando con la elaboración de la hipótesis general y específicas y la operacionalización de las variables que intervienen en la investigación

Capítulo III: Este capítulo consiste en la metodología del estudio, describiendo el tipo, método, nivel, orientación, enfoque, diseño y recolección de datos de la investigación. También, se desarrolla las técnicas e instrumentos de la recolección de datos y el contenido de la población y muestra de la investigación.

Capítulo IV: Este capítulo plasma los resultados y análisis de los resultados de la investigación como la contrastación de hipótesis.

Finalmente, después de los resultados se dan a conocer las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

Capítulo I

Planteamiento del Problema

1.1.Descripción del Problema

Las carreteras nacionales, regionales y vecinales en el Perú son las que establecen una conexión o comunicación entre centros poblacionales urbanos y rurales como también una fuerte condicionante para el desarrollo económico a lo largo del territorio nacional.

Estas vías que conforman el Sistema Nacional de Carreteras del País, denominadas redes viales se encuentran en la actualidad parcialmente pavimentadas en un 79.06% de la Red Vial Nacional, 13.17% de la Red Vial Regional y 1.06%, de la Red Vial Vecinal, como se encuentra descrito a continuación en la siguiente Tabla 1:

Tabla 1

Infraestructura vial existente del SINAC.

INFRAESTRUCTURA VIAL EXISTENTE DEL SINAC, SEGÚN DEPARTAMENTO 2018

DEPARTAMENTO	LONGITUD TOTAL	Kilómetros								
		NACIONAL			DEPARTAMENTAL			VECINAL		
		SUB TOTAL	Pavimentada	No Pavimentada	SUB-TOTAL	Pavimentada	No Pavimentada	SUB-TOTAL	Pavimentada	No Pavimentada
TOTAL	168,473.1	27,109.6	21,434.0	5,675.6	27,505.6	3,623.1	23,882.5	113,857.9	1,858.9	111,999.0
Amazonas	3,341.4	851.9	851.9	0.0	746.5	31.3	715.3	1,742.9	0.0	1,742.9
Ancash	10,775.2	1,893.4	1,234.4	659.0	1,218.6	482.8	735.8	7,663.3	112.4	7,550.9
Apurímac	7,491.1	1,281.0	923.2	357.8	1,261.9	9.1	1,252.8	4,948.1	7.3	4,940.9
Arequipa	9,391.4	1,497.1	1,215.6	281.5	1,738.9	571.0	1,167.9	6,155.4	402.3	5,753.2
Ayacucho	12,360.6	1,801.0	1,664.5	136.5	1,853.7	264.8	1,588.9	8,705.9	19.0	8,686.9
Cajamarca	14,649.2	1,738.9	1,465.3	273.7	886.4	31.8	854.6	12,023.8	40.1	11,983.7
Callao	50.3	43.4	43.4	0.0	6.9	5.2	1.7	0.0	0.0	0.0
Cusco	17,088.0	2,034.1	1,623.4	410.7	2,801.2	480.9	2,320.3	12,252.7	115.3	12,137.4
Huancavelica	8,227.0	1,403.7	1,194.5	209.1	2,002.3	21.3	1,981.0	4,821.1	0.7	4,820.4
Huánuco	7,708.6	1,305.5	674.9	630.6	772.4	16.7	755.8	5,630.7	4.0	5,626.7
Ica	3,505.2	697.9	680.7	17.2	743.1	48.9	694.1	2,064.2	82.0	1,982.2
Junín	11,983.8	1,741.5	984.4	757.1	1,126.9	67.7	1,059.2	9,115.5	212.9	8,902.6
La Libertad	8,796.0	1,261.8	794.2	467.6	1,932.1	92.0	1,840.1	5,602.1	155.8	5,446.3
Lambayeque	3,291.0	562.0	452.6	109.3	672.4	208.6	463.8	2,056.6	27.6	2,029.1
Lima	7,513.0	1,684.4	1,282.8	401.6	1,577.3	160.4	1,416.9	4,251.3	166.3	4,084.9
Loreto	891.2	124.9	93.6	31.3	320.7	97.2	223.6	445.5	19.1	426.4
Madre de Dios	2,015.0	399.3	399.3	0.0	340.0	2.3	337.6	1,275.8	6.4	1,269.4
Moquegua	2,643.2	469.2	469.2	0.0	908.9	91.4	817.6	1,265.1	99.8	1,165.3
Pasco	3,292.5	590.2	346.9	243.3	607.6	34.4	573.1	2,094.7	0.0	2,094.7
Piura	8,934.2	1,736.0	1,586.8	149.2	589.7	167.5	422.2	6,608.5	170.6	6,437.9
Puno	13,211.6	2,018.0	1,779.4	238.7	2,368.0	416.4	1,951.6	8,825.6	42.4	8,783.2
San Martín	5,289.6	873.2	728.4	144.8	966.1	161.4	804.7	3,450.2	0.1	3,450.1
Tacna	2,520.3	635.7	584.4	51.3	489.7	85.0	404.7	1,394.9	163.1	1,231.8
Tumbes	991.1	138.5	138.5	0.0	285.3	69.5	215.8	567.3	9.3	558.0
Ucayali	2,512.6	327.2	221.6	105.5	1,288.8	5.5	1,283.3	896.6	2.3	894.3

Fuente: GTT-31.Dic.2018

Nota. Adaptado de “Infraestructura vial existente SINAC”, por SINAC, 2018, MTC (<https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/rutas.html>).

De acuerdo al análisis del cuadro anterior, observamos que poseemos un gran porcentaje de carreteras **No pavimentadas**, lo que significa que la superficie de rodadura de las carreteras se encuentra a nivel de afirmado o sin afirmar.

Ante la falta de comunicación vial en nuestro Territorio, y las gestiones que se realizan a medida que son solicitadas estas carreteras, con la finalidad de reducir esta brecha, tenemos que considerar la situación climática en zonas de altura y como esta condición meteorológica influye en los estudios, en la ejecución, operación y mantenimiento de las carreteras, cuyos efectos, se manifiestan en el pavimento en especial se ve reflejada en la superficie de rodadura,

una vez colocadas.

Los fuertes impactos climáticos en los sectores alto andinos, producen problemas de trabajabilidad en los pavimentos conformados por capas de rodadura estructurales o no estructurales, especialmente en la fabricación de las mezclas asfálticas afectando propiedades mecánicas debido a su compactación, situación por la cual se han analizado (estudiado) estas situaciones en los pavimentos de otros países incorporando o adicionando aditivos para mejorar el comportamiento de la mezcla asfáltica a bajas temperaturas de colocación y compactación, teniendo como efecto la obligación de utilizar soluciones de ingeniería más apropiadas, controlando la manejabilidad en la fase de compactación (proceso constructivo) de la mezcla asfáltica.

Esta problemática se vino observando y dándose a conocer en las diferentes obras viales en zonas de altura cuyos frentes de trabajo se encuentran conformados por profesionales entre ingenieros y técnicos que se encuentran día a día fabricando, transportando, colocando y compactando mezclas asfálticas en trabajos definitivos y/o conservaciones viales a nivel de carpeta asfáltica en las diferentes jurisdicciones ya sea en la Red Vial Nacional, Regional o Vecinal.

De acuerdo a la experiencia de los equipos técnicos que participan en los procesos constructivos de las carreteras, establecen como una de las causas el brusco cambio climático o gradiente térmico (vientos fríos a gran velocidad, granizadas y lluvias) que ocurre en la mayoría de las zonas alto andinas como el congelamiento de la vía en tiempos de friaje. Esto trae como efecto la disminución de temperatura de la mezcla asfáltica una vez salida de la planta de asfalto hasta llegar al tramo a colocar y ser esparcida para su emplazamiento, que vendría ser la etapa de colocación y conformación de la carpeta, no contando con una

trabajabilidad necesaria y una condición óptima para envolver a los áridos, volviéndose la mezcla de una condición fluido viscoso a un estado semisólido. Asimismo, otra causa son los espesores del pavimento, puntualmente la capa de rodadura determinado con un espesor menor a lo requerido y calculado en la fase de estudios, previos a la ejecución, donde se establecen los ejes equivalentes a través del estudio de tráfico pesado o tráfico destructivo en corredores viales o futuros corredores mineros que en algunas ocasiones no son tomados en consideración en la etapa de estudios y valorados como deficiencia del expediente técnico.

Al producirse estas circunstancias, una de las consecuencias de dichos problemas es la vida útil que tendría el pavimento en especial la carpeta de rodadura, esto es debido a la baja temperatura de la zona que trae como resultado la disminución de temperatura que tendría la mezcla asfáltica en las fases de transporte y colocación una vez salida de la planta de asfalto hasta llegar al tramo a colocar, este gradiente térmico se da rápidamente en zonas altoandinas. Produciéndose la no trabajabilidad de mezcla asfáltica en la etapa de ejecución y fase de compactación originándose el desprendimiento de los agregados finos y gruesos pasado un tiempo de la colocación. Presentándose en la carpeta asfáltica fallas prematuras que son absorbidas por el parque automotor que utilizan las vías, deteriorando la suspensión, y disminuyendo el tiempo de viaje de origen a destino.

Este problema se viene manifestando actualmente dentro de las infraestructuras viales en ejecución a nivel de pavimento flexible en zonas alto andinas, bajo las condiciones climáticas y espesores de poca magnitud referente a la capa de rodadura asfáltica que se encuentra impuesto en la fase de estudios, términos de referencias y contrato. Con estas restricciones y ejecutando convencionalmente no se tendría una trabajabilidad adecuada en obra, debido a que la compactación necesita de una temperatura apropiada para su propósito

de conformación. Produciéndose deterioro temprano de la capa asfáltica de rodadura, en vista que existen tramos que son liberados parcialmente evitando el congestionamiento y dar libre paso vehicular. También este problema se viene reflejando en los laboratorios de ensayos de materiales, probando y verificando nuevas tecnologías con la inclusión de aditivos en el ligante asfáltico con el fin de mantener la temperatura de compactación en zonas de altura.

La magnitud de uno de los problemas que se presentan son la maximización del calentamiento de la mezcla asfáltica con el fin de que su temperatura de colocación no baje considerablemente por la condición climática que existen en las zonas alto andinas en la que se encuentre la vía, este calentamiento excesivo de la mezcla produce un envejecimiento prematuro u oxidación del asfalto, reduciendo su vida útil. Por ende, se tendrá mayores costos en el calentamiento del asfalto convencional y gastos en los consumos de combustible. También, otra magnitud de los problemas es la mayor emisión de gases debido al sobrecalentamiento del asfalto, desprotegiendo y perjudicando el medio ambiente. Otro problema es la menor trabajabilidad y compactación de la mezcla en lugares de clima extremo.

1.2. Formulación del Problema de Investigación

1.2.1. Problema General

¿De qué manera influye en una mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo, su comportamiento mecánico a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina?

1.2.2. Problemas Específicos

- a) ¿De qué manera una mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo influye en su comportamiento térmico de compactación en zona altoandina?
- b) ¿Una mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo influye en su comportamiento físico a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina?
- c) ¿De qué manera una mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo se relaciona en su comportamiento al daño por humedad inducida a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina?

1.3. Importancia y justificación de la Investigación

La presente investigación presentará la siguiente importancia y justificación para su desarrollo:

1.3.1. Importancia: Relevancia de la Investigación

La importancia de la presente investigación radicaré en la determinación del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas tibias, de acuerdo a esta tecnología se mejorará la trabajabilidad y compactibilidad de la mezcla asfálticas en zonas alto andinas, ya que en estas alturas tenemos un rápido descenso de la temperatura lo que no permitiría la trabajabilidad con mezclas asfálticas convencionales. Asimismo, esta investigación tiene una importancia en el tema económico debido a la reducción de costos en compra de combustibles y utilización energía, ya que, la temperatura de preparación de la mezcla asfáltica tibia sería menor a la preparación de una mezcla convencional y también se presentaría una disminución de emisiones de gases al medio ambiente.

1.3.2. Justificación Teórica

La utilización y preparación de la mezcla asfáltica tibia, es llevar la mezcla asfáltica caliente convencional a una mezcla tibia con el fin de poder trabajarla y compactarla a temperaturas más bajas. Este proceso de obtener la mezcla asfáltica tibia incorpora un aditivo que reduce la tensión superficial del asfalto mejorando la lubricación entre el ligante asfáltico y los áridos, como también mejorará la adherencia y cohesión de la mezcla asfáltica en la fase de compactación en las condiciones climáticas existentes en los sectores alto andinos.

1.3.3. Justificación Económica

La utilización de las mezclas asfálticas tibias como carpeta de rodadura de los pavimentos flexibles en zonas alto andinas, tendrá una óptima preparación, trabajabilidad y compactación en la etapa de ejecución, disminuyendo los costos en el calentamiento del asfalto y en la utilización de energía de la planta de asfalto, asimismo, al presentarse una mejor trabajabilidad de la mezcla los operadores y personal de pista demandarán menos tiempos de

colocación diaria, disminuyendo así las horas hombre del tren de trabajo, consiguiendo un mayor rendimiento y traduciéndose esto como una mejora en los costos de la ejecución de obra, obteniendo una mejor calidad de la carpeta de rodadura de los pavimentos flexibles en zonas alto andinas.

1.3.4. Justificación Ambiental

La preparación de la mezcla asfáltica tibia en la presente investigación, en referencia a la mezcla asfáltica convencional, tiene una disminución de temperatura en el calentamiento del ligante asfáltico, por ende, una menor emisión de gases reduciendo así los efectos invernaderos y los impactos al medio ambiente por emisión de gases tóxicos.

1.4. Delimitación del Estudio

La presente investigación presentará la siguiente delimitación para su desarrollo:

1.4.1. Teórica

La delimitación teórica de la tesis fue bajo las normas AASHTO, ASTM y de los Manuales de Carreteras presentes en el portal web del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. Así también, esta tesis fue acorde con las investigaciones nacionales y extranjeras examinadas durante el desarrollo del presente documento.

1.4.2. Espacial

La delimitación espacial de la investigación es desde la Provincia de Espinar hacia el distrito de Condorama ambos ubicados en el Departamento de Cusco con una altitud entre los

4000 – 4750 msnm. En este espacio geográfico se realizó la obtención de los insumos necesarios para recrear el diseño de la mezcla con el óptimo contenido de asfalto y luego ensayar las mezclas asfálticas tibias en laboratorio de asfaltos en el Departamento de Lima, adicionando la compra del aditivo tensoactivo y procediendo a la fabricación de la mezcla a diferentes temperaturas de mezclado.

1.4.3. Temporal

Esta delimitación del estudio de tipo temporal de la presente investigación, fue realizado en los meses de enero y febrero del 2022, donde se extrajo y se empleó los agregados e insumos de la zona. En ese tiempo se visitó la cantera disponible a utilizar y se realizó los respectivos ensayos en laboratorio obteniendo resultados de las propiedades físicas y mecánicas donde se obtuvo un comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas tibias bajo las normas AASHTO, ASTM y Manuales de Carreteras presentes en el portal web del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.

1.5. Objetivos de la Investigación

De acuerdo a la problemática presentada y analizada como también la importancia y delimitación del estudio, se formulan los siguientes objetivos; general y específicos:

1.5.1. Objetivo General:

Determinar una mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo con la finalidad de mejorar su comportamiento mecánico a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina a través de ensayos de laboratorio.

1.5.2. Objetivos Específicos:

- a) Determinar una mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo para optimizar su comportamiento térmico de compactación en zona altoandina.

- b) Determinar una mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo para mejorar su comportamiento físico a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina.

- c) Determinar una mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo para mejorar su comportamiento al daño por humedad inducida a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina.

Capítulo II

Marco Teórico

2.1. Marco Histórico

La presente investigación tiene como marco histórico el progreso de la mezcla asfáltica tibia a través del tiempo. Se inició como un experimento en Europa entre los años de 1995 y 1996 como una nueva tecnología para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, reducir la incineración de los combustibles durante la preparación de las mezclas asfálticas y disminuir la exposición de las personas a las emanaciones del asfalto. (Prowell et al., 2011)

En el año 2000, se explicó de cómo el proceso de producir una mezcla tibia se considera un método o tecnología prometedora para la elaboración de mezclas de asfalto a bajas temperaturas obteniendo un buen equilibrio entre el ligante asfáltico de baja viscosidad como

producción y una rápida acumulación de resistencia mecánica para la apertura del tránsito temprano. Asimismo, el efecto de disminuir las temperaturas de mezclado de las mezclas asfálticas contribuye positivamente a la reducción de las emisiones de (humos, polvo y CO₂) y ahorro energético. (Konders, B. G. et al., 2000).

En el transcurso de los años se desarrollaron varios procesos nuevos para reducir las temperaturas de mezcla y compactación de mezcla asfáltica en caliente sin sacrificar la calidad del pavimento resultante. Uno de estos procesos utiliza una cera sintética, aditivo orgánico, de la marca Sasobit®, donde se demostró que mejora la compactibilidad y una reducción general de los vacíos de aire. Asimismo, se espera que las temperaturas reduzcan los costos de combustible, reduzcan las emisiones y faciliten las aplicaciones especializadas como la construcción de pistas de aeropuertos, donde la apertura rápida al tráfico es esencial. (Prowell y Hurley, 2005)

Las mezclas asfálticas tibias una vez producidas se ensayan para verificar el efecto de la reducción de las temperaturas de fabricación, como el daño por humedad, conforme a los dos procedimientos utilizados para su análisis, AASHTO T-283 y AASHTO T-324. De acuerdo a dichos ensayos se obtiene que, con el ensayo de Hamburgo, presenta más sensibilidad al daño ocasionado por el agua al sumar el efecto de los pasos de los vehículos. Referente a los ensayos se ha procedido con importantes disminuciones de temperaturas en un rango de 35 a 55 °C, pero será necesario en determinar en cada caso, resultados que conduzcan a un compromiso entre la reducción de las temperaturas de fabricación y la durabilidad del producto. Concluyendo que, para este fin, las metodologías para evaluar daño por humedad resultan muy adecuadas por lo que se propone su uso como herramienta para definir el rango de reducción de las temperaturas de fabricación que admite cada mezcla semicaliente diseñada para

conservar buenas propiedades de cohesión y adherencia (Marcozzi y Morea, 2011)

Ensayos realizados en el Programa de Infraestructura del transporte (PITRA), el proceso de elaboración de la mezcla asfáltica tibia presentó una reducción en el uso de combustibles para la producción de mezclas asfálticas, una facilidad en la compactación de pavimentos asfálticos, también mejoró los ambientes de trabajo para los operarios en sitio. Además, se pudo observar una eliminación del envejecimiento prematuro del ligante asfáltico y permitió una apertura más rápida al tránsito. (Ulloa, 2011).

También se evaluaron las mezclas asfálticas con aditivos químicos y aditivos orgánicos, Rediset y Sasobit, respectivamente de las cuales se observó que ambos reducen la susceptibilidad a la humedad de la mezcla compactada, logrando un recubrimiento adecuado entre los agregados y el ligante asfáltico. De acuerdo a los datos obtenidos de la prueba TSR (Tensile strength ratio) comprueba que hay una baja probabilidad de stripping en ambas mezclas. (Salado y Estrada, 2013).

De acuerdo a investigaciones producidas con diferentes tecnologías para la elaboración de la mezcla asfáltica tibia con respecto a la mezcla convencional se obtiene de acuerdo al ensayo Marshall que la variación de la relación estabilidad fluencia se encuentra en el rango de -44.72% y 57.21%. También, la variación de fluencia obtenida del ensayo Marshall varía en un rango de -31.43% y 31.25%. Asimismo, la variación de estabilidad de acuerdo al ensayo Marshall, se encuentra en una variación de -32.25% y 30.31%. (García e Inga, 2020)

Por ende, en la actualidad se viene desarrollando diferentes aplicaciones como los aditivos orgánicos sobre la mezcla asfáltica, como es el aceite crudo de palma siguiendo el

procedimiento Marshall con lo que se estableció que el contenido de aceite patrón es de 3.0 % para el mejor desempeño de las mezclas tibias la cual fue la del tipo industrial. Concluyendo que, a la aplicación de este aditivo orgánico con dicho porcentaje se obtuvo una temperatura de mezcla asfáltica de 128°C y un óptimo contenido de asfalto de 5.60%, pero no se descartan los demás rangos de temperatura conseguidos con la presente investigación puesto que no se pierden las óptimas relaciones estabilidad y flujo hasta un mínimo de 115 °C. (Arriola et al., 2021)

2.2. Investigaciones previas relacionadas con el tema

2.2.1. Investigaciones Extranjeras

Tunala y Escobar (2019), realizaron una investigación comparativa de las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas convencionales (HMA) y las mezclas asfálticas tibias (WMA) utilizando materiales provenientes de la mina Guayllabamba. Cuyos resultados fueron de que las mezclas asfálticas tibias con aditivo presentan un menor porcentaje de vacíos en comparación de las mezclas asfálticas convencionales, también de acuerdo a los resultados del ensayo Marshall, las mezclas asfálticas calientes y tibias presentan una estabilidad superior a la mínima establecida en sus especificaciones técnicas, la que no cumplió con la estabilidad mínima fue la mezcla asfáltica tibia sin aditivo. Durante el desarrollo de la preparación de las mezclas asfálticas se pudo evidenciar que, al agregar el aditivo, se tuvo resultado de la disminución de temperatura, también mejora las propiedades de la mezcla como la trabajabilidad y la adherencia entre el ligante asfáltico y los agregados, obteniendo ventajas en el uso del aditivo. Al término de la elaboración de las mezclas asfálticas tibias se determinó que la temperatura al inicio de la fase de compactación se debe encontrar en el rango de 125 °C – 135 °C. Con el fin de obtener una temperatura ideal a la culminación de la fase de

compactación de 115 °C.

Ramírez (2021), en su investigación tuvo el objetivo de determinar el aumento de la vida útil del pavimento al emplear mezclas asfálticas tibias (MAT), cuyo resultado obtenido en la prueba de Tensión Indirecta (TSR) indica que a pesar de la reducción de la temperatura las partículas de asfalto muestran una adecuada cohesión, la interacción asfalto-agregado demuestra una buena adhesión y que las muestras en general tienen una buena respuesta ante el efecto de humedad superando el 80% mínimo. Respecto a la variación de la temperatura de compactación de una mezcla asfáltica en caliente (MAC) con una mezcla asfáltica tibia que se encuentren en el rango de variación de 20 °C, existe un aumento en el número de ciclos para una mezcla asfáltica tibia. Al disminuir la temperatura de compactación de una MAT, el comportamiento mecánico es similar al de una MAC en cuestión de evaluación a fatiga. Asimismo, una MAT con una temperatura de compactación de 20 °C por debajo de una MAC, incrementa su vida útil de 2.0 a 2.5 veces en comparación a una mezcla asfáltica convencional. Asimismo, el autor concluye que, existe reducción en emisiones contaminantes, ahorro de combustible, un ambiente adecuado para los trabajadores y un aumento en el número de repeticiones de carga antes de fallar por fatiga.

Ortiz A. (2021), desarrolla en su investigación el efecto que conlleva el aumento de porcentaje de RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas tibias fabricadas con tecnología de espumado. Los resultados de los diferentes ensayos realizados fueron comparables con una mezcla asfáltica convencional respecto a su comportamiento en resistencia a la carga a la fatiga y a la humedad. Por otro lado, puntualiza que existe la posibilidad de obtener menores resistencias a la fatiga produciéndose mayores frecuencias de mantenimiento. Sin embargo, el autor concluye que sus ventajas tanto económicas como ambientales podrían llegar a superar de una manera amplia los costos de

mantenimiento, debido a la utilización del RAP, que deberá ser mayor al 40%, dándose la reducción de elaboración de mezclas asfálticas y de la utilización del RAP en los casos que no sea reutilizado. En la investigación la mezcla que incluye el RAP tuvo una reducción de 20° C en la temperatura óptima de fabricación en comparación con la mezcla asfáltica en caliente de control verificando las ventajas medioambientales como la reducción del consumo de combustible y la cantidad de CO₂ liberado a la atmósfera. Asimismo, el uso o aplicación de concentraciones de RAP comprendidas entre el 40 y 60% se traducen en un ahorro de entre 15 a 30 dólares por tonelada de mezcla asfáltica fabricada.

Daguerre L. et al. (2019), investigó el comportamiento de las mezclas asfálticas tibias con incorporación de RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) en laboratorio, debido a que las mezclas convencionales se obtienen a partir de un gran consumo de energía para calentar los materiales lo que genera altas emisiones de gases al medio ambiente, teniendo diferentes impactos a éste. En el estudio realizado por el autor utilizó una mezcla densa o convencional (muestra de control) y tres mezclas asfálticas tibias, dos de ellas con RAP en concentraciones de 20 % y 40 %. De los resultados se obtiene que, el comportamiento reológico de los ligantes tibios en las mezclas asfálticas presentó una adecuada respuesta frente a los ensayos mecánicos a los que fueron sometidos. La mezcla asfáltica tibia al 40 % de RAP ha presentado un comportamiento más rígido. La mezcla asfáltica tibia al 20 % de RAP ha presentado un comportamiento a fatiga similar a la mezcla asfáltica convencional, superando el rendimiento de las convencionales. La susceptibilidad al agua evaluada a través de la resistencia a compresión diametral ha sido superior al 80% en todos los casos, obteniendo menores resultados los asfaltos tibios con 40 % de RAP. La mezcla asfáltica tibia y tibias con RAP tienen idénticos o mejores resultados que la muestra de control, salvo para la mezcla de 40 % RAP.

Romero J. y Valencia W. (2019), evaluaron el desempeño mecánico de una mezcla asfáltica tibia modificada con escoria de alto horno estabilizada con un aditivo químico. Los estudios realizados a la mezcla asfáltica presentaron novedades en el comportamiento mecánico debido al reemplazo de parte de sus agregados con material de escoria de alto horno estabilizada y a la adición de un aditivo químico HUSIL. Obteniendo resultados al realizar el reemplazo del material granular grueso por escoria de alto horno, en las fracciones de los tamices 1/2" y 3/8", presentó una mejor respuesta al comparar los resultados del ensayo de rigidez (Estabilidad), el Flujo y los vacíos en la mezcla con respecto a la mezcla de control. Asimismo, adicionando el aditivo HUSIL con una dosificación de 1.0% del cemento asfáltico, permitió la reducción de la temperatura de fabricación de la mezcla en 25 °C con respecto a la mezcla en caliente, obteniendo propiedades volumétricas similares, mayores resistencias bajo carga monotónica, aumentó la rigidez del asfalto, mayor resistencia al daño por humedad y resistencia a la disgregación de la mezcla con respecto a la mezcla convencional. Teniendo en consideración que las especificaciones definidas para la fabricación de mezclas tibias con el empleo de escoria de alto horno no se encuentran reglamentadas, la presente investigación concluye como posibilidad de materializar la normativa que defina los parámetros de cumplimiento en la fabricación de mezclas tibias, así como se ha realizado con las mezclas modificadas con asfalto caucho y otros

Córdoba J. et al. (2020), realizaron la investigación de diseño de mezclas tibias como una alternativa eficaz para la construcción de pavimentos medioambientales amigables. Los diseños fueron posibles con la adición de un aditivo orgánico, aceite crudo de palma en diferentes dosificaciones al 1.0 %, 2.0 %, 3.0 % y 4.0 % y un ligante asfáltico normalizado 60-

70, consiguiendo reducciones de temperatura de 7 °C y de 6 °C en las temperaturas de mezclado y compactación en referencia con la mezcla asfáltica en caliente. Asimismo, se seleccionó un porcentaje de contenido óptimo de asfalto de 5.5 % del ensayo Marshall, avalando parámetros dentro de los establecidos en las especificaciones técnicas como la estabilidad y flujo. Concluyendo que, el comportamiento del asfalto con adición de aceite crudo de palma, muestra un comportamiento similar independiente del asfalto y de la cantidad de aceite adicionado, presentando una mayor disminución de viscosidad a bajas temperaturas mientras que, a mayores temperaturas tiende a estar muy cerca del valor inicial de viscosidad del asfalto sin agente modificador. Los resultados de esta investigación dan pie a futuros estudios que permitan encontrar otras opciones que propicien la modificación del asfalto y disminución del consumo energético y con ella, las emisiones de gases de efecto invernadero de las mezclas asfálticas en caliente, de forma que estas sean técnica y económicamente viables para los grandes proyectos de infraestructura vial que requiere el País.

2.2.2. Investigaciones Nacionales

Flores R. y Rojas J. (2019) investigaron el comportamiento de las mezclas asfálticas tibias adicionando tensoactivos para demostrar sus beneficios respecto a las mezclas asfálticas en caliente por medio de ensayos de laboratorio. Obteniendo resultados a la aplicación de tensoactivos una temperatura de producción de mezclas asfálticas tibias de 135 °C respecto a la temperatura de producción de una mezcla asfáltica en caliente de 150 °C, teniendo ventajas en la reducción de gases y olores, previniendo el envejecimiento del ligante asfáltico. Al realizar la disminución de la temperatura de compactación por medio de la adición de tensoactivos con aditivos químicos zycotherm y quimibond 3000, se logran resultados similares a una mezcla asfáltica en caliente, siempre y cuando los agregados cumplan con las

especificaciones técnicas generales de construcción que conllevan a mejorar el comportamiento mecánico estableciendo una temperatura de compactación de 120 °C.

Cutti E. (2019), investigó la adición de aceite vegetal obtenido de productos locales en las mezclas asfálticas como reductor de temperatura para determinar los efectos que causa en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas tibias en la Provincia de Huancayo. Culminado los ensayos de laboratorio, se obtuvo resultados, que la adición de aceites vegetales mantiene un 22.83% de resistencia de las mezclas asfálticas tibias, llegando hasta la temperatura de 100 °C como límite de trabajabilidad. Asimismo, la adición de aceites vegetales en la mezcla asfáltica presenta un aumento de 23.01% de la deformación con respecto a la deformación base, por lo tanto, el flujo aumentará a medida que se adicione aceites vegetales. También nos permite bajar la temperatura de mezcla hasta 100 °C manteniendo las propiedades mecánicas para el diseño propuesto, teniendo una estabilidad 831.07 kg-f cumpliendo con los parámetros mínimos del método Marshall y también se tiene que la deformación aumenta, pero se mantiene dentro del rango permitido.

Ruth L. (2018), evaluó cómo interviene el aditivo orgánico en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica tibia. Teniendo como resultados que al agregar el 8% de aditivo orgánico en la preparación de la mezcla asfáltica tibia, presentó una disminución en los parámetros mecánicos de la mezcla por el efecto de la excesiva adición del aditivo, considerando que en la ficha técnica recomienda la aplicación del aditivo en un rango entre 1.5 % a 3.0 % con respecto al peso del asfalto. Sin embargo, se hizo el ensayo con una dosificación de 8.0 % de aditivo en la mezcla obteniendo ventajas negativas en las propiedades mecánicas de la mezcla como una mayor deformación y una menor resistencia a la fatiga como también en los parámetros Marshall, disminución en los valores de viscosidad, estabilidad, flujo, rigidez

y propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica. Asimismo, se estudió la aplicación del aditivo orgánico en la adherencia del ligantes asfáltico con los agregados gruesos y finos, al incorporar el 8.0% del aditivo orgánico en el cemento asfáltico se obtuvo un incremento en el índice de adhesividad de 4.0, siendo esta magnitud acorde con los parámetros mínimos. Luego se realizó la incidencia de la temperatura de la mezcla asfáltica en las propiedades mecánicas de ésta, al realizar el ensayo Marshall incorporando una dosificación de 3.0 % y 8.0 % de aditivo orgánico, tomándose la medida de la preparación y compactación de la mezcla asfáltica tibia, teniendo como resultado una disminución de las temperaturas presentando un mismo comportamiento con referencia al cemento asfáltico 60/70 y mejorando las propiedades mecánicas de las mezcla asfáltica tibia y beneficiándose en una menor emisión de gases tóxicos y menor riesgo en el manejo de la mezcla.

Alcantara M. y Moreno L. (2021), realizaron una propuesta de Warm Mix Asphalt (WMA) con adición de caucho reciclado para mejorar la respuesta de las vías en intersecciones urbanas ante los efectos de congestionamiento y sobre carga vehicular en el Distrito de La Victoria, Lima. Dicha propuesta fue realizada con datos de campo y trabajadas en laboratorio, desarrollando el ensayo Marshall para una mezcla asfáltica en caliente (HMA) con una gradación de agregados tipo MAC-2 y con un cemento asfáltico PEN 60/70, obteniendo porcentaje óptimo de asfalto de 5.9 % un porcentaje de vacíos de 4.3 %, un peso unitario de 2.5 %, una resistencia a la compresión de 2.7 Mpa, una estabilidad de 1007.5 KN y una estabilidad sobre fluido de 2928.7 kg/cm, todos estos valores cumplieron con las Especificaciones Técnicas Generales 2013. Luego con el dato de porcentaje de asfalto residual de 5.9%, se realizó la elaboración de una mezcla asfáltica tibia con adición de un aditivo químico y caucho reciclado, ITERLOW-T al 0.3% y Caucho reciclado al 18 %, utilizando la metodología Marshall, se obtuvo un gran porcentaje de vacíos de 4.7 %, que conlleva a un

mejor proceso de compactación y una mayor durabilidad del pavimento frente a agentes nocivos como la sobrecarga vehicular y se obtuvo un parámetro estabilidad/flujo de 3225.8 kg/cm que se encontró en el rango admisible que es de 1700-4000 kg/cm. Asimismo se realizó el ensayo de Lottman tanto para la mezcla asfáltica convencional como para la mezcla asfáltica tibia, obteniendo para la HMA datos de carga de 65 N de contacto y 650 N de forma cíclica, con un número de 5 pulsaciones. Luego se obtuvieron 5 resultados del ensayo de módulo de elasticidad (E) o módulo de resiliencia (Mr), con una media aritmética de 825 Mpa y un porcentaje de coeficiente de vacíos de 4.12%. Para la WMA se obtuvieron datos de carga de 130 N de contacto y 1300 N de manera cíclica, con un número de 5 pulsaciones. Al realizar el ensayo de módulo de elasticidad (E), se obtuvieron 5 resultados, con una media aritmética de 1 462 Mpa y un porcentaje de coeficiente de vacíos 3.54 %. Por último, se obtuvo una diferencia de deformaciones entre las muestras de HMA y WMA de 49.47 %, lo que indica que la WMA propuesta, reduce las deformaciones de las cargas vehiculares. En definitiva, realizando las comparaciones se puede ahorrar hasta un 5.54% de carpeta asfáltica por m².

2.3. Estructura Teórica y científica que Sustenta el Estudio

2.3.1. Mezclas Asfálticas Tibias – Warm Mix Asphalt (WMA)

Las mezclas tibias son aquellas que mediante el uso de diferentes tecnologías permite la fabricación y compactación de dichas mezclas a bajas temperaturas con referencia a una mezcla asfáltica en caliente convencional presentando similitud en sus propiedades mecánicas y desempeño durante su vida útil.

Con la reducción de temperaturas de fabricación y compactación trae consigo ciertas ventajas en el tema ambiental, en la ejecución en obra, en la durabilidad y seguridad laboral. En el tema ambiental se tiene la disminución de gases perjudiciales a la capa de ozono por el calentamiento del asfalto. En el tema de ejecución en obra especialmente en zonas de altura donde se presenta el efecto de gradiente térmico se tendría una mayor trabajabilidad de la mezcla a temperaturas reducidas, asimismo, mayor producción y ventanas de trabajo durante el día y mayores distancias de transporte. En el tema de durabilidad, se tendría un aporte positivo debido a que el asfalto se calentaría a una menor temperatura reduciendo la oxidación y alargando su vida útil y en el tema de seguridad laboral debido a que la mezcla presenta una temperatura reducida existiría menores índices de quemaduras y mejoraría la salud de los trabajadores expuestos a los gases contaminantes tanto en planta de asfalto como en el traslado, colocación y compactación de la mezcla asfáltica.

Las mezclas asfálticas tibias (MAT o Warm Mix Asphalt, WMA por sus siglas en inglés) son un conjunto de tecnologías desarrolladas en Europa durante el tratado con Kyoto y la Comunidad Económica Europea en 1997, como una respuesta a los gases del efecto invernadero. La National Asphalt Pavement Association (NAPA) en cooperación con la

Federal Highway Administration (FHWA) introdujeron las MAT en el World Asphalt Show & Conference del 2004, en Nashville, como aporte a estos problemas ambientales. Ulloa, A. (2011).

Las mezclas tibias se describen como aquellas que se producen a temperaturas reducidas que las mezclas asfálticas en caliente, es decir entre 100 °C y 135 °C, su producción involucra nuevas tecnologías a partir de los cuales es posible producir y colocar los concretos asfálticos a temperaturas sensiblemente menores a las técnicas convencionales. El concepto de mezcla tibia, surgió en Europa, tras la necesidad de una mezcla bituminosa que ofreciera economía de energía y tuviera el mismo desempeño de las mezclas bituminosas en caliente. Lopera, C. y Córdoba, J. (2013).

El concepto de mezclas tibias comprende una serie de nuevas tecnologías a partir de las cuales es posible producir y colocar los concretos asfálticos a temperaturas sensiblemente inferiores respecto de los rangos acostumbrados para las mezclas asfálticas tradicionales. Esta reducción de temperaturas es del orden de los 20 °C a 40 °C. Nosetti, R. (2015).

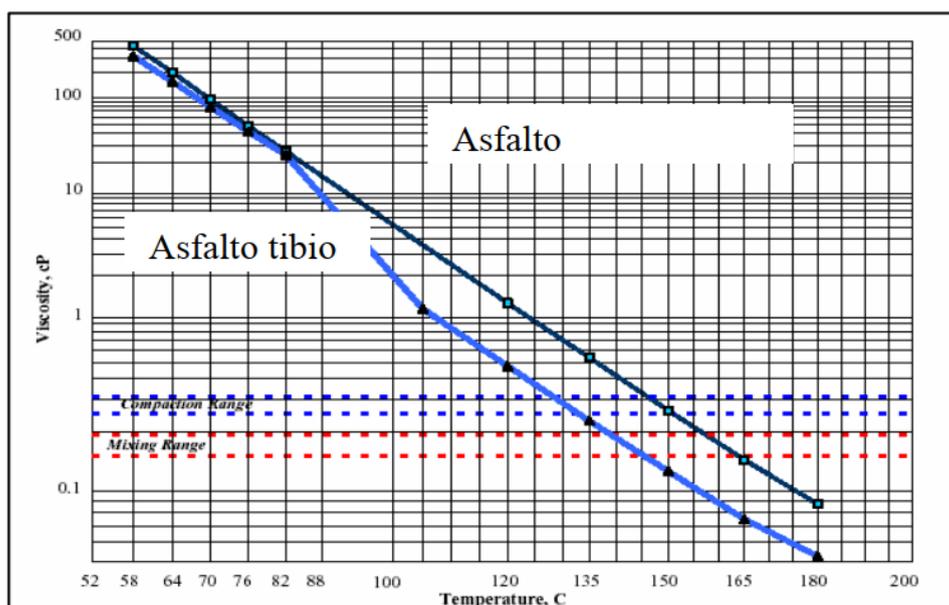
Se hacen llamar mezclas asfálticas tibias (warm mix asphalt, WMA) a aquellas que mediante el uso de diferentes técnicas logran reducir sus temperaturas de mezclado y compactación respecto a una mezcla asfáltica en caliente sin alterar significativamente la calidad de la mezcla asfáltica resultante. Resultando, un uso menor de energía necesaria para la fabricación de la mezcla y, por ende, reducción en las emisiones de gases contaminantes. Asimismo, se presenta una menor oxidación y envejecimiento en corto plazo del ligante asfáltico y un aumento en la resistencia a fatiga por carga en WMA. Adicionalmente, reportan un ahorro en costo de combustibles superior al 40%, por lo que, el ahorro sería significativo en

aqueellos países que el combustible sea más costoso. Rondón, Q. et al. (2017).

Si se tuviese que definir a las mezclas asfálticas tibias o warm mix asphalt (WMA), de acuerdo a la bibliografía en inglés, podríamos decir que las mismas constituyen un grupo de concretos asfálticos con la singularidad de mostrar temperaturas de trabajo (elaboración, colocación y compactación) reducidas o inferiores en el orden de 20 °C a 40 °C, a las acostumbradas para las mezclas en caliente. Existen diferentes tecnologías que permiten alcanzar las propiedades necesarias en el ligante asfáltico para la elaboración de este tipo de mezclas asfálticas, en la Figura 1, se muestra como una de las tecnologías usadas para la fabricación de mezclas asfálticas tibias modifica la viscosidad; es decir contar con un ligante asfáltico que presente un comportamiento similar a los ligantes tradicionales (sea un asfalto modificado, o no) en el ámbito de las temperaturas de fabricación, colocación y compactación de los concretos asfálticos. Asimismo, dependiendo de las condiciones de cada proyecto pueden obtenerse menores temperaturas de trabajo en el rango de los 20 °C a los 40 °C respecto a las mezclas asfálticas en caliente convencionales. Bisio, A. (2008)

Figura 1

Relación de Viscosidad – Temperatura, una de las tecnologías de asfaltos tibios.



Nota. Adaptado de “Nuevas tecnologías en mezclas tibias” (p. 2), por A. Bisio, 2008, *Comisión Permanente del Asfalto XXXV Reunión del Asfalto*.

Las mezclas asfálticas tibias o warm mix asphalt, comprenden un grupo de tecnologías con el fin de reducir las temperaturas de fabricación, colocación y compactación sin perjudicar las propiedades reológicas del cemento asfáltico y de la mezcla en la operación de la vía. Parte de estas tecnologías tienden a reducir la viscosidad del ligante asfáltico para facilitar el mezclado con los agregados y su posterior compactación, resaltando varias ventajas respecto a las mezclas asfálticas convencionales en caliente. Otra parte no reduce la viscosidad, sino la mantiene, lo que reduce es la tensión interfacial entre el ligante asfáltico y los agregados con el fin de facilitar la trabajabilidad en el mezclado y compactación también reduciendo la temperatura de la mezcla. La disminución de la temperatura se encuentra en un rango de 10°C a 50 °C de acuerdo a la tecnología que se emplee. Gutiérrez, A. (2013).

La tecnología de mezclas asfálticas tibias puede ser usada en distintos proyectos ubicados en zonas altoandinas de alturas mayores a 3 000 m.s.n.m., contrarrestando a las gradientes térmicas presentes en dichos ambientes con la finalidad de su preparación, colocación y compactación. Vera y Radice (2015).

2.3.1.1. Áridos

Los áridos son los agregados minerales para producir las mezclas asfálticas pueden ser triturados, naturales o sintéticos. Los agregados naturales se extraen de depósitos glaciares o fluviales y utilizados directamente sin ningún procedimiento de trituración para elaborar la mezcla asfáltica. Los agregados triturados son producidos en canteras, triturados mecánicamente hasta obtener el tamaño deseado y los agregados sintéticos se producen por

medio de la industria, como por ejemplo la escoria de altos hornos. Asimismo, indistintamente de la fuente de producción del agregado se espera que este provea el esqueleto pétreo resistente a las cargas repetidas que tendrá la vía en servicio. Garnica, P. et al (2005).

Los agregados minerales se caracterizan por representar el 90 a 95 % del peso de una mezcla asfáltica en caliente o el 75 a 85 % del volumen. Las características del agregado son las encargadas de darle una estructura fuerte a la mezcla asfáltica con la finalidad de resistir las deformaciones debido a las cargas repetitivas que tendrá la carpeta asfáltica. La composición química y mineralógica del agregado son significativos en la determinación de las características como la solidez, forma, dureza y el potencial de extracción. Los agregados procesados son piedras o gravas trituradas. Los agregados procesados tienen una mejor angularidad y una mejor clasificación. Los agregados o materiales sintéticos son fabricados y utilizados para aumentar la resistencia al deslizamiento de la mezcla asfáltica como la arcilla expandida ligera, escoria de altos hornos. Menéndez, J. (2016).

Los agregados pétreos utilizados en la ejecución de cualquier tratamiento o mezcla asfáltica tienen que poseer una característica tal que, al colocarle un material asfáltico, este no se desprenda a la acción del agua y tránsito. Se le denominará agregado grueso al material retenido en la malla N° 4, y se denominará agregado fino a la pasante de la malla N° 4 y retenida en la malla N° 200 y llenante o polvo mineral la pasante de la malla N° 200. El agregado grueso deberá ser procesado de las gravas o rocas o la combinación de ambas, el resultado deberá tener las características de durabilidad, resistencia y limpieza, sin demasía de partículas planas, blandas, alargadas o desintegrables. El agregado fino será procesado de la trituración o arenas naturales o una mezcla de ambas. La superficie de los agregados finos deberá ser limpio, duro, rugosa y angular. El agregado fino deberá estar libre de cualquier otra sustancia que impida la adhesión con el asfalto cumpliendo con las especificaciones técnicas. El llenante o polvo

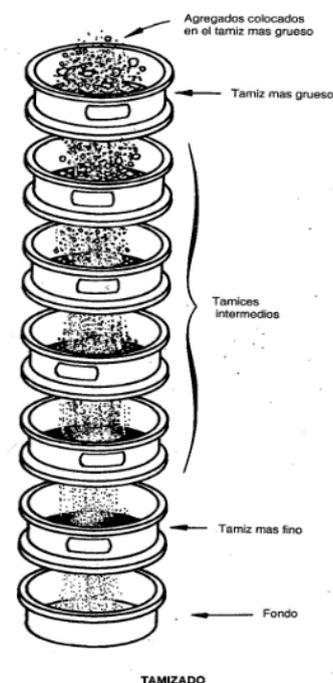
mineral será procesado de la trituración de las gravas o rocas o podrá ser producido industrialmente como cemento portland o cal hidratada. La mezcla de los agregados finos, gruesos y polvo mineral deberá cumplir con los límites granulométricos exigidos en las especificaciones técnicas. Especificaciones Técnicas Generales (2013). Las propiedades de los agregados serán de acuerdo a lo exigido en las Especificaciones Técnicas Generales EG-2013.

2.3.1.1.1. Granulometría

La granulometría de agregados es obtenida de acuerdo a un análisis de tamizado realizado a las muestras del material. Este análisis consiste en pasar el material por una serie de tamices con diferentes aberturas con un tamaño específico. Los tamices están nombrados de acuerdo a su tamaño de abertura, los materiales gruesos se encuentran retenidos en los tamices superiores, los materiales medianos son pasantes de los tamices medianos y los materiales finos son pasantes de los tamices inferiores. Asphalt Institute (1992).

La granulometría da como resultados el porcentaje de cada uno de los tamaños del material o mezcla. Generalmente se expresa en porcentaje del material que pasa un tamiz respecto al peso total de la muestra. La distribución resultante de las partículas del agregado se encuentra relacionada con el desempeño de las capas del paquete estructural del pavimento. Generalmente estas distribuciones se clasifican como uniforme, graduada, bien graduada, abierta o graduada no uniforme. Menéndez J. (2016). En la Figura 2, se muestra el proceso de tamizado del material.

Figura 2
Tamizado



Nota. Adaptado de “Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente” (p. 43), por Asphalt Institute Serie de Manuales N° 22, 1992, *Asphalt Institute*.

Los agregados minerales gruesos, de acuerdo a la Tabla 2, deberán cumplir con las exigencias establecidas en las Especificaciones técnicas generales (EG-2013)

Tabla 2
Exigencias para los agregados minerales gruesos.

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

Nota. Adaptado de “Sección 423 Pavimento de concreto asfáltico en caliente” (p. 560), por Especificaciones técnicas generales para construcción, 2013, *Ministerio de Transportes y*

Comunicaciones.

Los agregados minerales finos, de acuerdo a la Tabla 3, deberán cumplir con las exigencias establecidas en las EG-2013.

Tabla 3

Exigencias para los agregados minerales finos.

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

Nota. Adaptado de “Sección 423 Pavimento de concreto asfáltico en caliente” (p. 560), por Especificaciones técnicas generales para construcción, 2013, *Ministerio de Transportes y Comunicaciones*.

El llenante o polvo mineral, de acuerdo a la Tabla 4, deberá cumplir con las exigencias establecidas en las EG-2013.

Tabla 4

Exigencias para la cal hidratada.

Requerimiento	% en masa
Contenido mínimo de Cal Activa (% en masa) (% Ca (OH) ₂ +% Ca (O) ²)	90
Contenido máximo de Cal Deshidratada (% en masa de CaO)	7
Contenido máximo de Agua (% en masa de H ₂ O)	3

α No se permite más del 7% en masa de óxido de calcio (cal deshidratada) en la determinación del contenido total de cal activa.

Fuente: AASTHO M303

Nota. Adaptado de “Sección 430 Mejoradores de adherencia” (p. 683), por Especificaciones técnicas generales para construcción, 2013, *Ministerio de Transportes y Comunicaciones*.

En la Tabla 5, se muestra la gradación para mezclas asfálticas en caliente (M.A.C.) de

acuerdo a las Especificaciones Técnicas Generales (EG-2013).

Tabla 5

Gradación para M.A.C. de acuerdo a las EG-2013

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC-1	MAC-2	MAC-3
25,0 mm (1")	100		
19,0 mm (3/4")	80-100	100	
12,5 mm (1/2")	67-85	80-100	
9,5 mm (3/8")	60-77	70-88	100
4,75 mm (N.º 4)	43-54	51-68	65-87
2,00 mm (N.º 10)	29-45	38-52	43-61
425 µm (N.º 40)	14-25	17-28	16-29
180 µm (N.º 80)	8-17	8-17	9-19
75 µm (N.º 200)	4-8	4-8	5-10

Nota. Adaptado de “Sección 423 Pavimento de concreto asfáltico en caliente” (p. 561), por Especificaciones técnicas generales para construcción, 2013, *Ministerio de Transportes y Comunicaciones*.

Asimismo, en las EG-2013 indican que alternativamente se puede utilizar las gradaciones especificadas en la ASTM D 3515, ver Tabla 7, e Instituto del Asfalto, ver Tabla 6.

Tabla 6

Gradación para M.A.C. de acuerdo al Instituto del Asfalto

Tamaño de Tamiz	Designación de la Mezcla usando el Tamaño Máximo Nominal de Agregado				
	37.5 mm (1 1/2 in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (3/4 in.)	12.5 mm (1/2 in.)	9.5 mm (3/8 in.)
	Porcentaje Total que Pasa (en peso)				
50 mm (2 in.)	100	—	—	—	—
37.5 mm (1 1/2 in.)	90 to 100	100	—	—	—
25.0 mm (1 in.)	—	90 to 100	100	—	—
19.0 mm (3/4 in.)	56 to 80	—	90 to 100	100	—
12.5 mm (1/2 in.)	—	56 to 80	—	90 to 100	100
9.5 mm (3/8 in.)	—	—	56 to 80	—	90 to 100
4.75 mm (No. 4)	23 to 53	29 to 59	35 to 65	44 to 74	55 to 85
2.36 mm (No. 8)*	15 to 41	19 to 45	23 to 49	28 to 58	32 to 67
1.18 mm (No. 16)	—	—	—	—	—
0.60 mm (No. 30)	—	—	—	—	—
0.30 mm (No. 50)	4 to 16	5 to 17	5 to 19	5 to 21	7 to 23
0.15 mm (No. 100)	—	—	—	—	—
0.075 mm (No. 200)**	0 to 5	1 to 7	2 to 8	2 to 10	2 to 10
Cemento Asfáltico, porcentaje en peso del total de la mezcla*	3 to 8	3 to 9	4 to 10	4 to 11	5 to 12

Nota. Adaptado de “Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente”

(p. 45), por Asphalt Institute Serie de Manuales N° 22, 1992, *Asphalt Institute*.

Tabla 7

Gradación para M.A.C. de acuerdo a la ASTM D 3515

 **D 3515**

TABLE 1 Composition of Bituminous Paving Mixtures

Sieve Size	Dense Mixtures								
	D-1	D-2	D-3	D-4	Mix Designation		D-7	D-8	D-9
	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1½ in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (¾ in.)	4.75 mm (No. 4) (Sand Asphalt)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16) (Sheet Asphalt)
Grading of Total Aggregate (Coarse Plus Fine, Plus Filler if Required) Amounts Finer Than Each Laboratory Sieve (Square Opening), Weight %									
63-mm (2½ in.)	100	---	---	---	---	---	---	---	---
50-mm (2 in.)	90 to 100	100	---	---	---	---	---	---	---
37.5-mm (1½ in.)	---	90 to 100	100	---	---	---	---	---	---
25.0-mm (1 in.)	60 to 80	---	90 to 100	100	---	---	---	---	---
19.0-mm (¾ in.)	---	56 to 80	---	90 to 100	100	---	---	---	---
12.5-mm (½ in.)	35 to 65	---	56 to 80	---	90 to 100	100	---	---	---
9.5-mm (¾ in.)	---	---	---	56 to 80	---	90 to 100	100	---	---
4.75-mm (No. 4)	17 to 47	23 to 53	29 to 59	35 to 65	44 to 74	55 to 85	80 to 100	---	100
2.36-mm (No. 8) ^a	10 to 36	15 to 41	19 to 45	23 to 49	28 to 58	32 to 67	65 to 100	---	95 to 100
1.18-mm (No. 16)	---	---	---	---	---	---	40 to 80	---	85 to 100
600-µm (No. 30)	---	---	---	---	---	---	25 to 65	---	70 to 95
300-µm (No. 50)	3 to 15	4 to 16	5 to 17	5 to 19	5 to 21	7 to 23	7 to 40	---	45 to 75
150-µm (No. 100)	---	---	---	---	---	---	3 to 20	---	20 to 40
75-µm (No. 200) [#]	0 to 5	0 to 6	1 to 7	2 to 8	2 to 10	2 to 10	2 to 10	---	9 to 20

Nota. Adaptado de “Especificación estándar para mezclas de pavimento bituminosas colocadas en caliente, mezcladas en caliente” (p. 3), por ASTM D 3515-01, *ASTM*.

2.3.1.1.2. Abrasión Los Ángeles

Este procedimiento descrito en el manual de ensayo de materiales MTC E 207, consiste en degradar los agregados minerales de gradaciones normalizadas, esta degradación es por impacto y trituración que se realiza en un tambor de acero en rotación con un número determinado de esferas de acero. Después de un número de revoluciones el agregado mineral es retirado del tambor y tamizado para cuantificar en porcentaje la degradación que sufrió el agregado mineral. Manual de ensayo de materiales, (2016).

2.3.1.1.3. Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio

Este procedimiento descrito en el manual de ensayo de materiales MTC E 209, consiste

en la desintegración de los agregados minerales tanto finos y gruesos mediante soluciones saturadas de sulfato de magnesio o sulfato de sodio, entre 16 a 18 horas, tal que las soluciones envuelvan toda la muestra. Luego se extrae la muestra y se pone a sacar al horno. Se repite este procedimiento hasta cumplir los ciclos deseados. Manual de ensayo de materiales, (2016).

2.3.1.1.4. Peso específico y absorción de agregados gruesos

Este procedimiento descrito en el manual de ensayo de materiales MTC E 206, consiste en sumergir una porción de muestra en agua durante 24 horas, luego se extrae del agua, se seca su superficie y se pesa como también se pesa cuando se encuentre sumergido en agua. Después de pesado la muestra se lleva al horno para su secado y posterior pesado, con la finalidad de obtener tres pesos específicos y de absorción. Manual de ensayo de materiales, (2016).

2.3.1.1.5. Partículas fracturadas en el agregado grueso

Este procedimiento explicado en el manual de ensayo de materiales MTC E 210, tiene el propósito de incrementar el esfuerzo cortante mediante la fricción inter-partícula tanto en los agregados compactados o sueltos. Asimismo, también tiene el propósito de dar estabilidad a los tratamientos superficiales de agregados proporcionando una mayor fricción entre la textura de agregados utilizados en los pavimentos de superficies granulares. Manual de ensayo de materiales, (2016).

2.3.1.1.6. Índice de durabilidad del agregado

Este procedimiento descrito en el manual de ensayo de materiales MTC E 214, consiste en una prueba diagnóstico veloz para evaluar la calidad de la fuente de agregado. También puede utilizarse en cambio del ensayo de durabilidad al sulfato de sodio. Manual de ensayo de materiales, (2016).

2.3.1.1.7. Sales solubles en agregados

Este procedimiento descrito en el manual de ensayo de materiales MTC E 219, consiste en realizar un lavado del agregado a la temperatura de ebullición, este lavado será continuo y con agua destilada, hasta la extracción de sales existentes en el agregado. Luego se toma una proporción del agua del lavado con el fin de que sea cristalizado y obtener la cantidad de sales presentes. Manual de ensayo de materiales, (2016).

2.3.1.1.8. Índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados.

Este procedimiento descrito en el manual de ensayo de materiales MTC E 221, donde se define como índice de aplanamiento de una fracción de agregado el porcentaje en peso, del material que lo conforman, donde la magnitud mínima (espesor) es inferior a $3/5$ de la dimensión media de la fracción. Se define como índice de alargamiento de una fracción de agregado el porcentaje en peso, de las partículas que la forman, donde la magnitud máxima (longitud) es superior a $9/5$ de la magnitud media de la fracción. Manual de ensayo de materiales, (2016).

2.3.1.1.9. Revestimiento y desprendimiento de mezclas agregado-bitumen (Adherencia)

Este procedimiento se encuentra descrito en el manual de ensayo de materiales MTC E 517, determina la retención de una película de asfalto en una superficie de agregado en presencia de agua. Es utilizable para asfaltos semisólidos, cutback, emulsiones alquitranes y asfálticas. Manual de ensayo de materiales, (2016).

2.3.1.1.10. Índice de plasticidad

Este procedimiento se encuentra descrito en el manual de ensayo de materiales MTC E

111, consiste en determinar el límite plástico a la humedad más baja en la que se puedan realizar barritas de suelos de unas dimensiones de 3.2 mm o 1/8" de diámetro, siendo la forma de desarrollo de ensayo, entre la palma de mano y una superficie lisa, tratando de que las barritas de suelo no se desmoronen. Manual de ensayo de materiales, (2016).

2.3.1.1.11. Equivalente de Arena

Este procedimiento se encuentra descrito en el manual de ensayo de materiales MTC E 114, consiste en colocar una porción del agregado fino en una probeta con una solución de floculante, luego agitamos y dejamos reposar, con ello se determina una magnitud empírica de fineza y material arcilloso presente en la muestra. Manual de ensayo de materiales, (2016).

2.3.1.1.12. Adhesividad de los ligantes asfálticos a los áridos finos (Riedel-Weber)

Este procedimiento se encuentra descrito en el manual de ensayo de materiales MTC E 220, este ensayo consiste en determinar el grado de adhesividad que tiene el agregado fino con el ligante asfáltico. Manual de ensayo de materiales, (2016).

2.3.1.1.13. Angularidad del agregado fino

Este procedimiento se encuentra descrito en el manual de ensayo de materiales MTC E 222, consiste en determinar el porcentaje de vacíos de aire presentes en el agregado fino. Manual de ensayo de materiales, (2016).

2.3.1.2. Cementos asfálticos

ASTM lo conceptualiza como un material cementante, de color oscuro y de consistencia variable, cuya rigidez depende de la temperatura en la que se encuentre. El asfalto es sólido o

semisólido a temperatura ambiente y cuando a temperaturas altas se vuelve líquido, esta condición permite que los agregados sean cubiertos completamente, durante el mezclado. El asfalto usado en pavimentación, comúnmente llamado cemento asfáltico, a altas temperaturas (135 °C) es poco rígido, condición que permite que se adhiere fácilmente a las partículas del agregado y, por lo tanto, es un excelente cemento que une los agregados en mezclas en caliente. Minaya, S. y Ordoñez, A. (2006).

El asfalto al entrar en contacto con el oxígeno del medio ambiente reacciona, perdiendo sus propiedades elásticas volviéndose duro y frágil. Esta es una de las propiedades del asfalto que trata de retardarse, pero que se desarrolla en el tiempo. En una mezcla convencional (asfalto + agregado de granulometría completa) el porcentaje de asfalto es de 6.5 % y el agregado de 93.5 % en peso de la mezcla, aproximadamente; sin embargo, es importante resaltar como un material cuya participación es mínima puede tener tanto efecto en el comportamiento de la mezcla. Minaya, S. y Ordoñez, A. (2006).

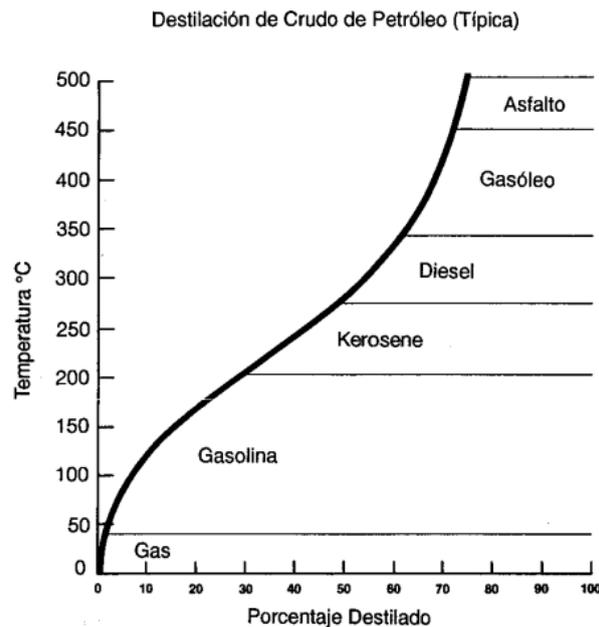
El asfalto es un material negro, cementante, que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido (sólido blando), a temperaturas ambientales normales. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de mezcla en caliente. Casi todo el asfalto usado en los Estados Unidos es producido por refinerías modernas de petróleo y es llamado asfalto de petróleo. El grado de control permitido por los equipos modernos de refinería permite la producción de asfaltos con características distintas, que se presentan para usos específicos. Como resultado, se producen asfaltos para pavimentación, techado y otros usos especiales. Asphalt Institute (1992).

El asfalto utilizado en pavimentación, regularmente llamado cemento asfáltico, es un material viscoso (espeso) y pegajoso. Se adhiere fácilmente a las partículas de agregado y, por lo tanto, es un excelente cemento para unir partículas de agregado en un pavimento de mezcla en caliente. El cemento asfáltico es un excelente material impermeabilizante y no es afectado por los ácidos, los álcalis (bases) o las sales. Esto significa que un pavimento de concreto asfáltico construido adecuadamente es impermeable y resistente a muchos tipos de daño químico. El asfalto cambia cuando es calentado y/o envejecido. Tiende a volverse duro y frágil y también a perder parte de su capacidad de adherirse a las partículas de agregado. Estos cambios pueden ser minimizados si se comprenden las propiedades del asfalto, y si se toman medidas durante la construcción, para garantizar que el pavimento terminado sea construido de tal manera que pueda retardarse el proceso de envejecimiento. Asphalt Institute (1992).

El crudo de petróleo es refinado por destilación. Este es un proceso en el cual las diferentes fracciones (productos) son separadas fuera del crudo por medio de un aumento, en etapas, de la temperatura. Las diferentes fracciones se separan a diferentes temperaturas, ver Figura 3. Las fracciones livianas se separan por destilación simple. Los destilados más pesados, usualmente llamados gasóleos, pueden ser separados solamente mediante una combinación de calor y vacío. El asfalto puede ser producido usando destilación por vacío a una temperatura aproximada de 480 °C (900 °F). Esta temperatura puede diferir un poco, dependiendo del crudo de petróleo que se esté refinando, o el grado de asfalto que se esté produciendo. Asimismo, se muestra en la Figura 4 una ilustración esquemática de una refinería típica, mostrándose el flujo de petróleo durante el proceso de refinación. Asphalt Institute (1992).

Figura 3

Productos y temperaturas típicas de destilación



Nota. Adaptado de “Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente” (p. 12), por Asphalt Institute Serie de Manuales N° 22, 1992, *Asphalt Institute*.

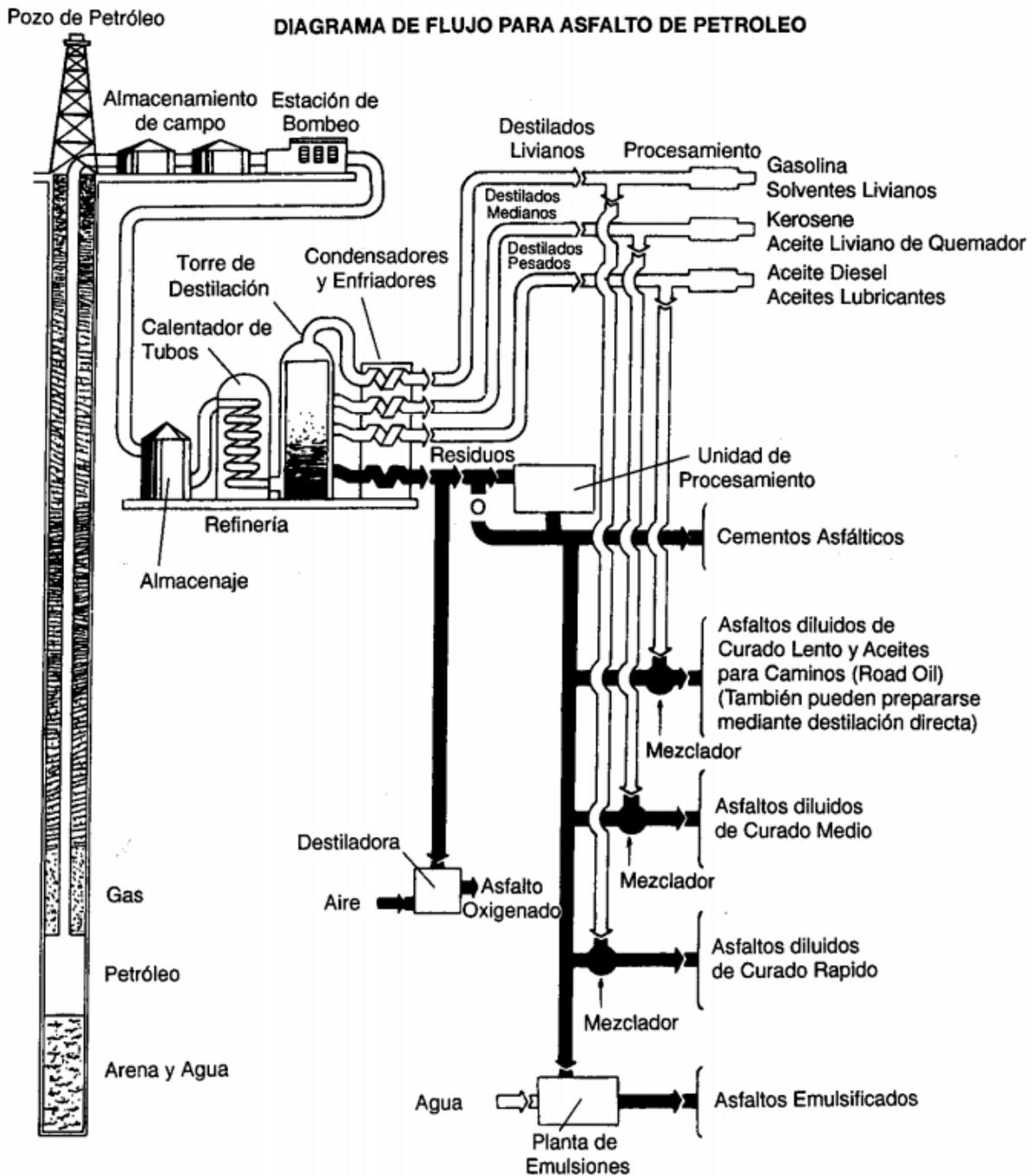
Distintos usos requieren diferentes tipos de asfalto. Los refinadores del petróleo deben tener procedimientos de controlar las propiedades de los asfaltos que elaboran, para que estos cumplan ciertos requisitos. Esto se logra, usualmente, mezclando varios tipos de crudos de petróleo antes de procesarlos. El hecho de poder mezclar permite el refinador combinar crudos que contienen asfaltos de características variables, para que el producto final posea exactamente las características solicitadas por el usuario. Asphalt Institute (1992).

Existen dos procesos por los cuales puede ser producido un asfalto, después de que se han combinado los crudos de petróleo: destilación por vacío y extracción con solventes. Como se discutió anteriormente, la destilación por vacío consiste en separar el asfalto del crudo mediante la aplicación de calor y vacío. En el proceso de extracción con solvente, se remueven más gasóleos del crudo, dejando así un asfalto residual. Una vez que los asfaltos han sido procesados, estos pueden ser mezclados entre sí, en ciertas proporciones, para producir grados intermedios de asfalto. Es así como un asfalto muy viscoso y uno menos viscoso pueden ser

combinados para producir un asfalto de viscosidad intermedia. En resumen, para producir asfaltos con características específicas, se usa el crudo de petróleo o mezclas de crudos de petróleo. El asfalto es separado de las otras fracciones del crudo por medio de destilación por vacío o extracción con solvente. Asphalt Institute (1992).

Figura 4

Esquema de la refinación típica de asfaltos



Nota. Adaptado de “Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente” (p. 13), por Asphalt Institute Serie de Manuales N° 22, 1992, *Asphalt Institute*.

El cemento asfáltico es un material muy antiguo utilizados por el hombre. Excavaciones

arqueológicas revelan de su empleo en épocas anteriores a nuestra era. En Asia, Mesopotamia, el asfalto era usado como aglutinante en trabajos de albañilería y construcción de estrados. Los reservorios de agua de los baños sagrados eran impermeabilizados con asfalto. El cemento asfáltico se usó en pavimentación en 1802 en Francia, 1838 en USA, Filadelfia y en 1909 se inicia el uso del “Asfalto derivado del Petróleo”, por sus características de economía y pureza en relación a asfalto naturales, constituyen actualmente la principal fuente de abastecimiento. Huaman, N. (2016).

El ligante asfáltico es un material aglutinante de consistencia variable tiene un color oscuro, se puede encontrar naturalmente y/o por refinación de petróleos. Está constituido por una mezcla compleja de hidrocarburos no volátiles de elevado peso molecular. Los asfaltos naturales pueden hallarse en depresiones de la corteza terrestre constituyendo los “lagos de asfalto” (Trinidad Bermudas) o aparecen impregnados en poros de rocas formando las llamadas “rocas asfálticas” (Gilgonita). También se encuentra mezclados con impurezas minerales. Actualmente, la mayor parte del asfalto producido y empleado en el mundo es extraído del petróleo del cual es obtenido exento de impurezas. Huamán, N. (2016).

El asfalto es preparado especialmente por presentar cualidades y consistencias particulares para su uso directo en la construcción de pavimentos asfálticos. Es ideal para aplicaciones en trabajos de pavimentación por sus propiedades aglutinantes, impermeabilizantes, flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a los ácidos y álcalis en general. Se clasifican de acuerdo a su consistencia medida por la viscosidad dinámica o absoluta y por su penetración (PEN). El cemento asfáltico o asfalto es un residuo del proceso de destilación del petróleo en unidades de destilación primaria y de vacío. El producto obtenido del fondo de la destilación primaria (crudo reducido) es destilado a 26 mmHg de presión de vacío y alta

temperatura (del orden de 700 °F). El producto obtenido por los fondos de las torres de vacío se le denomina “Residual Asfáltico” o “Cemento Asfáltico de Petróleo-CAP”, a temperatura ambiente es semisólido. Dicho CAP es obtenido a diferentes viscosidades las que miden su consistencia. La viscosidad de un cemento asfáltico es inversamente proporcional con el valor de la penetración, los mismos que se identifican como sigue:

CAP PEN 60/70: Cemento asfáltico de petróleo de penetración de 60 a 70.

CAP PEN 85/100: Cemento asfáltico de petróleo de penetración de 85 a 100.

En Perú se producen CAP PEN de diferentes rangos de penetración según las viscosidades obtenidas en las refinerías de Petroperú y Repsol. Huamán, N. (2016).

2.3.1.2.1. Composición química de los asfaltos

La estructura interna de un cemento asfáltico se caracteriza por la conformación química de sus moléculas en las cuales predominan los hidrocarburos con pequeñas cantidades de elementos policíclicos de estructura análogas, nitrógeno, azufre y átomos de oxígeno. El asfalto a su vez comprende de diminutas cantidades de metales como es el níquel, magnesio, calcio, vanadio y hierro, los cuales se hallan en forma de sales inorgánicas y óxidos o en estructuras de parafina. Los asfaltos producidos de una variedad de crudos, contienen los siguientes elementos. Menéndez, J. (2016).

Carbón 82-88 %

Hidrógeno 8-11 %

Azufre 0-6 %

Oxígeno

Nitrógeno

Los asfaltos se separan en dos grupos químicos denominados Asfaltenos y Maltenos,

donde los maltenos se subdividen en componentes resinas, saturados y aromáticos. Menéndez, J. (2016).

El cemento asfáltico se encuentra conformado o compuesto por diferentes hidrocarburos (una combinación entre hidrógeno y carbono) nitrógeno, oxígeno y otros componentes. El asfalto cuando se diluye en heptano se descompone en asfaltenos y maltenos Minaya, S. y Ordoñez, A. (2006).

El asfalto tiene propiedades químicas particulares que lo hacen muy versátil como material de construcción de carreteras. El personal técnico de asfalto y los especialistas en diseño de pavimentos han aprendido a identificar y analizar estas propiedades y a utilizarlas, dentro del paquete estructural del pavimento, en una forma adecuada y positiva. La composición química del asfalto es verídicamente uno de los medios más usados y precisos para identificar las propiedades del asfalto. Asphalt Institute (1992)

Sin embargo, existen razones por lo que, la química no ha llegado a ser parte de los sistemas de clasificación: En la actualidad no hay una prueba homogénea para la composición química de los asfaltos que sea aceptada entre los proveedores y usuarios del material. Los ensayos que existen con el fin de analizar la composición química de los asfaltos requieren de equipos sofisticados y habilidad técnica, que carece en la mayoría de laboratorios en las cuales se realizan las pruebas de asfaltos. La relación entre la composición química del cemento asfáltico y su comportamiento conjuntamente en el paquete estructural del pavimento, es aún desconocido. El asfalto está compuesto por varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrógeno y carbono) y algunos elementos de azufre, oxígeno, nitrógeno y otros elementos. El asfalto, cuando es diluido en heptano, puede separarse en dos partes principales: asfaltenos

y maltenos. Asphalt Institute (1992). Ver Tabla 8.

Tabla 8

Composición de química de un asfalto PEN 100

	Incidencia %w	Carbono %w	Hidrógeno %w	Nitrógeno %w	Azufre %w	Oxígeno %w	Relación Atómica: H/C	Peso Molecular
Asfaltenos								
n-heptano	5.7	82	7.3	1	7.8	0.8	1.1	11300
Resinas	19.8	81.6	9.1	1	5.2	-	1.4	1270
Aromáticos	62.4	83.3	10.4	0.1	5.6	-	1.5	870
Saturados	9.6	85.6	13.2	0.05	0.3	-	1.8	835

Nota. Adaptado de “Ingeniería de Pavimentos” (p. 174), por J. Menéndez, 2016, *Instituto de la Construcción y Gerencia*.

2.3.1.2.1.1. Asfaltenos

Los asfaltenos son sólidos amorfos con una apariencia de coloración negro o marrón, solubles en n-heptano, a su vez contienen azufre, oxígeno carbón, nitrógeno e hidrógeno. Este grupo químico es considerado generalmente como componentes aromáticos complejos de una gran polaridad y con un alto peso molecular. La presencia de los asfaltenos tiene un gran impacto en las características reológicas de los asfaltos, por lo que, una presencia mayor de asfaltenos tendríamos un asfalto más rígido por ende una baja penetración, un mayor punto de reblandecimiento y como consecuencia un notorio aumento de la viscosidad. Este grupo químico se encuentra en un rango de 5 a 25 % del asfalto. Menéndez, J. (2016)

Los asfaltenos se caracterizan en proporcionar al asfalto el color y rigidez. Minaya, S. y Ordoñez, A. (2006).

Los asfaltenos no se diluyen en el heptano. Los asfaltenos, una vez separados de los maltenos son usualmente de color negro o pardo oscuro y se parecen al polvo grueso de grafito. Los asfaltenos le dan su color y dureza. Asphalt Institute (1992)

2.3.1.2.1.2. Maltenos

El grupo químico de los maltenos se subdivide en resinas, aromáticos y saturados:

Resinas: Son solubles en n-heptano. De la misma forma que los asfaltenos, las resinas contienen un gran porcentaje carbón e hidrógeno. Asimismo, comprende bajas porciones de nitrógeno, oxígeno y azufre. Las resinas tienen una coloración marrón oscuro y su consistencia es sólida o semisólida, son muy adhesivos con naturaleza polar. También, actúan como dispersivos o peptizantes para los asfaltenos. Menéndez, J. (2016)

Aromáticos: Están comprendidos por los componentes de nafteno-aromáticos, con un bajo peso molecular en el asfalto y constituyen los de mayor porcentaje de medio de dispersión de los asfaltenos peptizados. Los aromáticos tienen una coloración marrón oscuro y tienen un estado de líquido-viscoso, los aromáticos representan el 40 y 65 % del asfalto. Menéndez, J. (2016)

Saturados: Los saturados se encuentran compuestos por hidrocarburos alifáticos de cadenas modificadas y lineales abiertas. Presenta una coloración blanca o amarillo claro y tienen la forma de aceites viscosos no polares. Menéndez, J. (2016)

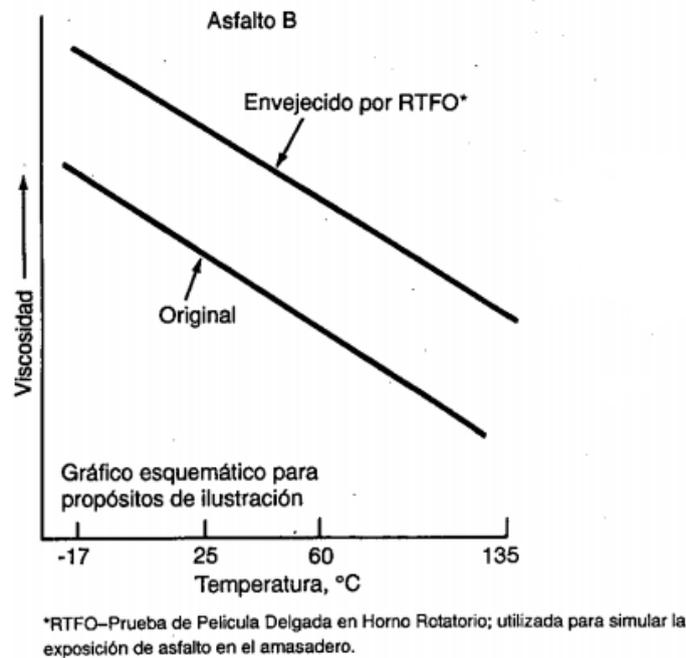
Los maltenos se caracterizan por ser líquidos viscos conformados por resinas y aceites.

Las resinas son interpretadas como líquidos pesados generalmente de color ámbar y pardo oscuro, mientras que los aceites tienen un color más claro. Las resinas proporcionan cualidades de adhesividad al asfalto, mientras que los aceites son los canales de transporte de asfaltenos y resinas. Minaya, S. y Ordoñez, A. (2006)

Los maltenos se diluyen en el heptano. Son líquidos viscosos formados por resinas y aceites. Las resinas de manera general son líquidos pesados de color ámbar o pardo oscuro, mientras que los aceites son de color más claro las resinas proporcionan las cualidades adhesivas en el asfalto, mientras que los aceites actúan como un medio de transporte para los asfaltos y las resinas. La proporción de asfaltenos y maltenos en el asfalto puede variar debido a un sinnúmero de factores, incluyendo altas temperaturas, exposición a la luz y al oxígeno, tipo de agregado usado en la mezcla de pavimento, y espesor de la película de asfalto en las partículas de agregado. Las reacciones y cambios que puedan ocurrir incluyen: evaporación de los compuestos más volátiles, oxidación (combinación de moléculas de hidrocarburo con moléculas de oxígeno), polimerización (combinación de dos o más moléculas para formar una sola molécula más pesada), y otros cambios químicos que puedan efectuar considerablemente las propiedades del asfalto. Las resinas se convierten gradualmente en asfaltenos, durante estas reacciones, y los aceites se convierten en resinas, ocasionando así un aumento en la viscosidad del asfalto. Este aumento de viscosidad con el envejecimiento es ilustrado en la Figura 5, en donde se indica el cambio de viscosidad después de una prueba normal de envejecimiento. Asphalt Institute (1992).

Figura 5

Endurecimiento de asfalto después de haber sido expuesto a altas temperaturas.



Nota. Adaptado de “Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente” (p. 20), por Asphalt Institute Serie de Manuales N° 22, 1992, *Asphalt Institute*.

El cemento asfáltico a utilizar en mezclas asfálticas y riegos de liga, ambos elaboradas en caliente, será clasificado por penetración y viscosidad absoluta. La aplicación del asfalto será de acuerdo a las condiciones climáticas de la zona. Especificaciones Técnicas Generales (2013).

2.3.1.2.2. Clasificación de los asfaltos por penetración

En nuestro País, se utiliza el ensayo de penetración para clasificar o catalogar los asfaltos. Este uso de ensayo de penetración para clasificar los asfaltos viene desde los finales del siglo XIX. Los ensayos de punto de ablandamiento y de penetración son de naturaleza empírica, es fundamental que estos ensayos sean realizados a las mismas condiciones que el modelo patrón con la finalidad que tengan validez los resultados. Ver Tabla 9, que contiene la

clasificación del asfalto por penetración. Menéndez, J. (2016).

Tabla 9

Clasificación del asfalto por penetración

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

(1), (2) Ensayos opcionales para su evaluación complementaria del comportamiento geológico en el material bituminoso indicado.

(3) Si la ductilidad es menor de 100 cm, el material se aceptará si la ductilidad a 15,5 °C es mínimo 100 cm a la velocidad de 5 cm/min.

Nota. Adaptado de “Sección 415 Disposiciones Generales” (p. 472), por Especificaciones técnicas generales para construcción, 2013, *Ministerio de Transportes y Comunicaciones*.

Asimismo, de acuerdo a las Especificaciones Técnicas EG-2013, indica que el cemento asfáltico debe ser seleccionado a los siguientes rangos de temperatura media anual, de acuerdo a la Tabla 10.

Tabla 10

Selección del cemento asfáltico en función de la temperatura media anual.

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

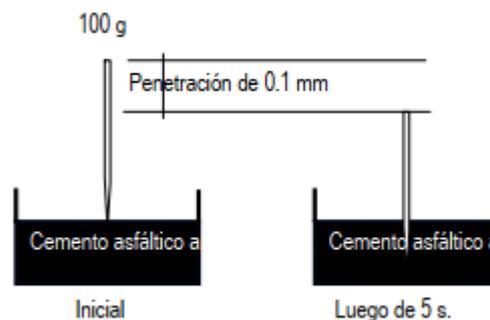
Nota. Adaptado de “Sección 415 Disposiciones Generales” (p. 471), por Especificaciones técnicas generales para construcción, 2013, *Ministerio de Transportes y Comunicaciones*.

En años pasados entre los 40 y 50 la clasificación de los asfaltos por penetración fue utilizado en Canadá y los EEUU. El ensayo de penetración desarrollado a los 25 °C, temperatura ambiente promedio en la cual el pavimento se encuentra en servicio, el ensayo muestra cuan rígido se encuentra el asfalto y que este dato únicamente se encuentra relacionado con el comportamiento del asfalto una vez emplazado o colocado. Minaya, S. y Ordoñez, A. (2006).

El ensayo de penetración consiste en introducir una aguja a una cierta carga durante un tiempo de 5 segundos sobre la superficie del asfalto a una temperatura de 25 °C, en la que se debe medir la profundidad de la penetración. Obviamente si el asfalto tiene un estado rígido o duro, el ensayo de penetración será menor, si el asfalto es blando el ensayo de penetración será mayor. Por lo que siempre se recomienda utilizar cementos asfálticos duros en zonas de calor (selva) y asfaltos blandos en zonas de friaje (sierra). En la Figura 6, se muestra la esquematización del ensayo de penetración. Minaya, S. y Ordoñez, A. (2006).

Figura 6

Esquematación del ensayo de penetración a 25 °C.



Nota. Adaptado de “Materiales Asfálticos” (p. 3), por S. Minaya y A. Ordoñez, 2006, *Diseño*

Moderno de Pavimentos.

Una problemática existente es de obtener tres tipos de cementos asfálticos de fuentes diferente para una misma clasificación por penetración a los 25 °C, adicionando las diferentes propiedades que tienen a distintas temperaturas. Minaya, S. y Ordoñez, A. (2006).

2.3.1.2.3. Clasificación de los asfaltos por viscosidad

En la década de los sesentas la AASHTO, ASTM, FHWA, industrias y una serie de organismo de carreteras perteneciente al país de EEUU empezaron a caracterizar los asfaltos por su viscosidad, mediante la norma ASTM D3381 “Especificación estándar para la clasificación de cementos asfálticos por viscosidad para su uso en la construcción de pavimentos”. ASTM, 2003. Esta especificación introduce cinco grados de viscosidad que van desde asfaltos blandos AC-2.5 hasta los duros AC-40. Ver Tabla 11 que contiene la clasificación del asfalto por viscosidad de acuerdo al ASTM D 3381. Menéndez, J. (2016).

Tabla 11

Clasificación del asfalto por viscosidad

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

(1) Porcentajes de solvente a usar, se determinara si el resultado del ensayo indica positivo.

Nota. Adaptado de “Sección 415 Disposiciones Generales” (p. 473), por Especificaciones técnicas generales para construcción, 2013, *Ministerio de Transportes y Comunicaciones*.

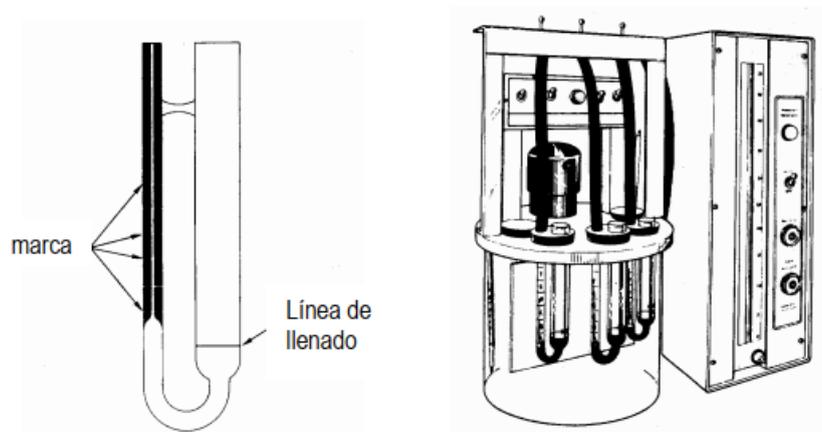
La viscosidad es una medida importante de los flujos que indica el comportamiento viscoso a mayores temperaturas. Este ensayo tiene las temperaturas de 60 °C y 135 °C. Si embargo, no es adecuado este ensayo para determinar el comportamiento mecánico de los fluidos no newtonianos, por ello es necesario de ensayos adicionales a parte de la viscosidad. Minaya, S. y Ordoñez, A. (2006).

De acuerdo a las especificaciones técnicas referencian a la viscosidad del asfalto en dos temperaturas a 60 °C (viscosidad absoluta), que clasifica al asfalto y simboliza la temperatura máxima del asfalto en servicio. Y a la temperatura de 135 °C (viscosidad cinemática), temperatura que representa la viscosidad durante la fabricación y colocación. Minaya, S. y Ordoñez, A. (2006).

Lo que mide la viscosidad absoluta es el tiempo que demora en el desplazamiento del asfalto en un tubo capilar a una temperatura de 60 °C, debido a que el asfalto se encuentra en un estado rígido debido a la temperatura de ensayo, la muestra requiere que se someta al vacío, con el fin de que fluya en un tiempo moderado. En la Figura 7, se muestra el ensayo de viscosidad absoluta. Minaya, S. y Ordoñez, A. (2006).

Figura 7

Viscosidad Absoluta

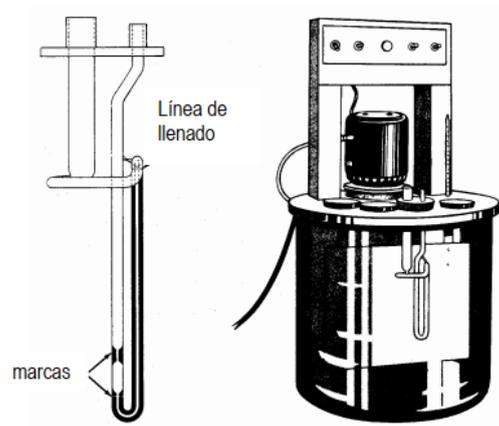


Nota. Adaptado de “Materiales Asfálticos” (p. 4), por S. Minaya y A. Ordoñez, 2006, *Diseño Moderno de Pavimentos*.

El ensayo de viscosidad cinemática, mide el tiempo en que demora en fluir el asfalto por capilaridad mediante un viscosímetro a la temperatura de 135 °C, solo requerirá de la gravedad para que el asfalto pueda fluir. En la Figura 8, se muestra el ensayo de viscosidad cinemática. Minaya, S. y Ordoñez, A. (2006).

Figura 8

Viscosidad cinemática



Nota. Adaptado de “Materiales Asfálticos” (p.5), por S. Minaya y A. Ordoñez, 2006, *Diseño Moderno de pavimentos*.

2.3.1.3. Composición de las mezclas asfálticas

Las mezclas asfálticas son una composición de filler, agregados minerales, asfalto y si fuese necesario aditivos o modificadores. Los agregados minerales son logrados por trituración y luego son almacenados por sus dimensiones. Los agregados retenidos en la malla N° 4 son denominados agregados gruesos, mientras que los pasantes de la malla N° 4 son llamados agregados finos. Los finos suelen ser producto de las arenas obtenidas del zarandeo combinados con las arenas resultantes por la trituración del agregado. En aquellos casos que la pasante de

la malla N° 200 no es suficiente, se adicionará cal hidratada o cemento con el fin de completar el porcentaje faltante. Menéndez, J. (2016).

Las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica son debido a la cohesión y fricción de sus componentes, donde la fricción es dada por unión de los agregados y también dependerá del tamaño máximo del agregado grueso. La cohesión es dada por las propiedades del ligante asfáltico y de los agregados finos. Para obtener un concreto asfáltico adecuadamente compactado dependerá de las propiedades reológicas del asfalto. Menéndez, J. (2016).

De acuerdo a la Tabla 12, existe una variedad de mezclas asfálticas con diferentes dosificaciones de agregados, asfalto y filler, reflejados tanto en porcentaje de peso y volumen del total de la mezcla. Menéndez, J. (2016)

Tabla 12
Composición de las mezclas asfálticas (Hunter, 1994)

Componente	Unidad	Agregado recubiertos	Gradación continua	Gradación discontinua	Mastic
Agregado grueso	% peso	86.60	52.00	30.00	30.00
Agregado fino	% peso	7.00	38.00	53.00	26.00
Filler (relleno)	% peso	3.00	5.00	9.00	32.00
Asfalto	% peso	4.00	5.00	8.00	12.00
Agregado grueso	% volumen	64.50	44.10	25.70	25.70
Agregado fino	% volumen	5.10	32.20	46.00	18.90
Filler (relleno)	% volumen	2.10	4.20	7.80	27.00
Asfalto	% volumen	8.30	11.50	17.50	26.60
Contenido de vacíos	% volumen	20.00	8.00	3.00	< 1.00

Nota. Adaptado de “Ingeniería de Pavimentos” (p. 176), por J. Menéndez, 2016, *Instituto de la Construcción y Gerencia*.

2.3.1.4. Tecnologías de mezclas tibias

Existen tres tecnologías generales de elaboración de mezclas tibias o tipo WMA (warm mix asphalt), modificando el asfalto con aditivos orgánicos, con aditivos químicos y espumar el asfalto. Estos aditivos suelen mezclarse con el asfalto antes de entrar al tambor mezclador en la planta de asfalto (vía húmeda). Rondón, Q. et al. (2017).

El objetivo de estas tecnologías es reducir las temperaturas de trabajo, principalmente de compactación. Por lo que, existen distintas técnicas que buscan bajar la viscosidad del ligante asfáltico y que puedan aplicarse en mezclas continuas como discontinuas. Dichas técnicas se dividen en cuatro categorías como: Reducción de la viscosidad utilizando aditivos orgánicos, asfaltos espumados, tecnologías con bases acuosas y uso de aditivos químicos. Ulloa, A. (2011).

2.3.1.4.1. Tecnologías que usan agua

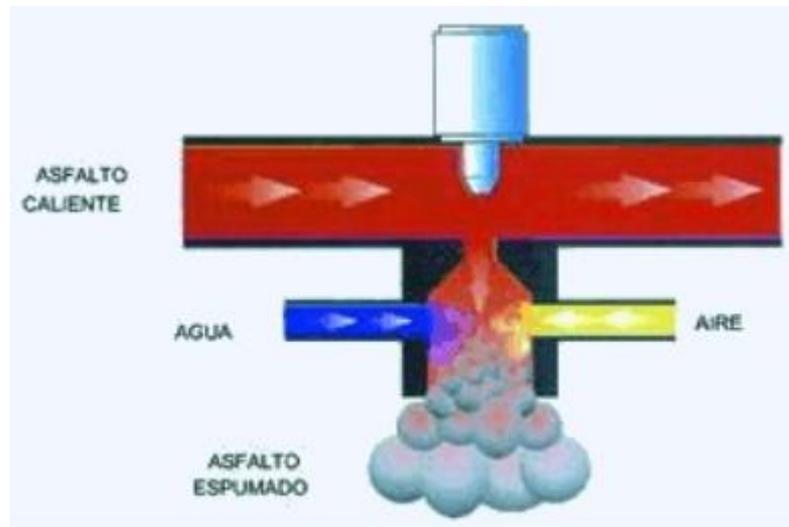
a) Asfaltos espumados

Esta tecnología reduce la viscosidad del asfalto a altas temperaturas debido a la presencia de una diminuta cantidad de agua en forma de vapor en el asfalto para que la misma produzca una espuma controlada disminuyendo así la viscosidad del mismo. Dentro de esta tecnología se cuenta principalmente con dos procedimientos; una es mediante la inyección de agua a presión por medio de unos inyectores produciendo una espuma uniforme en todo el asfalto, esta tecnología recibe el nombre de “Double Barrel Green” y la otra técnica es mediante la adición de Zeolitas sintéticas; las zeolitas son aluminios silicatos cuya molécula tiene un contenido de agua aproximadamente del 20%, al adicional la Zeolita en el asfalto, ocurre la acción de la evaporización del agua formándose una espuma uniforme en el asfalto reduciendo la viscosidad del mismo. Gutiérrez, A. (2013).

Esta tecnología radica en adicionar pequeñas cantidades de agua y aire comprimido al ligante asfáltico caliente dentro de una cámara de expansión, ver Figura 9, formando de manera controlada un efecto espumado que permite aumentar el volumen del asfalto y reducir en apariencia su viscosidad. Ulloa A. (2011).

Figura 9

Esquema de la cámara de expansión del asfalto espumado

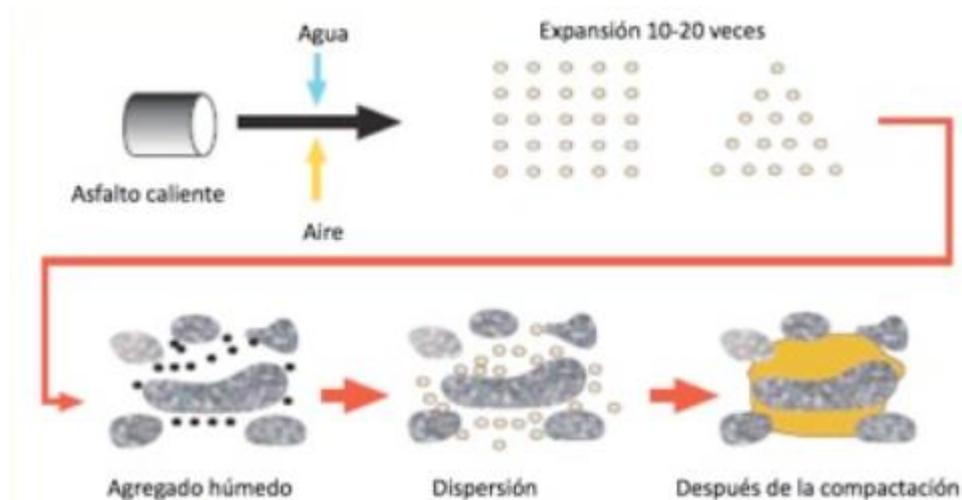


Nota. Adaptado de “Mezclas asfálticas tibias (MAT)” (p. 3), por A. Ulloa, 2011, *Programa de Infraestructura del Transporte*.

Al elaborar la producción de mezclas con asfalto espumado, el agregado debe ser incorporado mientras el asfalto se encuentre en estado de espuma. Al desintegrarse la burbuja en presencia del agregado, las gotitas de asfaltos se aglutinan con las partículas más finas (especialmente con aquellas fracciones menores a 0.075 mm) produciendo una mezcla con agregado fino, este proceso se denomina dispersión del asfalto, ver Figura 10, esto resulta en una pasta de filler y asfalto que actúa como un mortero entre las partículas gruesas. Ulloa, A. (2011).

Figura 10

Procedimiento de mezclado del asfalto espumado con los áridos.



Nota. Adaptado de “Mezclas asfálticas tibias (MAT)” (p. 3), por A. Ulloa, 2011, *Programa de Infraestructura del Transporte*.

b) Tecnología de bases acuosas

Esta tecnología se basa en la reducción de la viscosidad del asfalto por efecto de la adición de arena húmeda a una mezcla asfáltica de agregado grueso que contiene exceso de asfalto a temperaturas entre 120 °C y 150 °C, cuando la arena húmeda entra en contacto con la mezcla asfáltica de agregado grueso, lo que sucede es la evaporización del agua formándose espuma y la reducción de la viscosidad del asfalto permitiendo la compactación de la mezcla. Gutiérrez, A. (2013).

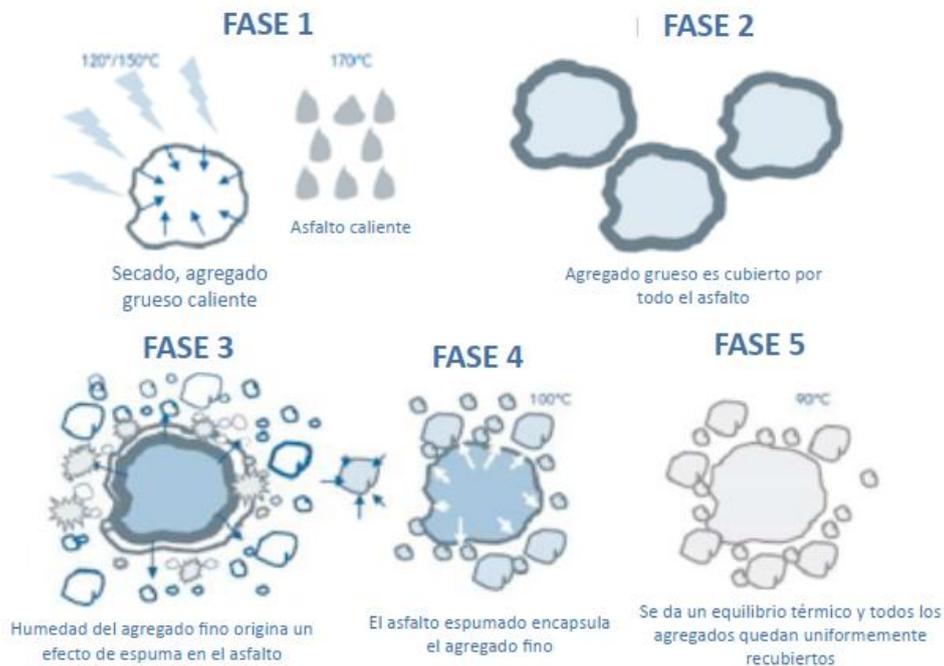
Este tipo de tecnología permiten producir mezclas tibias de 2 formas, en la primera el asfalto espumado se inyecta en el tambor mezclador y en la segunda se adiciona agregado húmedo a la mezcla caliente. Utilizando el primer método de producción, el asfalto en su estado espumado incrementa de 8 a 12 veces su volumen, lo que proporciona un recubrimiento

adecuado de los agregados durante el mezclado. Este proceso implica algunas modificaciones de la planta con sistemas de doble tambor, donde uno de los tambores es giratorio y el otro se mantiene estático, y el asfalto espumado preparado en una cámara de expansión e inyectado a la mezcla mediante líneas de inyección hacia el interior del tambor. Además, con este tipo de tecnologías es posible dosificar material reciclado en la mezcla dado que las temperaturas de mezclado son menores. Ulloa, A. (2011).

En el caso que se adicionen agregados húmedos, el proceso de producción consiste en calentar el agregado grueso a 150 °C y mezclarlo con el asfalto a las temperaturas, normales de mezclado en una MAC (mezclas asfálticas en caliente), sin embargo, justo antes de que el asfalto entre en el tambor mezclador se adiciona un 0.5% de aditivo por peso total del ligante. Este aditivo funciona como un regulador de la expansión del efecto espumante en el asfalto y a su vez sirve como agente anti-desnudante. Una vez el agregado grueso es recubierto por el asfalto, se mezcla con el agregado fino húmedo (idealmente a 3% de humedad). El vapor de agua producido causa un efecto de espuma en el asfalto que cubre el agregado grueso y luego este asfalto espumado aglutina el agregado fino (o reciclado), lo cual baja su viscosidad y por tanto las temperaturas de compactación, ver figura 11. Ulloa, A. (2011)

Figura 11

Tecnología de base acuosa. Proceso de mezclado.



Nota. Adaptado de “Mezclas asfálticas tibias (MAT)” (p. 4), por A. Ulloa, 2011, *Programa de Infraestructura del Transporte*.

2.3.1.4.2. Tecnologías que usan aditivos orgánicos

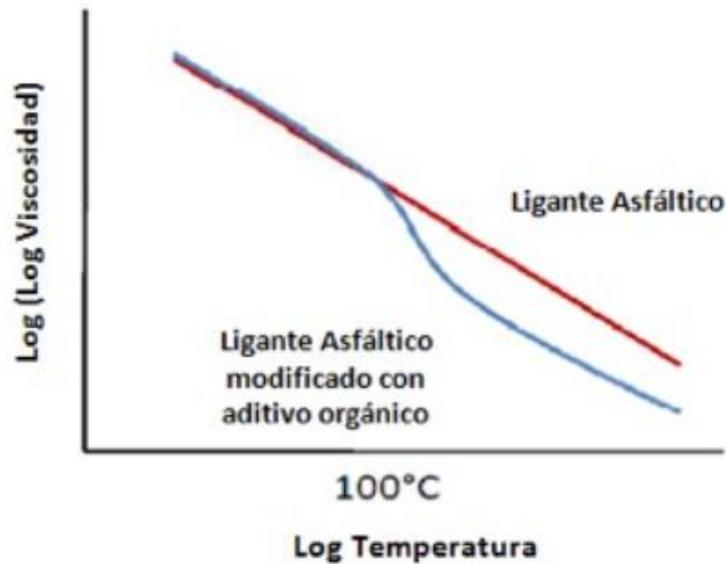
Esta tecnología se basa en la reducción de la viscosidad del asfalto a temperaturas entre 100 °C y 160 °C debido que se adiciona un polímero orgánico (Hidrocarburo Alifático). Esta técnica es la más realizada en el mundo, simplemente en Estados Unidos se han colocado más de 250 000 toneladas de mezcla asfáltica tibia y en el mundo se han aplicado más de diez millones de toneladas. La ventaja de utilizar estos tipos de polímeros orgánicos es que aumenta la viscosidad del asfalto a bajas temperaturas ocasionando problemas de fisuración por fatiga si son utilizados en grandes cantidades del mismo. Gutiérrez A. (2013).

Esta tecnología consiste en reducir la viscosidad del ligante utilizando ceras como aditivo orgánico, tal como se observa en la Figura 12. Estas ceras pueden adicionarse de dos maneras al tambor mezclador de forma sólida, ver Figura 13 o bien pueden premezclarse con

el asfalto antes de entrar al tambor; esta última es la manera más apropiada para obtener una distribución más homogénea sin alargar el tiempo de mezclado. Ulloa, A. (2011)

Figura 12

Comportamiento de la viscosidad-temperatura del ligante asfáltico modificado con aditivo orgánico.



Nota. Adaptado de “Mezclas asfálticas tibias (MAT)” (p. 2), por A. Ulloa, 2011, *Programa de Infraestructura del Transporte*.

Figura 13

Ceras como aditivo orgánico.



Nota. Adaptado de “Mezclas asfálticas tibias (MAT)” (p. 2), por A. Ulloa, 2011, *Programa de Infraestructura del Transporte*.

2.3.1.4.3. Tecnologías que usan aditivos químicos

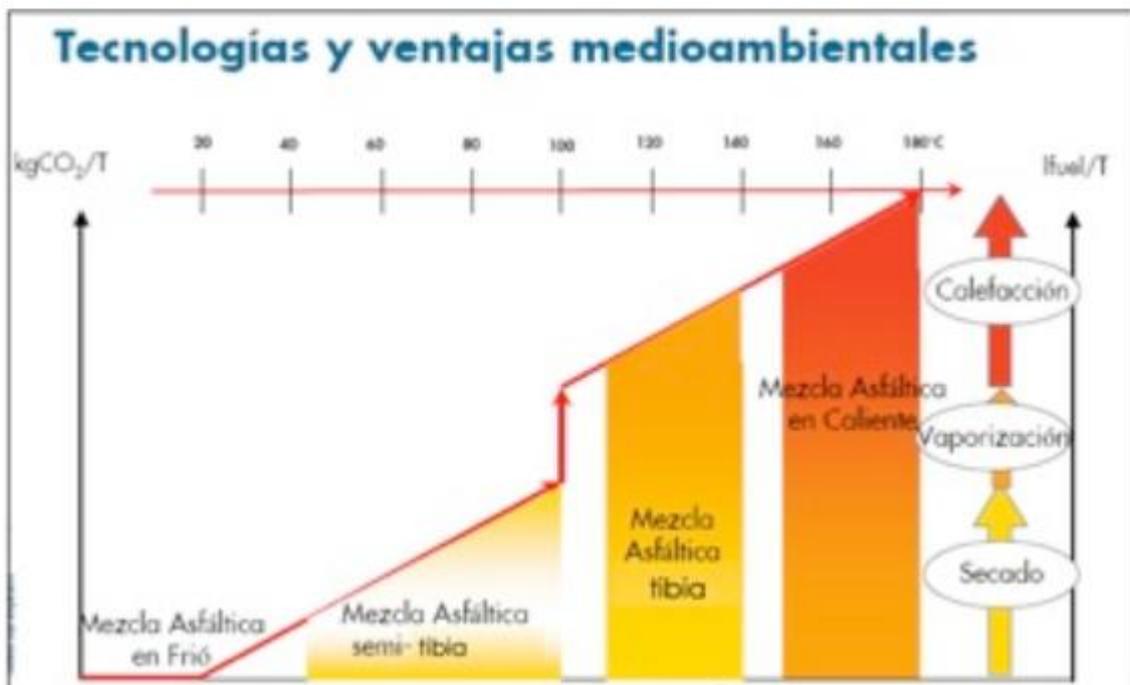
Esta tecnología consiste en la reducción de la tensión interfacial que se genera entre el asfalto y el agregado, logrando reducir temperaturas de mezclado y compactación de las mezclas asfálticas. Gutiérrez A. (2013).

La tecnología que no modifica necesariamente la viscosidad es el aditivo tensoactivo que actúa como hiperplastificante sin alterar las propiedades reológicas y físicas del cemento asfáltico. El tensoactivo o también denominado surfactante cuando reduce la tensión superficial del ligante también reduce la fuerza que se opone al mojado de los agregados. Además, de actuar como un agente lubricante entre los agregados y el ligante, mejora las propiedades a la adherencia y cohesión. Marcozzi, R. y Morea, F. (2011).

En la Figura 14, se muestra un esquema con los distintos grupos de mezclas que se encuentran clasificados en función a un rango de temperatura de fabricación, de las cuales, si nos centramos en las mezclas asfálticas tibias y semi-tibia, distinguimos varias tecnologías que se encuentran basadas en fundamentos físicos para la reducción de temperatura. Aditivos que modifican la viscosidad del ligante asfáltico, ceras. Luego tenemos los aditivos basados en la formulación de tensoactivos, reducen la tensión superficial entre el árido-betún ayudando al recubrimiento de los agregados, reduciendo el ángulo de contacto entre el árido y el ligante asfáltico. Esta clase de aditivos también pueden actuar como lubricantes, aumentando la trabajabilidad de la mezcla asfáltica, en la Figura 15, se puede observar el ángulo de contacto entre árido-betún. Gil, S. et al. (2010).

Figura 14

Esquema de diferentes mezclas asfálticas



Nota. Adaptado de "Mezclas asfálticas tibias (MAT)" (p. 1), por A. Ulloa, 2011, *Programa de Infraestructura del Transporte*.

Figura 15

Ángulo entre el árido y ligante asfáltico



Nota. Adaptado de "Estudio del ángulo de contacto de betunes aditivados y su efecto sobre distintas propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas", (p. 256), por S. Gil, et al, 2010, *ASEFMA-V Jornada Nacional*.

Los aditivos que no modifican la viscosidad son en general los tensoactivos que actúan como hiperplastificante en la mezcla sin alterar significativamente las propiedades físico-reológicas del ligante. Este tensoactivo disminuye la tensión superficial del asfalto, indicador de la tendencia a la forma esférica de las gotas. Asimismo, al disminuir la tensión superficial, disminuye la fuerza que se opone al mojado. También actúa como lubricante entre el árido y el asfalto y mejora las propiedades de cohesión y adherencia. Marcozzi, R. et al (2010).

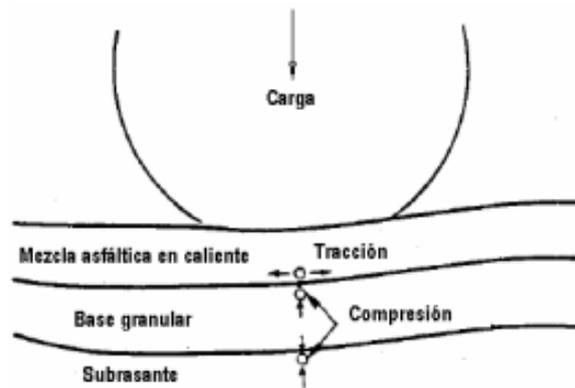
Se tienen los aditivos llamados modificadores de asfaltos “químicos”, se basan en la formulación de tensoactivos amínicos que facilitan la reducción de la tensión superficial entre el asfalto y los áridos ayudando al buen recubrimiento de los áridos, disminuyendo el ángulo de contacto entre ambos. Estos aditivos también pueden funcionar como lubricantes favoreciendo la trabajabilidad de la mezcla y mejorando significativamente la adhesión entre los agregados y el asfalto. Agnusdei, J. (2010)

2.3.2. Comportamiento mecánico

El pavimento se encuentra sujeto a cargas repetitivas del flujo vehículos que transitan sobre éste. El pavimento conformado por una carpeta asfáltica, base, subbase y el terreno de fundación, forman un paquete estructural el cual se encuentra sometido a esfuerzos de tracción y compresión. Ver Figura 16, se muestran los esfuerzos sobre el pavimento debido a las cargas cíclicas. Minaya, S. y Ordoñez, A. (2006).

Figura 16

Esfuerzos presentes en el pavimento debido a una carga

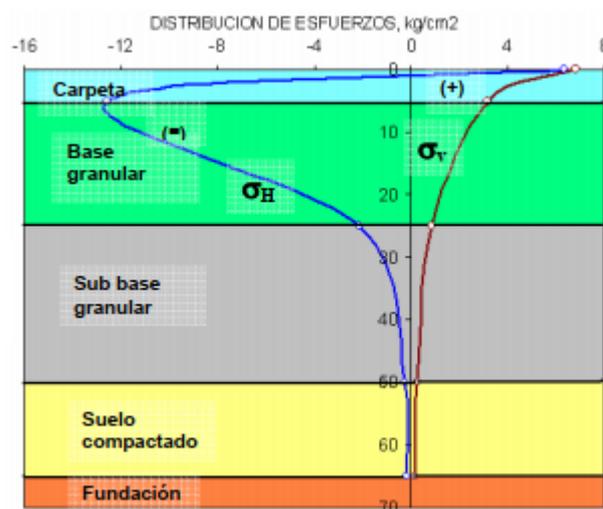


Nota. Adaptado de “Comportamiento de Mezclas Asfálticas” (p. 2), por S. Minaya y A. Ordoñez, 2006, *Diseño Moderno de Pavimentos*.

En el pavimento los esfuerzos horizontales se van perdiendo a través de la carpeta asfáltica originando tracción en la zona inferior de la carpeta asfáltica, mientras que, los esfuerzos verticales se disipan por cada capa que conforma el pavimento hasta llegar al terreno de fundación. Ver Figura 17, Distribución de esfuerzos en el pavimento. Minaya, S. y Ordoñez, A. (2006).

Figura 17

Distribución de esfuerzos en el pavimento



Nota. Adaptado de “Comportamiento de Mezclas Asfálticas” (p. 4), por S. Minaya y A.

Ordoñez, 2006, Diseño Moderno de Pavimentos.

El concepto planteado de mezclas tibias tiene un aspecto básico importante que es de mantener un comportamiento mecánico al menos similar que una mezcla asfáltica en caliente convencional fabricada con un ligante asfáltico del mismo grado de consistencia. Por ello se pretende contar con las ventajas de utilizar mezclas asfálticas tibias en la elaboración, colocación y compactación de tal forma que su respuesta mecánica no sea disminuida, es decir que tanto la mezcla asfáltica tibia como la mezcla asfáltica en caliente, elaboradas a partir del mismo ligante asfáltico, deberán de presentar una respuesta mecánica similar respetando el rango de parámetros exigidos por las especificaciones técnicas. Bisio, A. (2008).

De acuerdo al método Marshall se realizan tres procedimientos de pruebas para determinar sus propiedades volumétricas y mecánicas: Determinación de la gravedad específica, análisis de densidad y vacíos y la prueba de estabilidad y flujo. Garnica, P. et al (2004).

La medición de la influencia del medio ambiente en el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas es a través de los parámetros como la estabilidad, flujo, resistencia al ahuellamiento, fatiga y módulo dinámico. La relación estabilidad - flujo, dicha por algunos investigadores como “rigidez Marshall”, puede ser entendida como una resistencia mecánica determinada en el estado de falla de las mezclas asfálticas, bajo una carga monotónica. Rondón, A. et al (2008).

2.3.2.1. Características y comportamiento de las mezclas asfálticas

a) Estabilidad

Es la capacidad que tiene una mezcla asfáltica en resistir las deformaciones y desplazamientos debido a las cargas cíclicas del tráfico. El pavimento se encuentra estable cuando mantiene su forma y es inestable cuando presenta ondulaciones, ahuellamientos u otra falla que indique alteración en la mezcla asfáltica. Garnica, P. et al (2005).

La estabilidad de una mezcla asfáltica depende de su cohesión y fracción interna, la fricción interna se da entre la angularidad y textura superficial de los agregados mientras que la cohesión interna se da por medio de las propiedades del ligante asfáltico. Garnica, P. et al (2005).

b) Durabilidad

La durabilidad es una propiedad del asfalto que tiene la capacidad de resistir los efectos externos como son las cargas del tráfico, temperatura del ambiente, lluvia, aire que pueden afectar la estructura de la mezcla como el lavado de finos, desintegración de los agregados, desprendimiento del ligante y envejecimiento del asfalto, este último no debe ser excesivo en la puesta de servicio. La durabilidad se encuentra en función con los vacíos de aire y el espesor de la película del ligante asfáltico. Garnica, P. et al (2005).

c) Trabajabilidad

Es la propiedad de la mezcla asfáltica que facilite la fabricación colocación y compactación de la misma, sin que se necesite un gran esfuerzo. Esta propiedad generalmente se encuentra en función de las características de los agregados, el contenido de asfalto, granulometría y viscosidad del asfalto. Garnica, P. et al (2005).

d) Flexibilidad

La flexibilidad es la capacidad de una mezcla asfáltica en adaptarse, sin sufrir agrietamientos u otros, a las deformaciones o asentamiento de la base, subbase o terreno de fundación. Garnica, P. et al (2005).

e) Resistencia a la fatiga

Es la capacidad de la mezcla asfáltica en soportar las cargas repetitivas causada por el tráfico. Cuando se produce el agrietamiento debido a la fatiga, esto se relaciona con la rigidez y contenido del asfalto. Por lo que, a contenidos altos de asfalto, tiene a que el concreto asfáltica tienda a deformarse en su estado elástico que a fracturar o agrietarse por las cargas del tráfico. Garnica, P. et al (2005).

f) Resistencia al deslizamiento

Es la capacidad de la mezcla asfáltica de no perder adherencia entre el neumático y la superficie de rodadura, especialmente cuando esta se encuentre húmeda. Generalmente la resistencia al deslizamiento se relaciona con el contenido de asfalto y las características del agregado. Garnica, P. et al (2005).

g) Resistencia al fracturamiento por baja temperatura

Es la capacidad del concreto asfáltico de no agrietarse en condiciones de bajas temperaturas. Esta resistencia al fracturamiento se relaciona con la rigidez del asfalto a bajas temperaturas. Garnica, P. et al (2005).

h) Resistencia al daño por humedad o impermeabilidad

Es la resistencia al paso del aire y al agua. Se encuentra en función de los tamaños de vacíos presentes en la mezcla sin importar que se encuentren conectados entre sí. Aun cuando la impermeabilidad es importante para la durabilidad del concreto asfáltico, estos son utilizados en la construcción y producidos con cierto grado de vacíos que lo hacen permeables dentro de los requerimientos exigidos por las especificaciones técnicas. Asphalt Institute (1992).

2.3.2.2. Temperaturas de mezclas asfálticas

En climas cálidos de altas temperaturas (en el oriente del Perú, épocas de verano) o sometido a cargas de tráfico lentas, el cemento asfáltico se comporta como un líquido viscoso, dejando que el agregado soporte las cargas cíclicas. Con esta condición la estructura granular de la mezcla asfáltica cumple un papel muy importante. El asfalto solo es aglutinante. Minaya, S. y Ordoñez, A. (2006).

En bajas temperaturas, climas fríos, o bajo aplicaciones de carga rápida, el cemento asfáltico se comporta como un sólido elástico. Los sólidos elásticos son como ligas porque cuando cesa la carga que los deforma, regresan a su posición original. Si el material se esfuerza más allá de su capacidad, el sólido elástico puede romperse. El agrietamiento por bajas temperaturas algunas veces ocurre en los pavimentos cuando están sometidos a climas fríos (Conococha, Ticlio). En estos casos, las cargas aplicadas producen esfuerzos internos que se acumulan en el pavimento asfáltico que tenderá a contraerse mientras su movimiento es restringido por las capas inferiores. Minaya, S. y Ordoñez, A. (2006).

En climas de temperaturas intermedias el asfalto se comporta como un líquido viscoso y sólido elástico. A estas temperaturas, el asfalto es un excelente material adhesivo usado en pavimentación. Cuando se calienta el asfalto actúa como un lubricante, permitiendo mezclarse con el agregado, cubrirlo y compactarse formando una superficie lisa y densa. Tan pronto como se enfría, el asfalto actúa manteniendo juntos los agregados en la matriz sólida. En esta etapa el comportamiento del asfalto es viscoelástico, es decir, tiene características elásticas y viscosas, dependiendo de la temperatura y velocidad de aplicación de carga. Minaya, S. y Ordoñez, A. (2006).

En general las mezclas asfálticas pueden clasificarse por su rango de temperaturas de producción (mezclado), desde mezclas asfálticas en frío hasta las mezclas asfálticas calientes, tal como se esquematiza en la Figura 14. Mezclas asfálticas en frío (MAF): usualmente se mezclan a temperatura ambiente utilizando emulsiones o asfaltos espumados. Mezclas asfálticas semi-tibias (MAST): producidas a temperaturas debajo de la temperatura de vaporización del agua (100 °C). Mezclas asfálticas tibias (MAT): producidas típicamente a temperaturas en un rango entre 120 °C a 140 °C y Mezclas asfálticas en Caliente (MAC): son producidas convencionalmente en un rango de 150 °C a 180 °C, de acuerdo al ligante asfáltico utilizado. Ulloa, A. (2011).

Warm Mix Asphalt se caracteriza de otras mezclas asfálticas por lo régimen de temperaturas en las que se fabrican junto con la resistencia y la durabilidad del producto final. Mezclas asfálticas en frío generalmente se fabrican a temperatura ambiente en el intervalo de 68 °F a 120 °F (aproximadamente 20 °C a 50 °C), mientras que la mezcla en caliente convencional se produce en el rango de 285 °F a 340 °F (aproximadamente 140 °C a 170 °C). Las mezclas tibias se producen generalmente en el intervalo de temperatura de 200 °F a 275 °F

(aproximadamente 95 °C a 135 °C). Button, J. (2007).

Las mezclas asfálticas tibias o warm mix asphalt, conforman un grupo de tecnologías las cuales pretenden reducir las temperaturas las cuales son fabricadas, colocadas y compactadas sin afectar las propiedades reológicas del asfalto y la mezcla en la etapa de operación, esta reducción de temperatura de fabricación y compactación puede variar desde los 10 °C hasta los 50 °C dependiendo de la técnica o procedimiento empleada. Gutiérrez, A. (2013).

2.3.2.3. Método Marshall

El ensayo Marshall (ASTM D1559) desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros en los años 40 y basados en conceptos formulados por Bruce Marshall del Departamento de Transportes del Estado de Mississippi. Consiste en aplicar carga vertical a un espécimen cilíndrico en posición horizontal. La temperatura de ensayo es de 60 °C seleccionadas por considerarse que es la temperatura promedio del pavimento en el verano. El valor de la estabilidad Marshall es la máxima carga que produce la falla en la briqueta ensayada, ver Figura 18. Minaya, S. y Ordoñez, A. (2006).

Figura 18

Proceso de preparación de briquetas Marshall y ensayo a la compresión diametral.



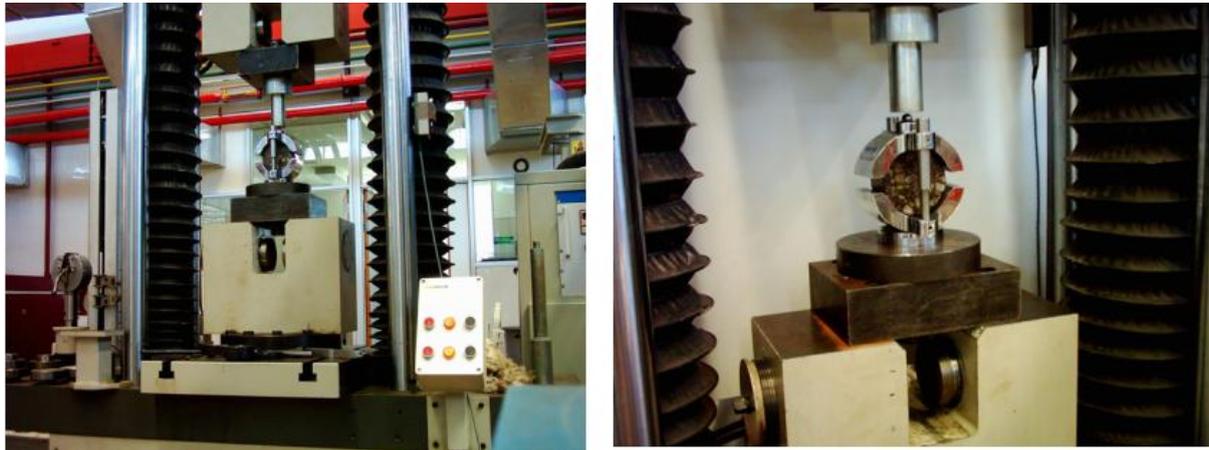
Nota. Adaptado de “Comportamiento de Mezclas Asfálticas” (p. 8), por S. Minaya y A. Ordoñez, 2006, *Diseño Moderno de Pavimentos*.

El propósito del Método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una granulometría específica de agregados. El método establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la ejecución del pavimento. Los dos datos más importantes del diseño de mezclas del método Marshall son: un análisis de vacíos - densidad y una prueba de estabilidad -fluencia de las muestras compactadas. Obtenidas las curvas: Peso unitario - Contenido de asfalto, Vacíos - Contenido de asfalto, Estabilidad - Contenido de asfalto, Fluencia - Contenido de asfalto, VMA - Contenido de asfalto, es posible seleccionar para cada una de las curvas el valor de porcentaje de asfalto más adecuado. El valor óptimo del porcentaje de asfalto para esa mezcla se calcula como el promedio de los valores seleccionados. De esta forma el método correlaciona los parámetros densidad, estabilidad y fluencia, determinados en laboratorio, cuando se está proyectando la mezcla o controlando la producción. Es importante comprender que el Método Marshall, como procedimiento empírico, requiere que se cumplan algunas condiciones constructivas y de procedimiento para que el mismo produzca una carpeta asfáltica de calidad aceptable. Equipo Marshall, ver Figura 19.

Grgich, J. y Quagliata, E. (2008).

Figura 19

Equipo Marshall



Nota. Adaptado de “Análisis estadístico de resultados de ensayos de pavimentos asfálticos según la norma ASTM D6927-06” (p. 2), por Grgich, J. y Quagliata, E., 2008, *Comisión Permanente del Asfalto XXXV Reunión del Asfalto*.

Según Lopera, C. y Córdoba, J. (2013), por medio de su investigación describen el ensayo Marshall como en el cual se determinó el contenido óptimo del betún para una mezcla de agregados de composición y granulometría determinada. Para ello se prepararon 05 juegos de 03 briquetas con 75 golpes por cada cara con incrementos del medio por ciento 0.5 % en el contenido de asfalto en peso sobre la mezcla total. Los contenidos de asfalto variaron desde 4.0 hasta 6.5 %, los agregados en fracciones representativas fueron calentados a una temperatura de 165 °C, el asfalto se calentó a 155 °C y se más claro hasta obtener un conjunto homogéneo.

Las probetas se compactaron a una temperatura de 140 °C con 75 golpes por cada cara con la energía de compactación correspondiente a un martillo de 10 lb de peso y 18” de caída una vez frías las briquetas se determinaron la densidad seca y la densidad húmeda superficie

seca, como específica la norma. Además, se realizaron los ensayos de estabilidad y deformación previa inmersión en un baño de agua a 60 °C y durante un tiempo de 30 minutos.

Lopera, C y Córdoba, J. (2013).

2.3.2.3.1. Gravedad específica bulk de la mezcla compactada (Gmb)

Este ensayo determina la razón entre el peso al aire de una briqueta con el peso de la misma briqueta en agua (se debe dejar reposar 5 minutos para obtener la medida en agua). Para este ensayo y de mezclas asfálticas densas se realizó en función al AASHTO T-166 o ASTM D 1188). Menéndez, J. (2016).

$$G_{mb} = \frac{A}{B - C}$$

Donde:

G_{mb}= Gravedad específica bulk de la mezcla compactada.

A= Peso seco de una briqueta al aire en gramos.

B= Peso al aire de una briqueta con superficie seca saturada en gramos.

C= Peso en agua de una briqueta en gramos.

2.3.2.3.2. Peso específico bulk de los agregados combinados (Gsb)

Cuando el material total consiste en fracciones separadas de agregado fino, grueso y llenante, ya que cada componente tendrá gravedades específicas diferentes. Menéndez, J. (2016).

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

Donde:

G_{sb} = Peso específico bul de los agregados combinados.

P_1, P_2, \dots, P_n = Porcentajes individuales por peso de los áridos.

G_1, G_2, \dots, G_n = Pesos específicos individuales.

2.3.2.3.3. Gravedad específica efectiva del agregado (G_{se})

Este ensayo incluye todos los vacíos en las partículas de los agregados en excepción los que absorben asfalto. Este ensayo se encuentra en función de la gravedad específica teórica máxima. Menéndez, J. (2016).

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

Donde:

G_{se} = Gravedad específica efectiva del agregado.

G_{mm} = Máxima gravedad específica de la mezcla.

P_{mm} = Porcentaje en peso del total de la mezcla suelta, 100%.

P_b = Porcentaje del asfalto respecto al peso total de la muestra.

G_b = Gravedad específica del asfalto.

2.3.2.3.4. Densidad máxima teórica o gravedad específica máxima de la mezcla (G_{mm}) / gravedad específica rice

El ensayo evalúa la razón del peso de una unidad de volumen de una muestra no compactada con el peso de un volumen sumergida en agua a la misma temperatura. Este ensayo se realizó de acuerdo al ASTM D-2041 o AASHTO T209. Menéndez, J. (2016).

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

Donde:

Gmm= Gravedad específica máxima.

Pmm= Porcentaje en peso del total de la mezcla suelta, 100%.

Ps= Porcentaje del agregado combinado de la masa total de mezcla.

Pb= Porcentaje del asfalto respecto al peso total de la muestra.

Gse= Peso específico efectivo del agregado combinado

Gb= Gravedad específica del asfalto.

2.3.2.3.5. Contenido de asfalto

El contenido de asfalto puede ser calculado de dos formas, por peso o por volumen. El contenido de asfalto por volumen es calculado como un porcentaje de la masa total de la mezcla. Menéndez, J. (2016).

$$Pb = 100 \times \left(\frac{Mb}{Ms + Mb} \right)$$

Donde:

Pb= Contenido total del asfalto expresado como porcentaje del total de la masa.

Mb= Masa de asfalto de la muestra.

Ms= Masa del agregado en la muestra.

2.3.2.3.6. Asfalto absorbido (Pba)

El asfalto absorbido se expresa como un porcentaje de la masa del agregado y es la masa de asfalto absorbido por el agregado. Menéndez, J. (2016).

$$Pba = 100 \times \left(\frac{Gse - Gsb}{Gsb \times Gse} \right) \times Gb$$

Donde:

Pba= Porcentaje de asfalto absorbido.

Gse= Gravedad específica efectiva del agregado combinado.

Gb= Gravedad específica del asfalto.

Gsb= Peso específico de los agregados combinados.

2.3.2.3.7. Asfalto efectivo (Pbe)

El asfalto efectivo es la masa que no ha sido absorbido por los agregados, expresada en porcentaje de la masa total de la mezcla. Menéndez, J. (2016).

$$Pbe = Pb - \frac{Pba}{100} \times Ps$$

Donde:

Pbe= Contenido del asfalto efectivo, en porcentaje.

Pba= Contenido de asfalto absorbido por los agregados combinados

Pb= Porcentaje del asfalto respecto al peso total de la muestra.

Ps= Porcentaje del agregado combinado de la masa total de la mezcla.

2.3.2.3.8. Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA)

Es el volumen total de vacíos presentes en el agregado dentro una mezcla compactada que es conformada por el contenido de asfalto efectivo y los vacíos, expresado como porcentaje del total de la muestra. Menéndez, J. (2016).

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

Donde

VMA= Porcentaje de vacíos en el agregado mineral.

Gsb= Peso específico de los agregados combinados.

Gmb= Gravedad específica de la mezcla compactada

Pb= Porcentaje del asfalto respecto al peso total de la muestra.

2.3.2.3.9. Vacío en la mezcla total compactada

Es el volumen total de vacíos presente entre los agregados cubiertos por el ligante asfáltico en la mezcla asfáltica compactada. Es expresado en porcentaje del volumen total de la muestra. Menéndez, J. (2016).

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

Donde:

VTM=Va= Porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada.

Gmm= Máxima Gravedad específica teórica de la mezcla.

Gmb= Peso específico de la mezcla compactada.

2.3.2.3.10. Vacíos llenados con asfalto (VFA)

Es el volumen total de vacíos presente en los agregados llenados con asfalto en una mezcla asfáltica compactada. Menéndez, J. (2016).

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

Donde:

VFA= Vacíos llenados con asfalto.

VMA= Vacíos de agregado minera.

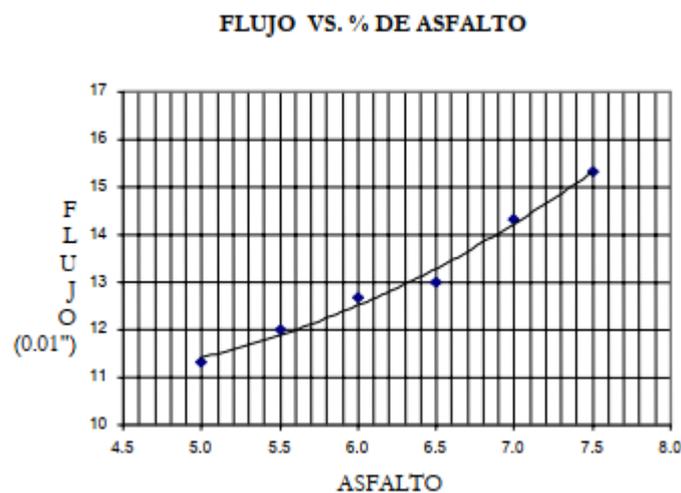
VTM=Va= Porcentaje de vacíos.

2.3.2.3.11. Flujo

El flujo Marshall mide la deformación vertical total de la briqueta sometido a una carga máxima, luego de ese punto máximo el valor de la carga empezará a disminuir. Este parámetro podrá indica la deformación permanente en mezclas de gradación densa. Un valor de flujo que supere a los 0.16 pulgadas indicará que la mezcla trabajará de forma inestable bajo cargas de tráfico. En la Figura 20, se puede observar la curva de Flujo vs contenido de asfalto. Minaya S. y Ordoñez, A. (2006).

Figura 20

Curva Flujo vs Contenido de asfalto.



Nota. Adaptado de “Comportamiento de Mezclas Asfálticas”, (p. 9), por S. Minaya y A. Ordoñez, 2006, *Diseño Moderno de Pavimentos*.

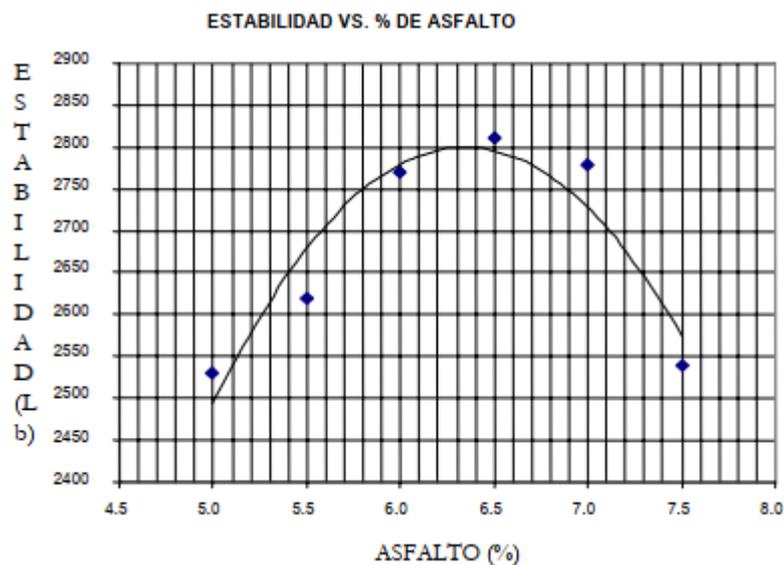
2.3.2.3.12. Estabilidad

La estabilidad es la capacidad de una mezcla asfáltica en soportar las deformaciones y desplazamientos bajo una carga cualquiera. La estabilidad Marshall se encuentra en función de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna se relaciona con la textura y geometría de los agregados, mientras que la cohesión interna será de acuerdo a las propiedades del ligante

asfáltico. En la Figura 21, se puede apreciar el incremento de la estabilidad por medio del contenido de asfalto, pero existirá un punto en que el contenido de asfalto se excederá y dificultará la fricción interna de los agregados resultando una caída en la estabilidad. Minaya, S. y Ordoñez, A. (2006).

Figura 21

Curva Estabilidad vs Contenido de asfalto



Nota. Adaptado de “Comportamiento de Mezclas Asfálticas”, (p. 8), por S. Minaya y A. Ordoñez, (2006), *Diseño Moderno de Pavimentos*.

De acuerdo a los resultados obtenidos del ensayo Método Marshall, los requisitos para la mezcla asfáltica se muestran en la siguiente Tabla 13, donde las clases de mezclas están dadas por letras A, B y C, las cuales representan la clasificación del Tráfico:

Tráfico liviano, letra C, condiciones de tráfico que resulten en EAL (ejes equivalentes) de diseño $< 10^4$.

Tráfico mediano, letra B, condiciones de tráfico que resulten en EAL (ejes equivalentes)

de diseño entre 10^4 y 10^6 .

Tráfico pesado, letra A, condiciones de tráfico que resulten en EAL (ejes equivalentes) de diseño $> 10^6$. Asphalt Institute (1992).

Tabla 13

Requisitos para mezcla de concreto asfáltico

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	5,44 kN	4,53 kN
3. Flujo 0,01" (0,25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	<u>Ver Tabla 423-10</u>		
Inmersión – Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo – Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)	1.700-4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 Mín.		

(1) A la fecha se tienen tramos efectuados en el Perú que tienen el rango 2% a 4% (es deseable que tienda al menor 2%) con resultados satisfactorios en climas fríos por encima de 3.000 m.s.n.m. que se recomienda en estos casos.

(2) Relación entre el porcentaje en peso del agregado más fino que el tamiz 0,075 mm y el contenido de asfalto efectivo, en porcentaje en peso del total de la mezcla.

(3) Para zonas de clima frío es deseable que la relación Est. /flujo sea de la menor magnitud posible.

(4) El Índice de Compactabilidad mínimo será 5.

El Índice de Compactabilidad se define como:
$$\frac{1}{\text{GEB } 50 - \text{GEB } 5}$$

Siendo GEB50 y GEB5, las gravedades específicas bulk de las briquetas a 50 y 5 golpes.

Nota. Adaptado de “Sección 423 Pavimento de concreto asfáltico en caliente” (p. 570), por Especificaciones técnica generales para construcción, 2013, *Ministerio de Transportes y Comunicaciones*.

2.3.2.4. Ensayo de Resistencia al daño

El ensayo de tracción indirecta mide dos propiedades referentes de la mezcla asfáltica, una de las propiedades es la resistencia a la tracción que determina la susceptibilidad al

humedecimiento en las mezclas asfálticas donde se realiza la comparación de la medición de la resistencia a la tracción entre briquetas a temperatura ambiente y briquetas bajo congelamiento y deshielo. La segunda propiedad que mide este ensayo es la deformación por tracción que tendrá la mezcla asfáltica. La mezcla tendrá un mejor comportamiento a la deformación por tracción cuando el ensayo tolera altas cargas hasta llegar a su falla. Minaya S. y Ordoñez A. (2006). En la Figura 22, se muestra el equipo para el Ensayo de Resistencia a la tracción indirecta y en la Figura 23, el ensayo en falla.

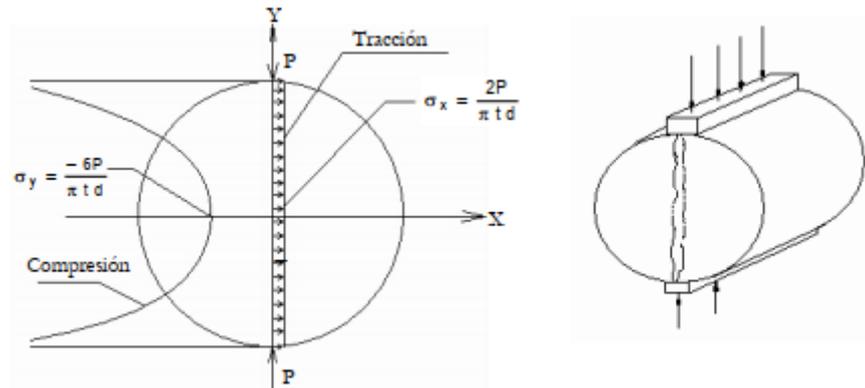
Figura 22

Ensayo de Resistencia a la tracción indirecta



Figura 23

Ensayo de Tracción Indirecta en falla (Huang, 1996)



Nota. Adaptado de “Comportamiento de Mezclas Asfálticas” (p. 10), por S. Minaya y A. Ordoñez, 2006. *Diseño moderno de Pavimentos*.

Nosetti, R. et al. (2008), mediante su investigación, describen que la evaluación de la resistencia mecánica se ejecutó mediante el ensayo de tracción indirecta por compresión diametral siguiendo la norma NTL-346. “Resistencia a compresión diametral (ensayo brasileño) de mezclas bituminosas”. En este ensayo, las cargas que son aplicadas en dos generatrices opuestas a lo largo del plano vertical, generan tensiones de tracción perpendiculares a la dirección de la carga aplicada y a lo largo del plano vertical diametral. El ensayo se ejecutó en las 6 probetas moldeadas para cada tipo de mezcla, 3 de ellas en estado seco y las 3 restantes después de un proceso de inmersión en agua:

Ensayo en estado seco: Tras medir la densidad, se secaron las probetas al aire durante 24 horas para posteriormente colocarlas en una cámara climatizada a 5 °C durante 24 horas para proceder finalmente a su rotura a tracción indirecta.

Ensayo tras inmersión en agua: concluido el ensayo de densidad se colocaron las

probetas en un baño de agua termostatzado a 60 °C durante un período de 24 horas, como se muestra en la Figura 24, luego se las secó al aire siguiendo el procedimiento de la misma manera que en la condición seca. Nosetti, R. et al. (2008)

Figura 24

Probetas colocadas en el baño termostático a 60 °C



Nota. Adaptado de “Evaluación del daño por humedad de las mezclas recicladas en frío mediante el ensayo de tracción indirecta” (p. 11), por R. Nosetti et al., 2008, *Comisión Permanente del Asfalto XXXV Reunión del Asfalto*.

2.3.3. Beneficios de utilizar mezclas asfálticas tibias.

La reducción de temperaturas en la fabricación de la mezcla y pavimentación (compactación) mediante Warm Mix Asphalt producirá efectos ambientales positivos: reducción del consumo de energía o combustible (por ende, costos reducidos); la disminución de las emisiones y olores en la planta de asfalto reduce la inhalación de humos en los trabajadores y mejora las condiciones de trabajo en el lugar de pavimentación. En general esta tecnología permite una reducción de energía y combustible en un 30 % a 50 %, un 30 % la disminución de emisiones de CO₂, un 40 % menos de humos en la máquina pavimentadora y

una reducción de la generación de polvos entre una 50 % y 60 %. Button, J. (2007)

Los beneficios de las mezclas asfálticas tibias al reducir las temperaturas en la etapa de fabricado y compactación son muy amplias, ya que podemos obtener mezclas con bajos porcentajes de vacíos y altas densificaciones, podemos tener un mayor margen de horario de trabajo para emplazar las mismas, se puede disminuir la cantidad de energía utilizada en el calentamiento, siendo la principal la reducción de la oxidación del asfalto, debido a que, la mayor velocidad de oxidación se presenta en las etapas de mezclado y compactación realizadas a altas temperaturas y a la pequeña capa de asfalto presente en el recubrimiento del agregado en contacto con el oxígeno del medio ambiente. Al reducir la temperatura se disminuye la velocidad de oxidación aumentando la vida del asfalto en el pavimento al hacerlo menos rígido. Gutiérrez, A. (2013).

Beneficios de utilizar mezclas asfálticas tibias en la pavimentación:

Trabajabilidad en la compactación empleando menos esfuerzos y menor temperatura consiguiendo resultados de densidades muy cercanos a la densidad de diseño. Lograr el óptimo porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica compactada, con lo cual se evita la oxidación del asfalto. Habilidad para que la mezcla asfáltica sea transportada a grandes distancias de donde es producida. Habilidad para incluir un mayor porcentaje de mezcla asfáltica reciclada (RAP). Disminución de la oxidación del asfalto en la etapa de fabricación, colocación y compactación incrementando la durabilidad del pavimento. Gutiérrez, A. (2013)

Beneficios de utilizar mezclas asfálticas tibias en el medio ambiente:

Al tener que calentar el asfalto a una temperatura reducida para producir la mezcla asfáltica se ahorra el consumo de combustible, disminuyendo las emisiones de diversos gases, siendo el principal el dióxido de carbono que es el responsable del calentamiento global. En

USA la producción aproximada de Dióxido de Carbono en las plantas de mezclas asfálticas en caliente es de aproximadamente de 2 500 toneladas por año, con el uso de las mezclas asfálticas tibias es posible reducir esta cantidad hasta 1 700 toneladas. Gutiérrez, A. (2013)

Beneficios de utilizar mezclas asfálticas tibias en las condiciones laborales:

Reducción de humos azules (componentes volátiles orgánicos) generados en la colocación de las mezclas asfálticas en caliente, con los cuales los trabajadores inhalan menos cantidades de los mismos. Menor consumo de combustible por parte de la maquinaria debido a que menos esfuerzo se obtienen altos valores de densidad de la mezcla. Gutiérrez, A. (2013)

2.4. Definición de Términos Básicos

2.4.1. Mezcla asfáltica tibia

Las mezclas tibias son las alternativas de reducción de temperaturas con la adición de ceras, o procesos de espumados, ambas tecnologías con ciertas desventajas técnicas. En Francia, durante los últimos años, se presenta un aditivo que permite disminuir las temperaturas de fabricación, colocación y compactación, en el orden de 40 a 50 °C. Esto se logra adicionando un aditivo tensoactivo, que actúa superficialmente entre el ligante asfáltico y los áridos, permitiendo que tanto la viscosidad como la trabajabilidad sean similares a los parámetros de las mezclas asfálticas en caliente. Sin cambiar el procedimiento de mezclado en caliente y sin modificar las propiedades finales del asfalto. González, et al. (2008).

2.4.2. Aditivo tensoactivo

Es utilizado en una de las tecnologías de la mezcla asfáltica tibia que se basa en la reducción de la tensión superficial generada entre el ligante asfáltico y los áridos, logrando

reducir las temperaturas de fabricación, colocación y compactación de las mezclas asfálticas, sin modificar las propiedades reológicas del asfalto. Gutiérrez, A. (2013)

2.4.3. Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica

Existen varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas asfálticas. Estas incluyen la estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento. La mezcla asfáltica debe de contar con cada una de estas propiedades y si deseamos un buen comportamiento mecánico cada una de ellas se deberán de encontrar en los límites permisibles por las Especificaciones Técnicas para Construcción de cada País. Asphalt Institute (1992).

2.4.4. Ensayo Marshall

La finalidad del ensayo Marshall es determinar el contenido óptimo del ligante asfáltico para una combinación de agregados específicos. El método establece densidades y contenidos óptimos de vacíos que deben ser controlados y respetados durante la ejecución del pavimento. Los resultados más importantes del ensayo Marshall para el diseño de mezclas asfálticas son: el análisis de vacíos – densidad y la prueba de estabilidad-fluencia en los especímenes compactadas. Grgich, J. y Quagliata, E. (2008).

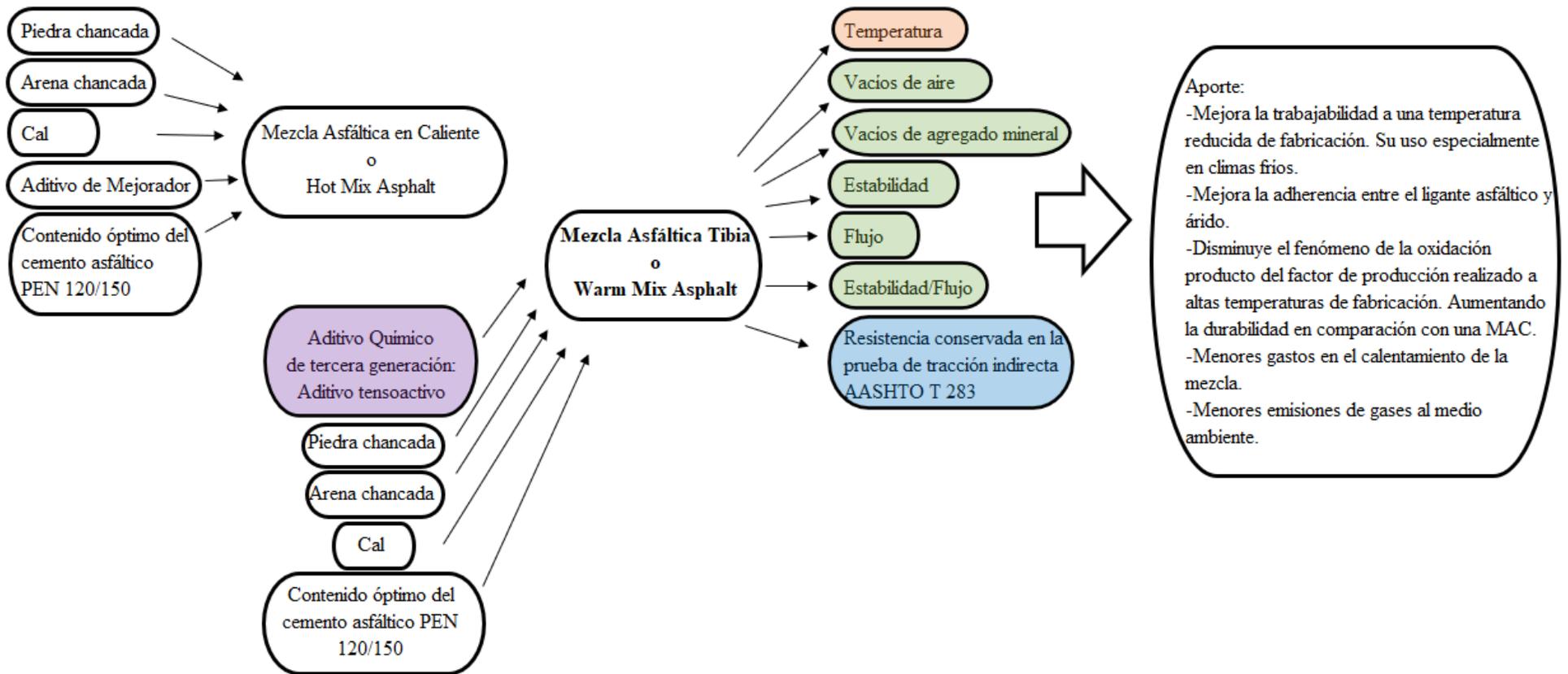
2.4.5. Resistencia al daño por humedad inducida AASHTO T 283

Este método es utilizado en los Estados Unidos y en otros países cuyo procedimiento es preparar la mezcla asfáltica y compactar en moldes Marshall, para luego ejercer una fuerza de tensión sobre los especímenes a temperatura ambiente y después del ciclo de congelamiento-deshielo. Por último, se realiza la razón de ambos resultados, verificando que el resultado sea

mayor a lo especificado en la normativa. Gutiérrez, A. (2008).

2.5.Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis

Figura 25
Fundamentos teóricos.



2.6.Hipótesis

2.6.1. Hipótesis General

La mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo mejora su comportamiento mecánico a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina.

2.6.2. Hipótesis Específicas

- a) Una mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo optimiza su comportamiento térmico de compactación en zona altoandina.
- b) La mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo mejora su comportamiento físico a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina.
- c) La mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo mejora su comportamiento al daño por humedad inducida a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina.

2.7. Variables

Para la presente investigación se considera como variable independiente, mezcla asfáltica tibia y como variable dependiente, comportamiento mecánico.

2.7.1. Definición conceptual de la variable

a) Variable Independiente

Mezcla asfáltica tibia, es aquella que, mediante el uso de tecnologías a base de agua, tecnologías a base de aditivo orgánico y tecnologías de aditivos químicos permite la fabricación y compactación de dichas mezclas a temperaturas reducidas de la mezcla en caliente convencional.

b) Variable dependiente

Comportamiento mecánico, es la medición de los parámetros mecánicos que indican la calidad de mezcla en la fabricación, colocación y compactación con los cuales trabajará durante su vida útil.

2.7.2. Operacionalización de variables

En la Tabla 14, se presenta la operacionalización de variables.

Tabla 14

Operacionalización de variables.

Variables	Definición conceptual de la variable	Dimensiones	Indicadores	Und.	Instrumento	Manuales Técnicos
<u>Variable Independiente</u> Mezcla asfáltica tibia	La mezcla tibia es aquella que mediante el uso de aditivo tensoactivo permite la fabricación y compactación de dichas mezclas a bajas temperaturas.	Mezcla asfáltica tibia	Áridos	%	Dosificación de mezcla tibia	EG-2013
			Cemento asfáltico	%		
			Aditivo tensoactivo	%		
<u>Variable Dependiente</u> Comportamiento mecánico	Es la medición de los parámetros mecánicos que indican la calidad de la mezcla en la fabricación y compactación con los cuales trabajará en su vida útil.	Comportamiento Térmico	Temperatura de compactación	° C	Valores de Temperatura	CARTA DE VISCOSIDAD VS TEMPERATURA
		Comportamiento Físico	Vacíos de aire	%	Ensayo Marshall	AASHTO T-245 MTC E 504
			Vacíos en el agregado mineral (VMA)	%		
			Flujo	pulg.		
			Estabilidad	kg		
Estabilidad-Flujo	kg/cm	Ensayo de la resistencia al daño por humedad inducida	AASHTO T-283 ASTM D 4867			
Comportamiento al daño por humedad inducida	Resistencia de tensión indirecta (TSR)			%		

Capítulo III

Metodología del Estudio

3.1. Tipo, Método y Diseño de la Investigación

3.1.1. Tipo de Investigación

Según Sánchez y Reyes (2015), el tipo de investigación es **Descriptivo** porque se mencionan todos los ensayos realizados a la variable independiente y se señalan estos efectos en la variable dependiente.

3.1.2. Método de la Investigación

El método de la Investigación es Deductivo debido a que se parte de una información general referente al problema. A partir de esta información global se empezó a realizar o aplicar

la recolección de datos, resultados, análisis y conclusiones de la variable a investigar.

3.1.3. Nivel de la Investigación

Según Sánchez y reyes (2015), el nivel de la investigación es **Descriptivo**, porque se señalan características fundamentales referente a la medición y evaluación de los resultados del efecto sobre la variable.

3.1.4. Orientación de la Investigación

La orientación de la Investigación es **Aplicada** porque utiliza el marco teórico y conclusiones de otras investigaciones como apoyo para el desarrollo de la misma, en otras palabras, se basa en la orientación básica.

3.1.5. Enfoque de la Investigación

El enfoque de la investigación es **Cuantitativo** porque se basa en el análisis de información numérica (mediciones) para dar la mejor solución al problema.

3.1.6. Recolección de Datos

La recolección de datos es **Retrolectivo** porque la información de datos recolectada fue realizada una vez terminada la manipulación de la variable en laboratorio, asimismo, se recolectó datos complementarios de investigaciones realizadas de otros autores.

3.1.7. Diseño de la Investigación

El diseño de la Investigación es **Experimental** ya que se caracteriza por la manipulación de la variable independiente (experimentos en laboratorio) con el motivo de analizar el efecto que esta manipulación ejerce sobre la variable dependiente.

Según el número de mediciones la investigación es **Transversal** porque se obtiene o toma los datos en un solo periodo determinado por el investigador con el fin de describir las variables que intervienen y su influencia entre ellas dadas en un momento definido.

Según la cronología de las observaciones la investigación es **Prospectiva** porque los datos se registraron en la medida que se desarrolló la investigación.

Según la direccionalidad la investigación es **Cohorte** porque se observó y se estudió a través del tiempo con el fin de identificar si determinada causa genera un efecto.

3.2. Población y Muestra

3.2.1. Población

La Población está conformada por un corredor vial en zona altoandina de una longitud de 80 Km a una altura de 4000 - 4750 m.s.n.m. y ubicado en las localidades de Negromayo-Yauri-San Genaro, pertenecientes a la provincia de Espinar (Cusco) y Caylloma (Arequipa).

Este corredor vial se encuentra con una carpeta de rodadura asfáltica convencional, mezcla asfáltica en caliente, la presente investigación propone la evaluación del comportamiento mecánico de la carpeta de rodadura utilizando una mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo.

3.2.2. Objeto de Estudio

Probetas de mezcla asfáltica en caliente convencional para la verificación de los parámetros mecánicos.

Probetas de mezcla asfáltica tibia a diferente dosificación de tensoactivo y a diferentes

temperaturas de compactación.

3.2.3. Criterios de inclusión

Corredores viales que cuenten con una superficie de rodadura asfáltica, utilizando mezcla asfáltica de tipo tibia en zonas de altura.

3.2.4. Criterios de exclusión

Corredores viales que cuenten con una superficie de rodadura asfáltica, utilizando mezcla asfáltica de tipo: en frío y en caliente, en zonas de altura.

3.2.5. Muestra

Las muestras tomadas para esta investigación, Tablas 15 al 22, fueron basadas de acuerdo a los diferentes ensayos que se realizaron para la mezcla asfáltica tibia a diferentes dosificaciones, cuyas definiciones se encuentran descritas en las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 y en el Manual de ensayo de materiales -2016, ambos documentos pertenecientes al Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Tabla 15

Muestras para la verificación del ensayo Marshall de la mezcla asfáltica en caliente (del diseño en obra).

Descripción	Ensayo	Normativa	Contenido óptimo de asfalto (%)	N° de muestras
Verificación de la mezcla asfáltica en caliente	Ensayo Marshall	AASHTO T-245	6.40	3.00
		ASTM D 6926	6.70	3.00
		ASTM D 6927	7.00	3.00
Total				9.00

Tabla 16

Muestras para el ensayo de Gravedad específica teórica máxima y densidades de la verificación de mezcla asfáltica en caliente (del diseño en obra).

Descripción	Ensayo	Normativa	Contenido óptimo de asfalto (%)	N° de muestras
Verificación de la mezcla asfáltica en caliente	Gravedad Específica Máxima Teórica y densidad de las mezclas asfálticas	ASTM D 2041 AASHTO T-209	6.40	3.00
			6.70	3.00
			7.00	3.00
Total				9.00

Tabla 17

Muestras para el ensayo Marshall de mezclas asfálticas tibias, con una dosificación de tensoactivo de 0.30 %.

Descripción	Ensayo	Normativa	Dosificación de aditivo tensoactivo (%)	N° de muestras
Mezcla asfáltica tibia a una temperatura de fabricación de 115 °C	Ensayo Marshall	AASHTO T 245 ASTM D 6926 ASTM D 6927	0.30	3.00
Mezcla asfáltica tibia a una temperatura de fabricación de 125 °C	Ensayo Marshall	AASHTO T-245 ASTM D 6926 ASTM D 6927	0.30	3.00
Mezcla asfáltica tibia a una temperatura de fabricación de 135 °C	Ensayo Marshall	AASHTO T-245 ASTM D 6926 ASTM D 6927	0.30	3.00
Total				9.00

Tabla 18

Muestras para el ensayo de Gravedad específica teórica máxima y densidades de la mezcla tibia con una dosificación de tensoactivo de 0.30 %.

Descripción	Ensayo	Normativa	Temperatura de fabricación (°C)	N° de muestras
Mezcla asfáltica tibia a una temperatura de fabricación de 115 °C, 125 °C y 135 °C.	Gravedad Específica Máxima Teórica y densidad de las mezclas asfálticas	ASTM D 2041 AASHTO T-209	115.00	3.00
			125.00	3.00
			135.00	3.00
Total				9.00

Tabla 19

Muestras para el ensayo Marshall de mezclas asfálticas tibias, con una dosificación de tensoactivo de 0.50 %.

Descripción	Ensayo	Normativa	Dosificación de aditivo tensoactivo (%)	N° de muestras
Mezcla asfáltica tibia a una temperatura de fabricación de 115 °C	Ensayo Marshall	AASHTO T-245 ASTM D 6926 ASTM D 6927	0.50	3.00
Mezcla asfáltica tibia a una temperatura de fabricación de 125 °C	Ensayo Marshall	AASHTO T-245 ASTM D 6926 ASTM D 6927	0.50	3.00
Mezcla asfáltica tibia a una temperatura de fabricación de 135 °C	Ensayo Marshall	AASHTO T-245 ASTM D 6926 ASTM D 6927	0.50	3.00
Total				9.00

Tabla 20

Muestras para el ensayo de Gravedad específica máxima teórica y densidad de las mezclas asfálticas tibias, con una dosificación de tensoactivo de 0.50 %.

Descripción	Ensayo	Normativa	Temperatura de fabricación (°C)	N° de muestras
Mezcla asfáltica tibia a una temperatura de fabricación de 115 °C, 125 °C y 135 °C.	Gravedad Específica Máxima Teórica y densidad de las mezclas asfálticas	ASTM D 2041 AASHTO T-209	115.00	3.00
			125.00	3.00
			135.00	3.00
Total				9.00

Tabla 21

Muestras para determinar la cantidad de golpes que tendrán las briquetas para un porcentaje de vacíos igual a 7%, con una dosificación de tensoactivo de 0.50 %.

Descripción	Ensayo	Normativa	Dosificación de aditivo tensoactivo (%)	N° de muestras
Mezcla asfáltica tibia a una temperatura de fabricación de 125 °C	Resistencia de Mezclas Asfálticas Compactadas al daño inducido por Humedad	ASTM D 4867 AASHTO T-283	0.5	10
Total				10.00

Tabla 22

Muestras para el ensayo de Resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad, con una dosificación de tensoactivo de 0.50 %.

Descripción	Ensayo	Normativa	Dosificación de aditivo tensoactivo (%)	N° de muestras
Mezcla asfáltica tibia a una temperatura de fabricación de 125 °C	Resistencia de Mezclas Asfálticas Compactadas al daño inducido por Humedad	ASTM D 4867 AASHTO T-283	0.5	6

Total**6.00**

3.3. Técnicas e instrumento de la recolección de datos**3.3.1. Procedimientos y métodos**

La técnica que se utilizó fue la observación de las pruebas o ensayos que se realizaron y fueron plasmados en fichas cuyos formatos se encuentran establecidos en las normas AASHTO, EG-2013 y del Manual de Ensayos de Materiales. Además, se registraron los resultados obtenidos de dichos ensayos con el fin de determinar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas tibias.

3.3.2. Instrumento de recolección de datos

La recolección de datos fue realizada mediante fichas de llenado para datos iniciales, donde los formatos se encuentran establecidos bajo las normas AASHTO, ASTM, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 y el Manual de Ensayos de Materiales-2016, estos dos últimos pertenecientes al Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Además, se registraron los resultados que se obtuvieron de los ensayos observados, evaluando las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente (Hot Mix Asphalt) y de la mezcla asfáltica tibia con tensoactivos y a diferentes temperaturas de compactación (Warm Mix Asphalt). Asimismo, se tuvo como herramientas el uso de los softwares Microsoft Excel y Word, con la finalidad de representar los resultados mediante gráficos estadísticos de barras verticales, horizontales y/o pasteles (el formato que mejor se acomode). Las técnicas o procedimientos a seguir fueron de acuerdo a las normas ASTM, AASHTO, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 y del Manual de

Ensayos de Materiales 2016 ambos documentos del Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

3.3.3. Validez del instrumento

Los instrumentos utilizados para medir las variables se encuentran validados bajo las normativas ASTM, AASHTO, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 y el Manual de ensayo de Materiales del MTC, acorde con los rangos de parámetros establecidos de cada normativa. Asimismo, los equipos que son utilizados para desarrollar cada uno de los instrumentos se encuentran validados de acuerdo a los certificados de calibración que garantizan los datos obtenidos de cada ensayo, dichos documentos se encuentran anexados en la presente investigación, Anexo 8-Calibración de equipos.

3.3.4. Confiabilidad del instrumento

Cada instrumento que se utilizó en esta investigación, para obtener datos de la manipulación de la variable independiente, se encuentran aceptados y normados por la AASHTO, ASTM y Manual de ensayo de Materiales del MTC, por lo que es fiable utilizar estos instrumentos. Asimismo, los aparatos de apoyo para la realización de cada ensayo se encuentran calibrados y certificados en el Anexo 8, cuyos documentos demuestran que cada instrumento tuvo una serie de mediciones demostrando el buen funcionamiento y calidad en los resultados de calibración.

3.4. Descripción de análisis de datos

Para la descripción y análisis de datos, se inició con el recojo de los insumos para elaborar la mezcla asfáltica, por lo que, se extrajo los áridos de canteras pasando por un proceso

de trituración hasta obtener los agregados utilizados en la preparación de la mezcla asfáltica piedra chancada y arena chancada pasando por un análisis granulométrico de acuerdo al Manual de ensayo de materiales MTC E 204. Ver Tablas 2 y 3. Luego ambos agregados fueron mezclados adicionando un porcentaje de cal hidrata como recomendaciones de la Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013, esta combinación también pasó por un análisis granulométrico cumpliendo con el rango de exigencias para cada tamaño de agregado con el Huso granulométrico D-5 del ASTM D 3515, presente en la Tabla 7. Después de cumplir con este Huso, los áridos fueron acopiados en la planta de asfalto, de donde se recolectó los insumos para la preparación de la mezcla asfáltica. La mezcla asfáltica en caliente tiene como componentes el PEN 120/150, piedra chancada, arena chancada, cal hidratada y mejorador de adherencia, considerado para determinar el grado de afinidad entre el árido y ligante asfáltico en zonas de altura sobre los 3 000 m.s.n.m.

Una vez obtenido los porcentajes de áridos, llenante y el contenido óptimo de asfalto dichos insumos fueron llevados al laboratorio de asfaltos, donde se realizó el secado de los áridos y se procedió con la mezcla de los insumos y posterior preparación de las briquetas, de acuerdo a la normativa ASTM D 6926. Se prepararon las briquetas de mezcla asfáltica en caliente de acuerdo al contenido óptimo de asfalto de obra diseñada a través de método Marshall y se realizó la verificación de los parámetros mecánicos de acuerdo al ensayo Marshall ASTM D 6927. Luego de verificar la mezcla asfáltica en caliente con los requisitos solicitados por la EG-2013, se procedió a la reducción de temperaturas de mezclado y compactación, de acuerdo a los beneficios del aditivo tensoactivo presentes en la ficha técnica, Anexo 9, de acuerdo a ello se tomó las temperaturas reducidas y se prepararon las briquetas de mezclas asfálticas tibias adicionando un porcentaje de aditivo acorde a las recomendaciones del tensoactivo. Luego se realizaron los ensayos Marshall para obtener los parámetros

mecánicos de acuerdo al ASTM D 6927, a bajas temperaturas de compactación y a diferentes dosificaciones de tensoactivo. Luego de determinada la temperatura y la dosificación de tensoactivo, adecuadas, de las cuales se obtienen los parámetros mecánicos que cumplen con los requisitos de las EG-2013, se procedió con la realización del ensayo de Resistencia al daño por humedad inducida AASHTO T-283, con estos resultados se pudo analizar el comportamiento de los parámetros mecánicos de la mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo a bajas temperaturas de compactación preparada con insumos de zona altoandina, de acuerdo a las exigencias de las EG-2013.

Capítulo IV

Resultados y Análisis de resultados (Discusión)

4.1 Resultados

Los resultados de la presente investigación fueron elaborados en función de los parámetros metodológicos y el producto de los trabajos en laboratorio.

4.1.1 Resultado 1

Se determinó una mezcla tibia para diferentes temperaturas de compactación, las cuales fueron de 115 °C, 125 °C y 135 °C, de acuerdo a la Tabla 32, por lo que, la aplicación del aditivo tensoactivo reduce la temperatura de compactación de una mezcla asfáltica convencional. La mezcla asfáltica tibia se encuentra conformada por; 44.5 % de piedra chancada, 54.5 % de arena chancada, 0.5 % de aditivo tensoactivo, 1.0 % de cal hidratada y 6.70 % de ligante asfáltico PEN 120/150. Esta composición de mezcla asfáltica tibia fue utilizada para la preparación de briquetas que se utilizó en el resto de ensayos.

4.1.2 Resultado 2

Se determinó una mezcla tibia a diferentes porcentajes de aditivo tensoactivo y se midieron los parámetros Marshall a bajas temperaturas de compactación, ver las Tablas 33 y 34, Asimismo, se puede describir que los parámetros de vacíos de aire, vacíos de agregado mineral y el flujo, aumentaron en un 24.14 %, 5.23 % y 3.01 % respectivamente y la Estabilidad y el índice de rigidez disminuyeron en 1.01 % y 3.75 % respectivamente. Estos parámetros físicos y mecánicos con la adición de tensoactivo con una dosificación de 0.5 % y una temperatura de compactación de 125 °C, se mantuvieron en el rango exigido por las especificaciones técnicas EG-2013.

4.1.3 Resultado 3

Se determinó una mezcla asfáltica tibia con una dosificación de tensoactivo de 0.5 % y una temperatura de compactación de 125 °C, con dichas características se prepararon especímenes siguiendo la metodología Marshall para determinar el número de golpes resultando 45 golpes para un porcentaje de vacíos de 7.0%. Una vez hallado el número de golpes se compactaron 06 briquetas con 45 golpes. Donde se midió la resistencia a 03 briquetas a temperatura ambiente y las otras 03 después de pasar un ciclo de congelamiento y deshielo, fueron medidas su resistencia. Determinando el grado de adherencia entre el ligante asfáltico y los áridos, teniendo un resultado de 81.3 %, este valor es menor al grado de adherencia de la mezcla asfáltica en caliente, pero que se mantiene dentro de las especificaciones técnicas EG-2013, de un 80 %, como mínimo. Ver figura 71.

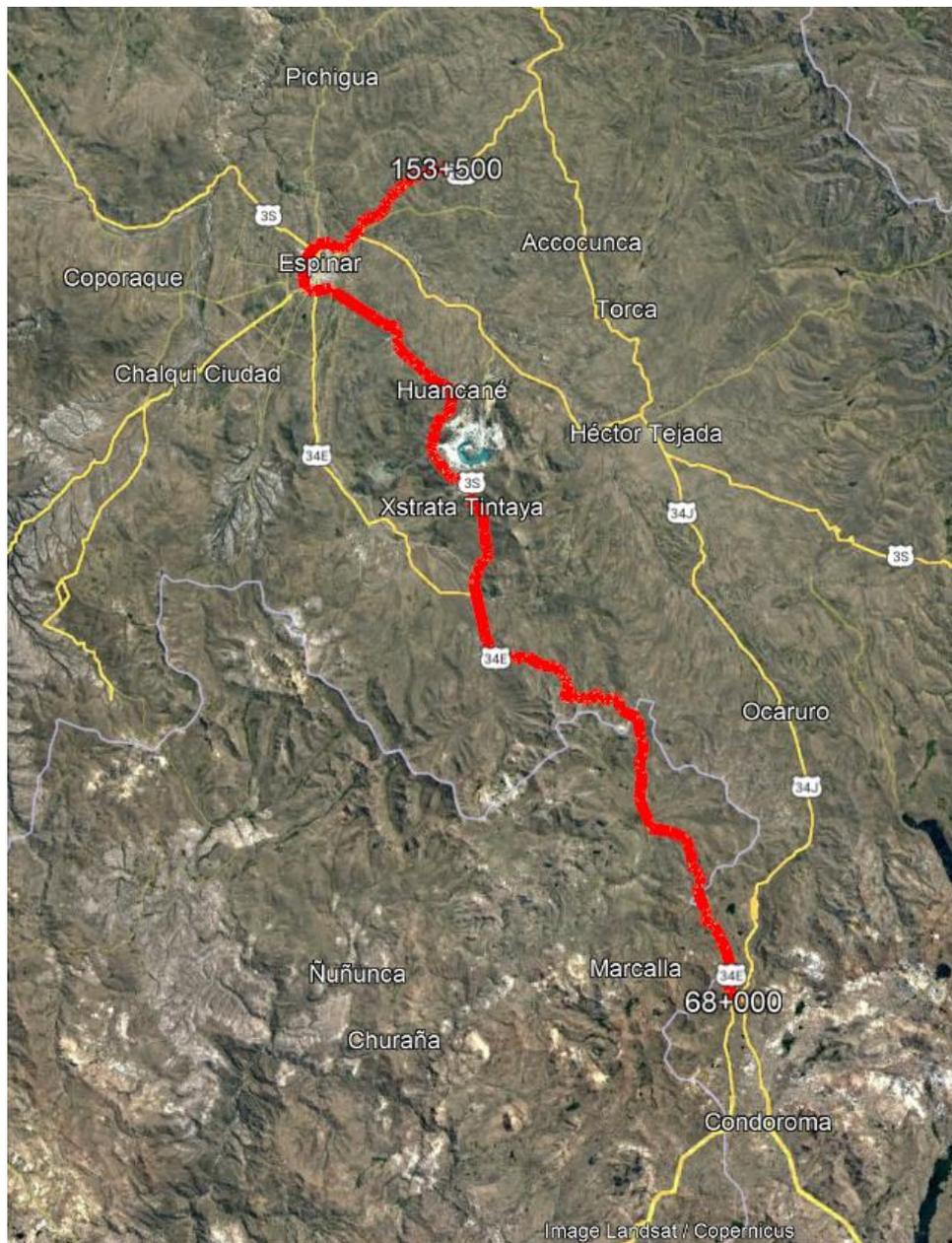
4.2 Análisis de Resultados

En la presente investigación, se inició con la caracterización de los insumos necesarios para la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente y el desarrollo de la preparación de la mezcla asfáltica tibia con adición de aditivos tensoactivos.

4.1.4 Análisis del Resultado 1

El corredor en estudio se encuentra comprendido entre las localidades de Negromayo-Yauri-San Genaro en la provincia de Espinar, Departamento de Cusco y un tramo en la provincia de Caylloma, Departamento de Arequipa, contando con una longitud aproximada de 86.00 km, ver Figura 26. La vía se encuentra en un rango de altitud de 4 000 - 4750 m.s.n.m. zona de altura, con una intensa presencia del gradiente térmico, por lo que, las especificaciones de los áridos y de la misma mezcla asfáltica cumplieron con los requerimientos mínimos para altitudes mayores a los 3 000 msnm, de acuerdo a las EG-2013.

Figura 26
Corredor de la investigación



Los áridos fueron extraídos de la cantera Chalqui, Figura 27, ubicado en el Km138+100 lado izquierdo del corredor. Lugar donde se procesa y trituran los agregados minerales y se obtienen la piedra chancada y arena chancada.

Figura 27
Cantera Chalqui



Los áridos extraídos y a emplearse en la mezcla asfáltica cumplen ciertas propiedades exigidas en las Tabla 2 para los agregados gruesos y la Tabla 3 para los agregados finos, ambos exigidas en las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013, en la Tabla 23, se observa que las propiedades cumplen con los requisitos. Asimismo, en la Tabla 24 los agregados finos cumplen con lo solicitado.

Tabla 23

Requerimientos para los agregados gruesos.

Ensayos	Normativa			Requerimiento	Resultados	Condición
	MTC	ASTM	AASHTO	Altitud > 3 000 msnm		
Durabilidad (al sulfato de magnesio)	MTC E 209	ASTM C 88	AASHTO T 104	15 % max.	4.5	Cumple
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	ASTM C 131	AASHTO T 96	35 % max.	22.2	Cumple
Adherencia	MTC E 517	ASTM D 2489		+95	+98	Cumple
Índice de durabilidad	MTC E 214	ASTM D 3744	AASHTO T 210	35 % min.	94	Cumple
Partículas chatas y alargadas		ASTM D 4791		10% max.	6.8	Cumple
Caras fracturadas	MTC E 210	ASTM D 5821		90/70	100/95.1	Cumple
Sales solubles totales	MTC E 219			0.5 % max.	0.191	Cumple
Absorción*	MTC E 206	ASTM C 127	AASHTO T 85	1.0 % max	2.1	

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

-La notación “85/50” indica que el 85 % del agregado grueso tiene una cara fracturada y que el 50 % tiene dos caras fracturadas.

Nota. Adaptado de “Revisión del diseño de mezcla asfáltica en caliente” (p. 2), por E. López, (2018), CSP.

Los resultados de los diferentes ensayos realizados al agregado grueso satisfacen los requerimientos exigidos por las Especificaciones Técnica, EG-2013.

Tabla 24

Requerimientos para los agregados finos.

Ensayos	Normativa			Requerimiento Altitud > 3 000 msnm	Resultados	Condición
	MTC	ASTM	AASHTO			
Equivalente de arena	MTC E 114	ASTM D 2419	AASHTO T 176	70	71	Cumple
Angularidad del agregado fino	MTC E 222			40	51.1	Cumple
Azul de metileno			AASHTO TP 57	8 max	7	Cumple
Índice de plasticidad (malla N° 40)	MTC E 111	ASTM D 4318	AASHTO T 89	NP	NP	Cumple
Durabilidad (al sulfato de magnesio)	MTC E 209	ASTM C 88	AASHTO T 104	18 % max.	8.97	Cumple
Índice de durabilidad	MTC E 214	ASTM D 3744	AASHTO T 210	35 min.	91	Cumple
Índice de plasticidad (malla N° 200)	MTC E 111	ASTM D 4318	AASHTO T 89	NP	NP	Cumple
Sales solubles totales	MTC E 219			0.5 % max.	0.191	Cumple
Absorción**	MTC E 205		AASHTO T 84	0.5 % max.	2.27	

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

Nota. Adaptado de “Revisión del diseño de mezcla asfáltica en caliente” (p. 2), por E. López, (2018), CSP.

Los resultados de los diferentes ensayos realizados al agregado fino satisfacen los requerimientos exigidos por las Especificaciones Técnicas, EG-2013.

De acuerdo a como fueron ensayados los áridos, cumpliendo los requisitos de normatividad. El filler o llenante que en este caso es una cal hidratada indicado por las Especificaciones Técnicas EG-2013, también fue ensayada de acuerdo al AASHTO M 303, como se indica en el marco teórico, Tabla 4.

Asimismo, se seleccionó el ligante asfáltico de acuerdo a la tabla 10 de las EG-2013, considerando las condiciones climatológicas de la zona, teniendo una temperatura media anual de 6.49 °C y 4.90 °C de acuerdo a las estaciones automáticas de SENAMHI denominadas Estación Huayhuahuasi, ubicada a una altura de 3 944 m.s.n.m. (Latitud: 14°40'20.7" y Longitud: 71°31'11.66") y la Estación Porpera, ubicada a una altura de 4 396 m.s.n.m. (Latitud: 15°18'51.11" y Longitud: 71°18'23.01"), respectivamente. Ver Figura 28 y 29. Con estas premisas se seleccionó un ligante asfáltico de PEN 120/150. Este ligante seleccionado cumplió con las exigencias de las Especificaciones Técnicas EG-2013, ver Tabla 25. Se adjunta en el Anexo 9 la ficha técnica del producto.

Figura 28

Estación Huayhuahuasi

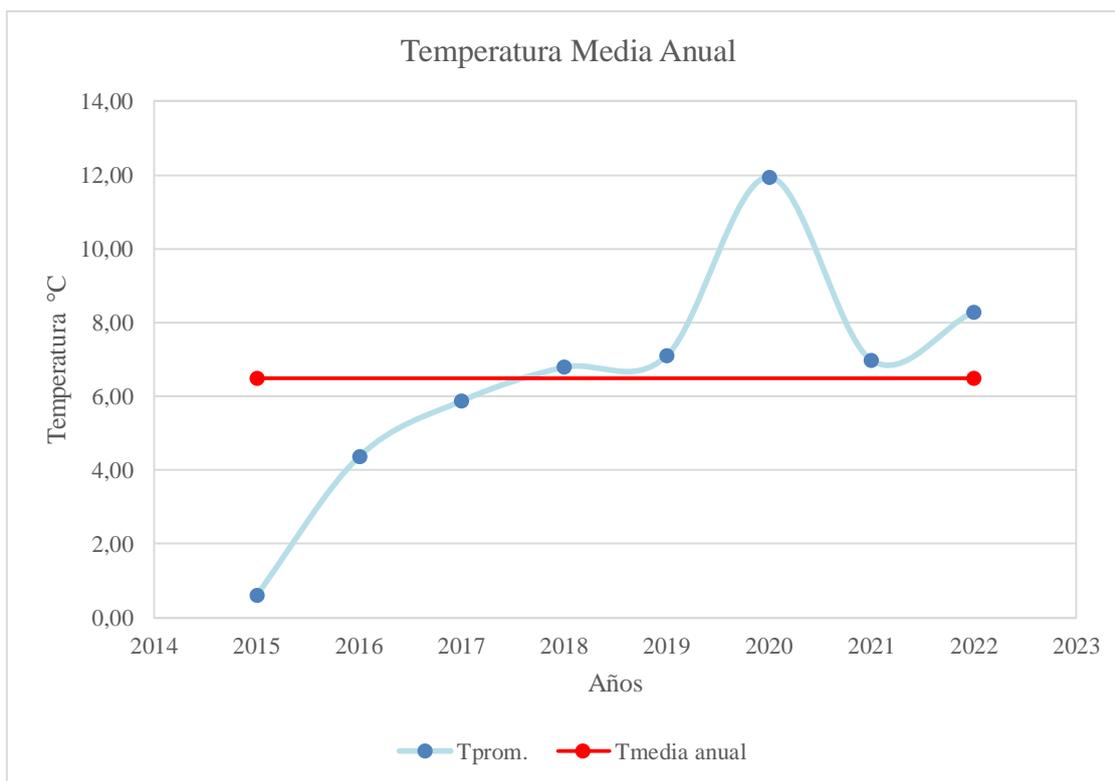


Figura 29
Estación Porpera

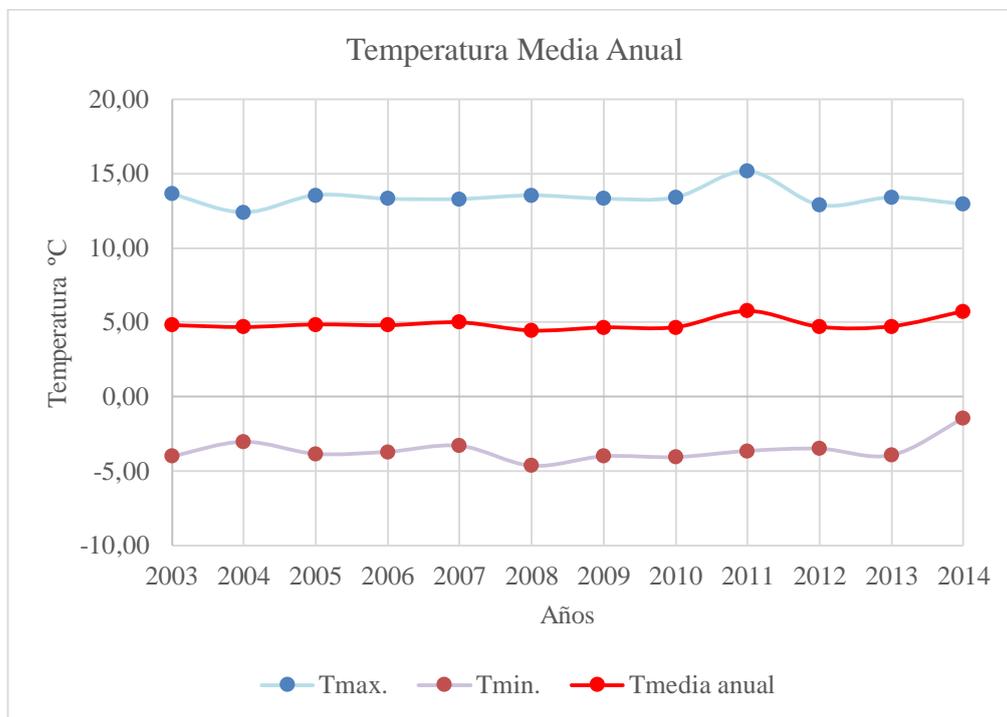


Tabla 25
Requerimientos para el cemento asfáltico PEN 120/150

Grado	Norma	Grado de Penetración		Resultados	Condición
		Mín.	Máx.		
Pruebas sobre el material Bituminoso					
Penetración a 25°C, 100 g, 5s, 0.1 mm	MTC E 304	120	150	134	Cumple
Punto de Inflamación, °C	MTC E 312	218		301	Cumple
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	MTC E 306	100		>105	Cumple
Solubilidad en tricloroetileno, %m	MTC E 302	99		99.98	Cumple
Índice de Penetración	MTC E304	-1		-0.8	Cumple
Pruebas sobre la película delgada					
Pérdida por calentamiento, %m	ASTM D 1754		1.3	0.3	Cumple
Penetración retenida, 100g, 5s, 0.1 mm, % del original	MTC E 304	42+		60	Cumple

Con dicha información, en laboratorio se realizaron los diferentes arreglos a la granulometría con la finalidad de que estos áridos se ajusten con la gradación de mezclas densas

del ASTM D 3515, en la siguiente Tabla 26, se muestran los porcentajes de los áridos.

Tabla 26

Proporciones de áridos para la mezcla asfáltica en caliente

Proporciones de áridos	
Piedra Chancada < 3/4"	44.50 %
Arena Chancada < 1/4"	55.50 %
Filler (Cal hidratada)	1.00 %

La composición de la mezcla asfáltica se ajustó a la gradación D-5 de ASTM D 3515. Con estas proporciones se realizó el ensayo Marshal, para contenidos de asfalto de 5.50 %, 6.00 %, 6.50 %, 7.00 % y 7.50 %. Obteniendo un contenido óptimo de asfalto de 6.70 %. El procedimiento del ensayo Marshall se adjunta en el Anexo 4. Asimismo, para determinar la adherencia entre el ligante asfáltico y los áridos las EG-2013, recomienda para alturas mayores a 3000 msnm realizar el ensayo AASHTO T 283 o utilizar el ensayo Lottman Modificado ASTM D 4867, aplicando los ciclos de congelamiento y deshielo, con un parámetro mínimo del 80 %. Se determinó una dosificación de aditivo de mejorador de adherencia de 0.5 %, de acuerdo al rango establecido por la ficha técnica, presente en el Anexo 9. Después se ensayó el Lottman Modificado, obteniendo un resultado por encima de lo mínimo solicitado de 80 %. En la Tabla 27, se muestra el diseño de la mezcla asfáltica en caliente y en la Tabla 28, se muestran los parámetros de diseño de la mezcla asfáltica en caliente.

Tabla 27

Diseño de mezcla asfáltica en caliente.

Diseño de mezcla asfáltica en caliente	
Piedra Chancada < 3/4"	44.50%
Arena Chancada < 1/4"	55.50%
Filler (Cal hidratada)	1.00%
Ligante asfáltico PEN 120/150	6.70%
Aditivo de mejorador de adherencia	0.50%

Tabla 28

Parámetros de diseño de la mezcla asfáltica en caliente

Descripción	Unidad	Tabla 423-06 EG-2013	Diseño	Condición
Compactación, número de golpes	%	75	75.00	Cumple
Vacíos de Aire	%	3-5%	3.00	Cumple
Vacíos de agregado Mineral (V.M.A.)	%	Mín. 14	14.80	Cumple
Flujo	0.01 pulg	8-14	12.87	Cumple
Estabilidad	kg	Mín. 831 kg	975.00	Cumple
Relación Estabilidad/Flujo	kg/cm	1700-4000	2982.00	Cumple
Relación Polvo/Asfalto		0.6-1.3	1.16	Cumple
Resistencia retenida	%	75	91.30	Cumple
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	%	80 Mín.	88.50	Cumple

Nota. Adaptado de “Revisión del diseño de mezcla asfáltica en caliente” (p. 7), por E. López, (2018), CSP.

Estos parámetros físicos y mecánicos fueron determinados en obra. Para esta presente investigación tiene la finalidad de utilizar dichos datos como base, netamente académico y proceder con la verificación de los parámetros mecánicos con el contenido óptimo de ligante \pm 0.3% de la dosificación óptima del asfalto. Asimismo, a partir de la composición de la mezcla asfáltica en caliente, se realizaron las variaciones necesarias para proceder con los ensayos de las mezclas asfálticas tibia. Se procedió a identificar y trasladar los insumos de planta de asfalto a laboratorio. Figuras 30 al 35.

Figura 30

Temperatura de la piedra chancada, 8.3 °C.



Figura 31

Piedra chancada



Figura 32

Temperatura de la arena chancada, 9.0 °C



Figura 33

Arena chancada



Figura 34

Filler o llenante, Cal hidratada.



Figura 35

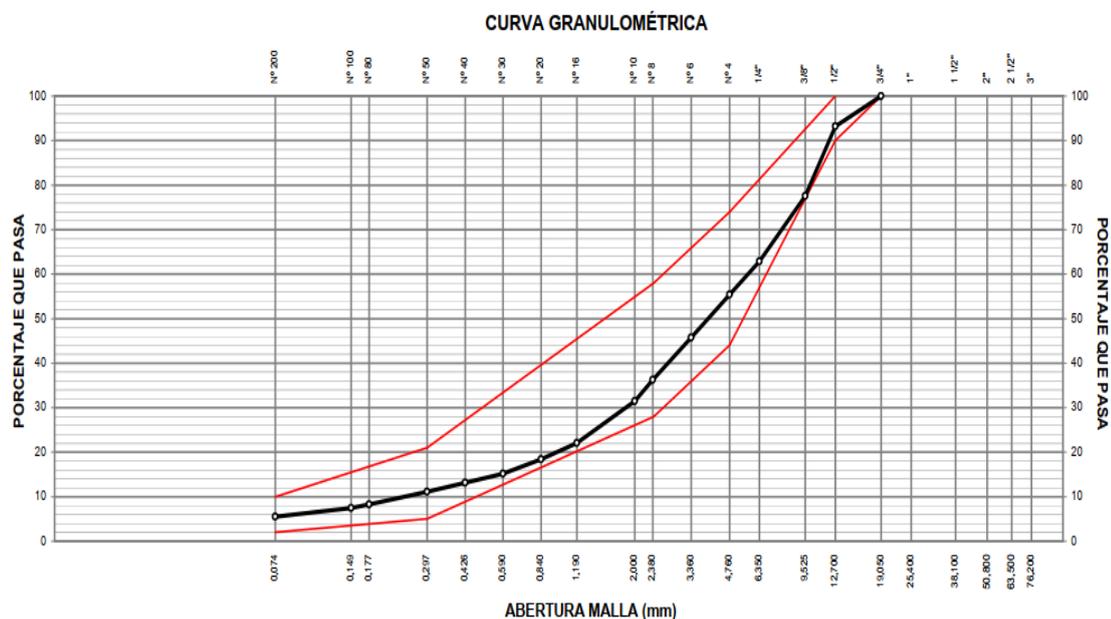
Tanques de ligante asfáltico PEN 120/150



Una vez recolectado y trasladado los insumos se procedió a realizar la combinación de agregados, previo secado en horno, para verificar la gradación de la mezcla de acuerdo a los porcentajes indicados en la Tabla 27, teniendo en la Figura 36, que la granulometría se ajusta al Huso granulométrico D-5 ASTM D3515.

Figura 36

Curva Granulométrica de la combinación de agregados D-5 ASTM D 3515.



Luego de verificado la gradación para la elaboración de la mezcla asfáltica, en la Figura 37, se preparan las muestras de 1 200 gr, para la elaboración de las briquetas de concreto asfáltico.

Figura 37

Combinación agregados y peso de la muestra.



Una vez pesado, se ingresa al horno a temperatura de fabricación de la mezcla asfáltica, luego en la Figura 38, se adiciona el aditivo de mejorador de adherencia a 0.50 % en el ligante asfáltico y luego, se vierte el contenido óptimo de asfalto 6.70 % conjuntamente con el mejorador de adherencia en la gradación de la mezcla. El pesaje del contenido óptimo de asfalto fue de $1200 \text{ gr} \times 6.70 \% = 80.4 \text{ gr}$.

Figura 38

Adición del mejorador de adherencia en el ligante asfáltico y su posterior mezcla con los áridos.



Luego en la Figura 39, se procede con el mezclado de la mezcla asfáltica en caliente, hasta obtener todos los agregados recubiertos por el ligante asfáltico. A continuación, se muestra la temperatura de mezclado que se encuentra en el rango de 141-145 °C, de acuerdo a la carta de viscosidad vs temperatura del PEN 120/150.

Figura 39

Mezclado del asfalto en caliente y temperatura de fabricación.



Luego del mezclado de los agregados con el ligante asfáltico, en la Figura 40, se coloca un papel no absorbente del tamaño del diámetro del molde y se procede a verter el contenido en el molde y se chusea fuertemente la mezcla 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en

el centro para su posterior compactación, con una energía por impacto de un total de 75 golpes en ambas caras de la muestra.

Figura 40

Colocación de la mezcla en el molde y se compacta la mezcla a 75 golpes, ambas caras.



Después de la compactación, las briquetas deberán enfriarse a temperatura ambiente. Se prepararon 03 briquetas que tendrán el mismo diseño de mezcla, caracterización de áridos, contenido de asfalto y temperatura de compactación. Es por ello que para esta verificación de mezcla asfáltica se prepararon las briquetas para el contenido óptimo de asfalto de 6.7 % y \pm 0.3 %, ósea para 6.4 %, 6.7 % y 7.0 % donde los parámetros mecánicos oscilaron dentro de ese rango. Siendo un total de 09 briquetas a ensayar, Figura 41. Luego se realizó la medida del espesor y el peso específico bulk de cada briqueta por el método ASTM D 2726, que se trabajará con la balanza hidrostática, Figura 42.

Figura 41

Contenido óptimo de asfalto de 6.7 % y \pm 0.3 %, en total 09 briquetas.



Figura 42
Balanza hidrostática.



Luego, en la Figura 43, se procede en llevar las briquetas a baño maría a una temperatura de 60 °C, por 30 minutos, procediendo después en la colocación de cada briqueta en la máquina de carga y con un dial para la lectura del flujo Marshall, la carga máxima medida fue la estabilidad Marshall.

Figura 43
Baño maría a 60 °C y su posterior ensayo de estabilidad y flujo.



Este procedimiento se realizó para la verificación de la mezcla asfáltica en caliente con un contenido óptimo de asfalto de $6.70 \% \pm 0.3 \%$, en la Tabla 29, se muestran los parámetros mecánicos del ensayo Marshall.

Tabla 29

Parámetros mecánicos del ensayo Marshall.

Descripción	Unidad	Mezcla Asfáltica en Caliente Temperatura de 145 °C			Tabla 423-06 EG-2013
		6.40	6.70	7.00	
Contenido óptimo de Asfalto	%	6.40	6.70	7.00	
Vacíos de Aire	%	3.50	2.90	2.50	3-5%
Vacíos de agregado Mineral (V.M.A.)	%	15.20	15.30	15.30	Mín. 14
Flujo	0.01 pulg	12.70	13.30	14.00	8-14
Estabilidad	kg	1132.17	1257.36	1327.67	Mín. 831 kg
Relación Estabilidad/Flujo	kg/cm	3521.00	3730.00	3734.00	1700-4000
Relación Polvo/Asfalto		1.00	1.00	0.90	0.6-1.3

Estos resultados, fueron realizados para una mezcla asfáltica en caliente a través del ensayo Marshall, cuya mezcla de agregados son de 44.50 % de piedra chancada, 54.50 % de arena chancada, 1.0 % de filler (cal hidratada), 0.50 % aditivo mejorador de adherencia y un

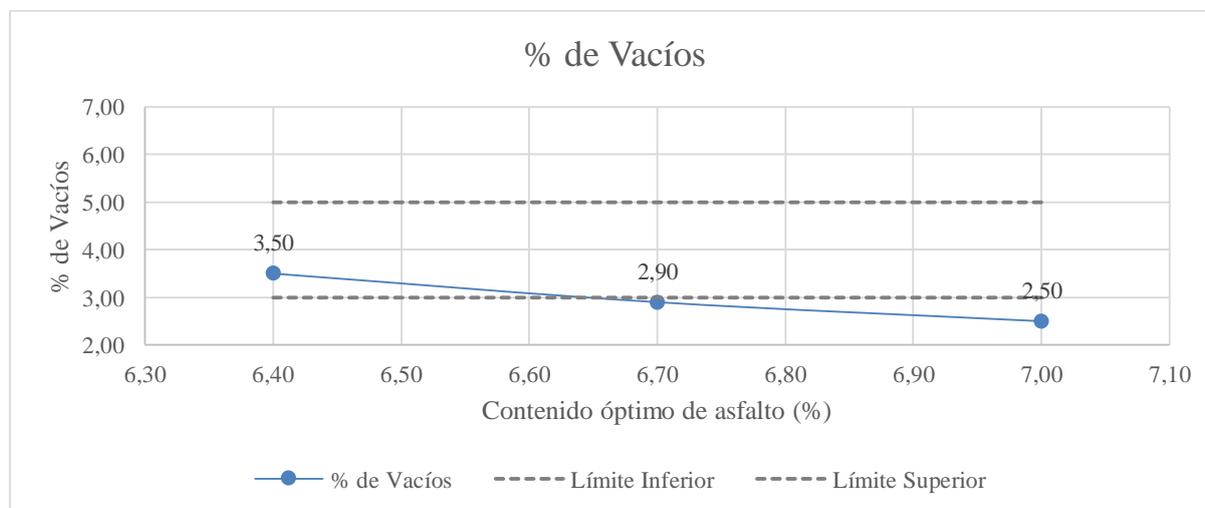
ligante asfáltico clasificado por su penetración PEN 120/150 con un porcentaje óptimo de contenido de asfalto de $6.70\% \pm 0.30\%$ y a una temperatura de fabricación de $145\text{ }^{\circ}\text{C}$ y su posterior compactación en laboratorio.

Evaluando los resultados del ensayo Marshall, el contenido de asfalto de 6.40% se encuentra en los rangos establecidos por las EG-2013, el contenido de asfalto de 6.70%, se encuentran en los rangos establecidos por las EG-2013 pero el porcentaje de vacíos de aire tiene una variación de 0.1% debido a errores en su preparación o redondeos de decimales, se puede dar como válido. Siendo del contenido de asfalto de 7.0 % que se aleja del rango por el porcentaje de vacíos de aire de 2.50 %, teniendo una variación de 0.50 %.

De acuerdo a los resultados de la verificación de la mezcla asfáltica en caliente se observa, en la Figura 44, que el rango permitido por las EG-2013 es de 3 a 5 % y que el porcentaje de vacíos decrece a medida que se aumenta el contenido de asfalto. Lo que indica que los vacíos presentes en la mezcla asfáltica, son ocupados por el ligante asfáltico.

Figura 44

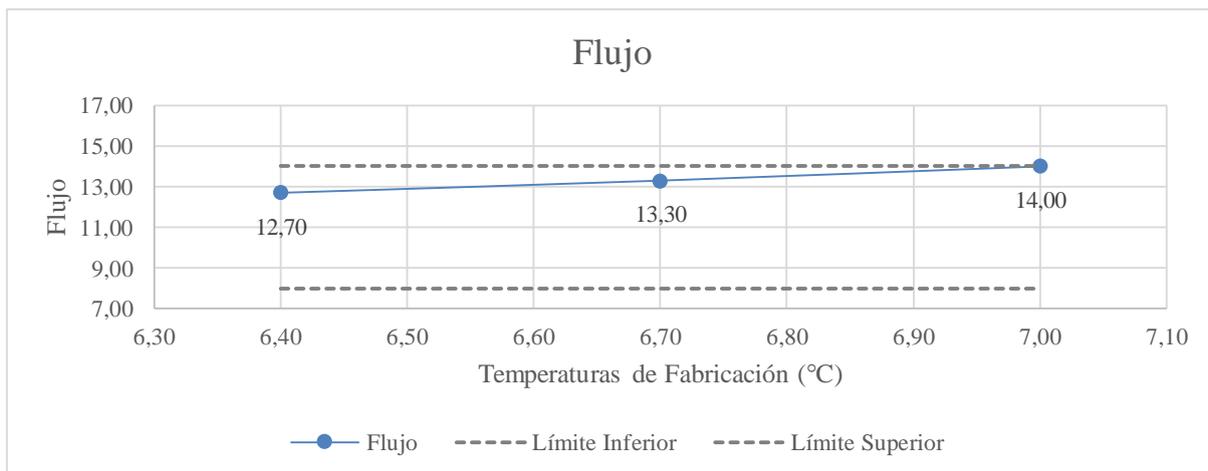
Porcentaje de vacíos, MAC.



De acuerdo a los resultados de la verificación de la mezcla asfáltica en caliente, se observa, en la figura 45, que el parámetro del flujo aumenta a mayor contenido de asfalto, dando mayores propiedades de deformación a la mezcla asfáltica.

Figura 45

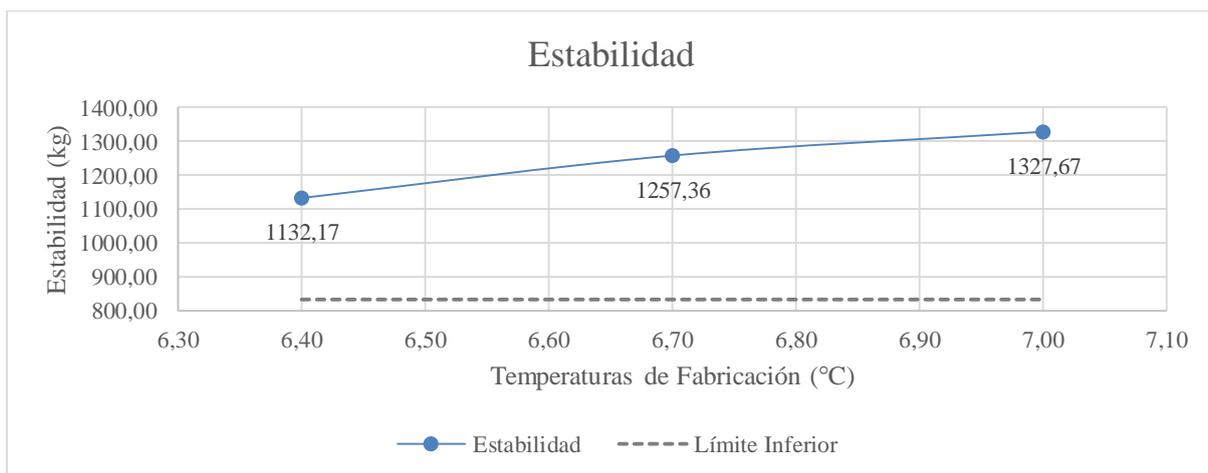
Flujo, MAC.



De acuerdo a los resultados de la verificación de la mezcla asfáltica en caliente, se observa, en la Figura 46, que la estabilidad va en aumento cuando el contenido de asfalto crece.

Figura 46

Estabilidad, MAC.

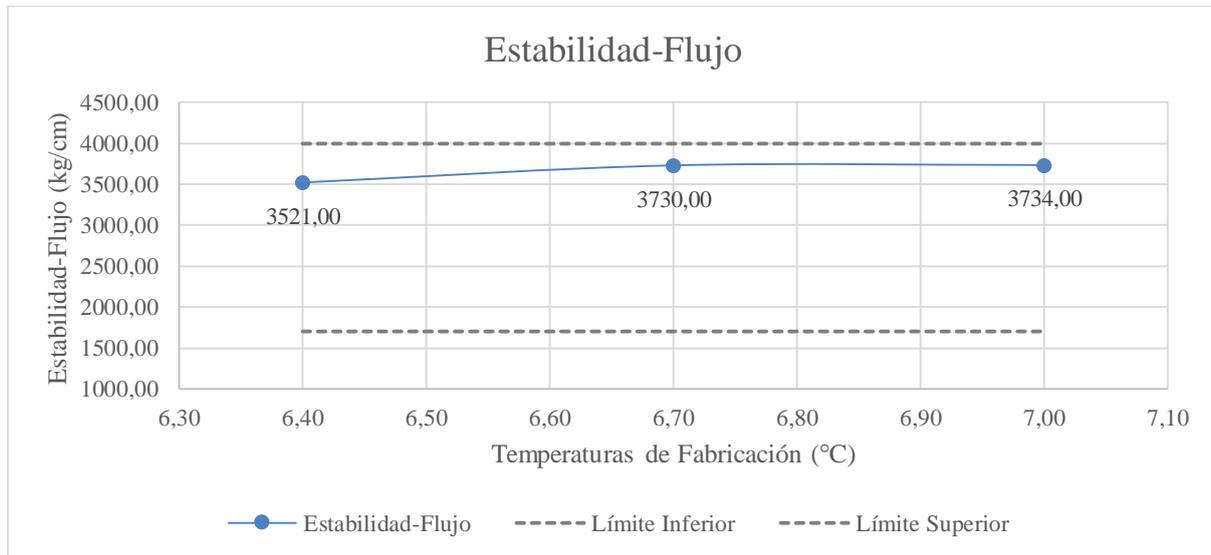


De acuerdo a los resultados de la verificación de la mezcla asfáltica en caliente, se observa, en la Figura 47, que la estabilidad-flujo va en aumento. Esta relación también denominado índice de rigidez, indica que la mezcla asfáltica va perdiendo su propiedad

viscoelástica, entrando al estado sólido-elástico, lo que sería perjudicial en zonas altoandinas de alto gradiente térmico.

Figura 47

Estabilidad-Flujo, MAC.



Establecido la verificación de la mezcla asfáltica en caliente y comprobado con las exigencias de las EG-2013, se procede con la preparación de las mezclas asfálticas tibias con adición de tensoactivo, teniendo como base la composición de la mezcla asfáltica en caliente disminuyendo un componente, como sigue a continuación. De acuerdo a la ficha técnica del aditivo tensoactivo, recomienda una dosificación entre un rango de 0.25 % a 0.50 % del peso del cemento asfáltico, también permite reducir la temperatura entre 30 a 40 °C y como beneficio el tensoactivo actúa como un mejorador de adherencia ofreciendo una resistencia a la acción del agua, esta característica del tensoactivo se puede corroborar en el marco teórico de la presente investigación donde varios autores describen dicho beneficio referente a la adherencia, lo cual se comprobará en el apartado del Resultado 3. La ficha técnica del aditivo tensoactivo se encuentra en el Anexo 9.

Por tal motivo, para la presente investigación, en la composición de la mezcla asfáltica en caliente se retiró el uso del aditivo de mejorador de adherencia y se trabajó con el aditivo tensoactivo con el fin de determinar y verificar el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica tibia a diferentes temperaturas de compactación. Se trabajó para esta investigación con una reducción de temperatura como máximo del 30 °C y con una dosificación de tensoactivo de 0.30 % y 0.50 %.

Las temperaturas reducidas de trabajo, fueron disminuidas a una razón de 10 °C a partir de la temperatura de fabricación de la mezcla asfáltica en caliente de 145 °C, de acuerdo a la carta de viscosidad del ligante asfáltico. Teniendo las temperaturas reducidas para la mezcla asfáltica tibia de 135, 125 y 115 °C.

En la Tabla 30, se presenta el diseño de la mezcla asfáltica tibia con una dosificación

de tensoactivo de 0.30 % y en la Tabla 31 con una dosificación de tensoactivo de 0.50 %. En la Tabla 32, se indica las temperaturas reducidas a trabajar.

Tabla 30

Diseño de mezcla asfáltica tibia con tensoactivo al 0.30 %.

Diseño de mezcla asfáltica tibia	
Piedra Chancada < 3/4"	44.50 %
Arena Chancada < 1/4"	55.50 %
Filler (Cal hidratada)	1.00 %
Ligante asfáltico PEN 120/150	6.70 %
Aditivo tensoactivo	0.30 %

Tabla 31

Diseño de mezcla asfáltica tibia con tensoactivo al 0.50 %

Diseño de mezcla asfáltica tibia	
Piedra Chancada < 3/4"	44.50 %
Arena Chancada < 1/4"	55.50 %
Filler (Cal hidratada)	1.00 %
Ligante asfáltico PEN 120/150	6.70 %
Aditivo tensoactivo	0.50 %

Tabla 32

Temperaturas de fabricación

Asfalto	T1 °C	T2 °C	T3 °C
PEN 120/150 + Tensoactivo 0.30 %	115	125	135
PEN 120/150 + Tensoactivo 0.50 %	115	125	135

4.1.5 Análisis del Resultado 2

De las Tablas 30, 31 y 32, se procede con el trabajo en laboratorio en la elaboración, mezclado y compactación de las briquetas.

En la figura 48, se muestra cómo se inició el mezclado de los áridos piedra chancada,

arena chancada y filler (cal hidratada). Luego, se realizó el pesaje del aditivo tensoactivo, a partir del ligante asfáltico. Como sigue, el peso del ligante asfáltico + vaso precipitado fue de 514.2 g, restando el peso del vaso precipitado de 215.3 gr, se tiene un peso neto del ligante de 298.90 gr. Luego, multiplicando con la dosificación necesaria del aditivo tensoactivo de 0.30 %, se obtiene 0.90 gr. (redondeado). Luego adicionando los 0.90 gr de aditivo al vaso precipitado, se tiene un peso total de $514.2+0.90= 515.10$ gr.

El siguiente procedimiento es desarrollado para el ligante asfáltico PEN 120/150 con aditivo tensoactivo a 0.30 %, el cual es igual al procedimiento adicionando el aditivo tensoactivo a 0.50 % al ligante asfáltico.

Figura 48

Mezcla de áridos y adición del tensoactivo en el ligante asfáltico.



Luego, se distribuye el ligante asfáltico con el aditivo tensoactivo en vasos precipitados y son ingresados conjuntamente con lo áridos en los hornos a las temperaturas de 115, 125 y 135 °C, ver Figura 49.

Figura 49

Colocación de los componentes en horno a 115, 125 y 135 °C.



Después de haber llegado a la temperatura deseada, en la Figura 50, se procede con la adición del ligante asfáltico con el tensoactivo incluido con la finalidad que sean mezclados y compactados a la temperatura deseada, en las figura51, se muestran las temperaturas con que fueron mezcladas.

Figura 50

Adición del ligante asfáltico con el aditivo tensoactivo en los áridos.



Figura 51

Mezcla asfáltica tibia a 115, 125 y 135 ° C.



Luego, en la Figura 52, se procede a la compactación de cada muestra, con una energía por impacto de 75 golpes a cada cara de la briqueta. En las Figuras 53 y 54, se muestra el producto de la compactación por cada temperatura reducida y por cada dosificación de

tensoactivo, en nuestro caso de 0.30 % y 0.50 %, respectivamente.

Figura 52

Proceso de compactación.



Figura 53

Briquetas fabricadas a temperaturas de 115,125 y 135 °C, con tensoactivo 0.3 %.





Figura 54

Briquetas fabricadas a temperaturas de 115, 125 y 135 °C, con tensoactivo de 0.50 %.



Luego, los especímenes una vez compactadas se dejan enfriar a temperatura ambiente y se procede con la toma de datos de cada briqueta, peso al aire, peso en el agua y peso del secado en agua. Después, en la Figura 55, las briquetas son colocadas en baño maría a 60 °C por media hora y luego son colocadas en la máquina de carga para observar y tomar datos de su resistencia a la carga monotónica.

Figura 55

Briquetas en baño maría a 60 °C y posterior colocación en la máquina de carga.



Este procedimiento se realizó para el ligante asfáltico PEN 120/150 con aditivo tensoactivo de 0.30 % y 0.50 %, en la Tabla 33 y 34, se muestran los parámetros mecánicos del ensayo Marshall para cada dosificación de tensoactivo.

Tabla 33

Parámetros mecánicos Marshall con tensoactivo a 0.30%

Descripción	Unidad	115 °C	125 °C	135 °C	Tabla 423-06 EG-2013
Contenido óptimo de Asfalto	%	6.70	6.70	6.70	
Contenido de aditivo tensoactivo	%	0.30	0.30	0.30	
Vacíos de Aire	%	9.20	7.00	3.30	3-5%
Vacíos de agregado Mineral (V.M.A.)	%	21.10	19.10	15.80	Mín. 14
Flujo	0.01 pulg	18.30	16.30	13.30	8-14
Estabilidad	kg	863.50	913.70	1288.60	Mín. 831 kg
Relación Estabilidad/Flujo	kg/cm	1856.00	2204.00	3809.00	1700-4000
Relación Polvo/Asfalto		0.90	0.90	1.00	0.6-1.3

Tabla 34

Parámetros mecánicos Marshall con tensoactivo 0.50 %.

Descripción	Unidad	115 °C	125 °C	135 °C	Tabla 423-06 EG-2013
Contenido óptimo de Asfalto	%	6.70	6.70	6.70	
Contenido de aditivo tensoactivo	%	0.50	0.50	0.50	
Vacíos de Aire	%	6.80	3.60	3.40	3-5%
Vacíos de agregado Mineral (V.M.A.)	%	19.00	16.10	15.80	Mín. 14
Flujo	0.01 pulg	16.00	13.70	13.00	8-14
Estabilidad	kg	902.80	1244.70	1306.70	Mín. 831 kg
Relación Estabilidad/Flujo	kg/cm	2221.00	3590.00	3957.00	1700-4000
Relación Polvo/Asfalto		0.90	1.00	1.00	0.6-1.3

Estos resultados fueron obtenidos por medio del ensayo Marshall para una mezcla asfáltica tibia, con temperaturas y dosificaciones variables dejando como constantes los porcentajes de áridos; 44.50 % de piedra chanca, 54.50 % de arena chancada y 1.00 % de filler (cal hidratada) y el contenido óptimo del ligante asfáltico 6.70 % clasificado por su penetración PEN 120/150.

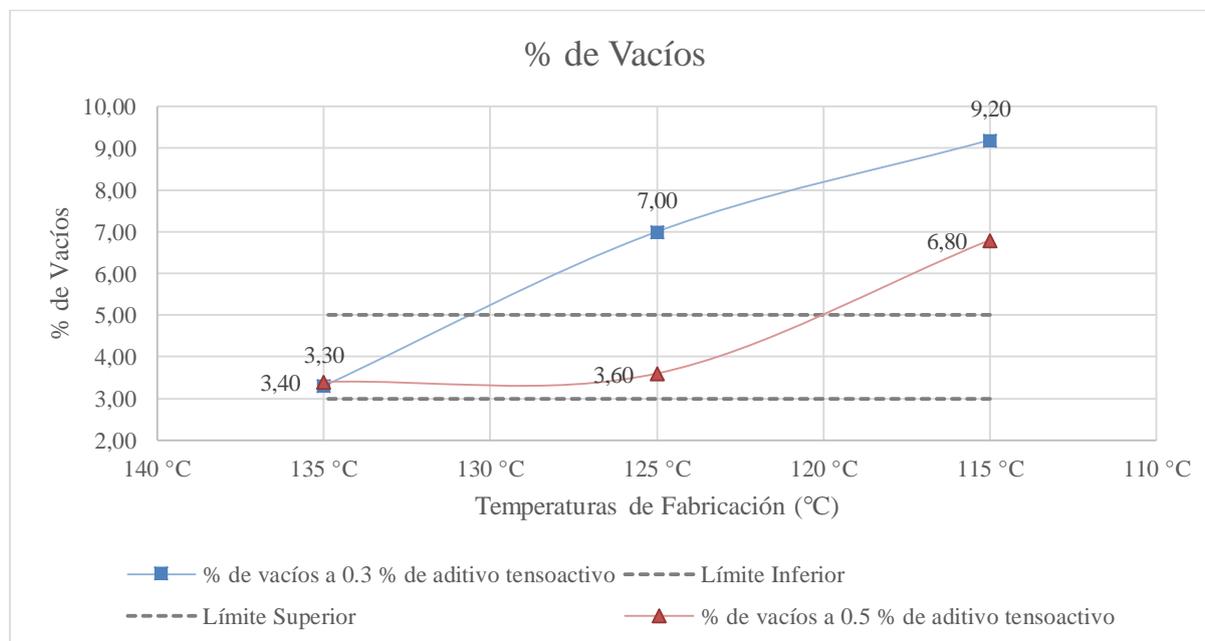
Dichos resultados fueron graficados para observar el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica tibia con las diferentes temperaturas reducidas y dosificaciones de tensoactivo.

De acuerdo a la Figura 56, se muestra el porcentaje de vacíos de aire que de acuerdo a las EG-2013, el rango exigido es de 3 - 5 %. Con la disminución de las temperaturas de fabricación y compactación, los porcentajes de vacíos tienen un comportamiento creciente en ambas dosificaciones de tensoactivo. Con el aditivo tensoactivo a 0.30 %, tenemos que el porcentaje de vacíos a la temperatura de 135 °C, se encuentra dentro del rango de las EG-2013, mientras que el porcentaje de vacíos a las temperaturas de 125 y 115 °C, no cumplen con los parámetros exigidos. Con el aditivo tensoactivo a 0.50 %, se observa que el porcentaje de vacíos a las temperaturas de 135 y 125 °C cumplen con lo solicitado de las EG-2013, mientras

que los vacíos a la temperatura a 115 °C, no cumple con los requisitos de las EG-2013.

Figura 56

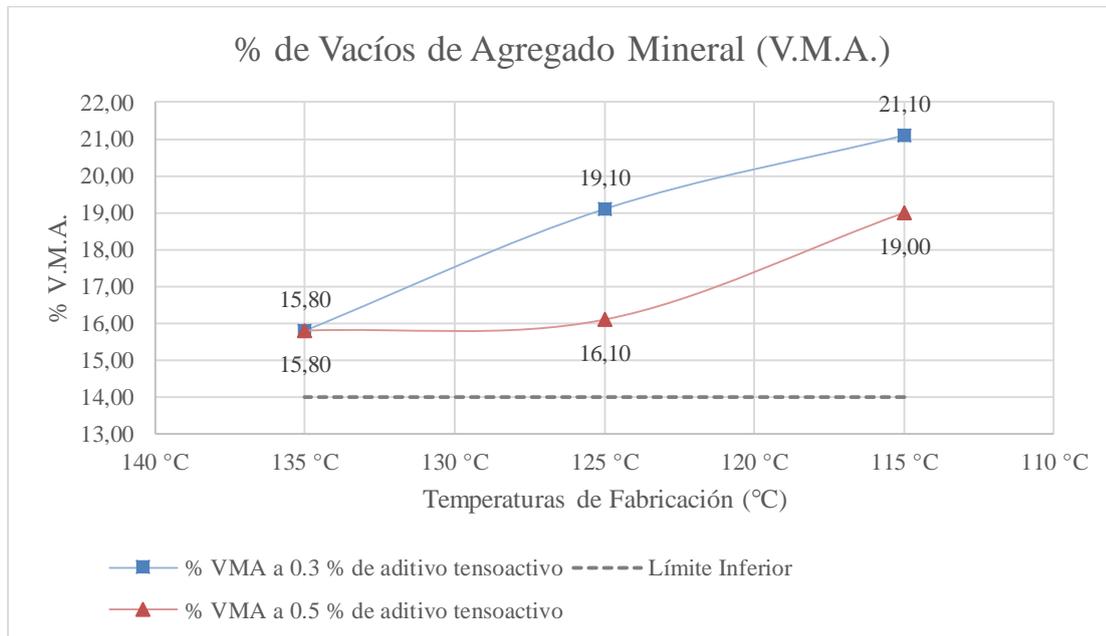
Porcentaje de vacíos, MAT.



De acuerdo a la Figura 57, se muestra el porcentaje de vacíos de agregado mineral que de acuerdo a las EG-2013 debe ser superior al 14 %. Con la disminución de las temperaturas de fabricación y compactación, los porcentajes de vacíos de agregado mineral tiene un comportamiento creciente en ambas dosificaciones de tensoactivo. Con el aditivo tensoactivo a 0.30 %, tenemos que el porcentaje de vacíos de agregado mineral a la temperatura de 135, 125 y 115 °C, cumple con lo mínimo exigido en las EG-2013. Con el aditivo tensoactivo a 0.50 %, se observa que el porcentaje de vacíos de agregado mineral a las temperaturas de 135, 125 y 115 °C cumple con los requisitos exigidos por las EG-2013.

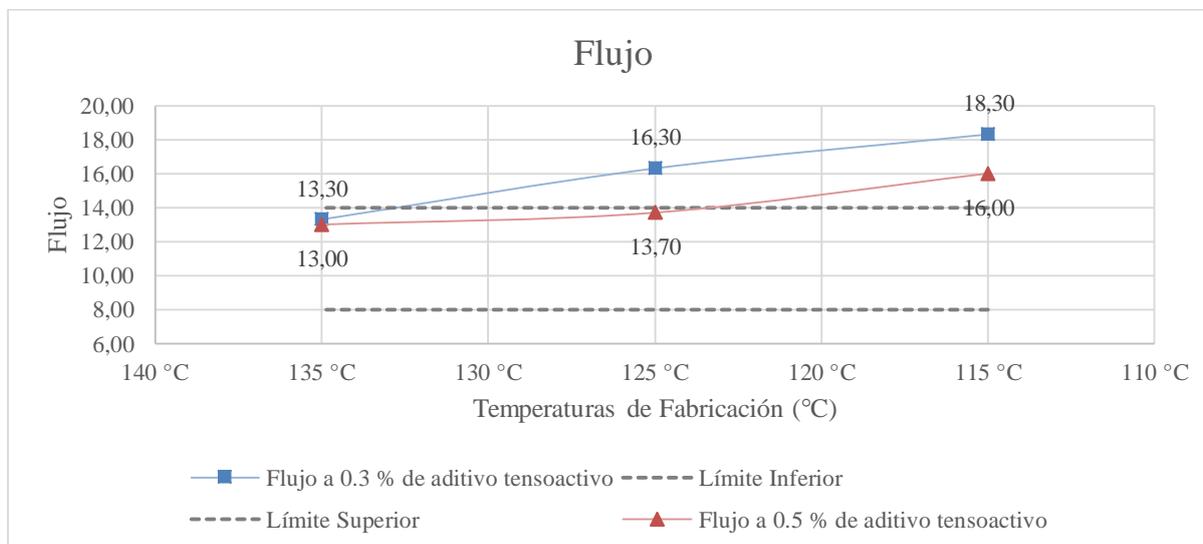
Figura 57

Porcentaje de vacíos de agregado mineral, MAT.



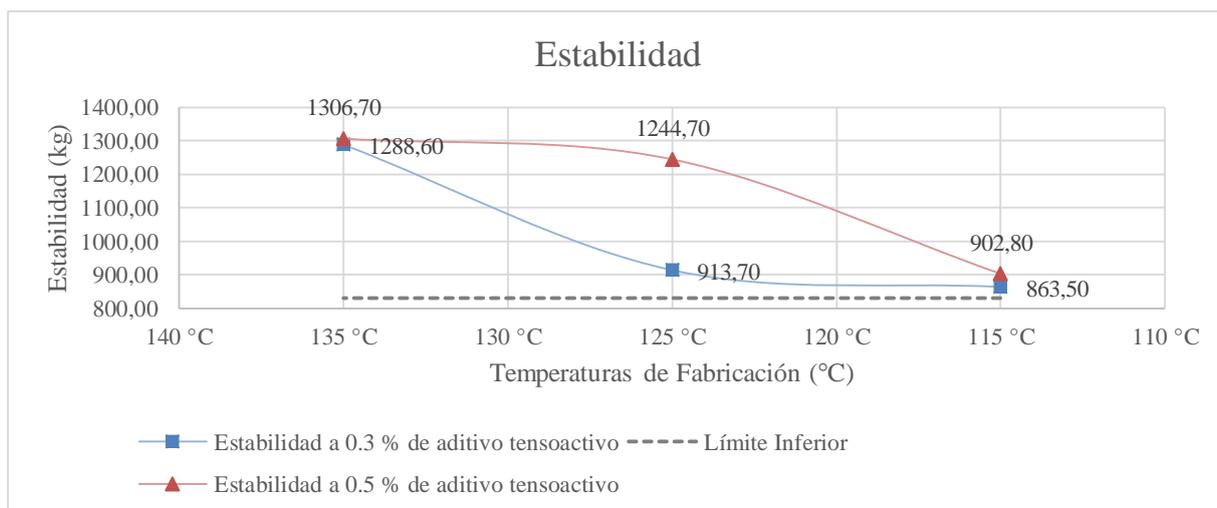
De acuerdo a la Figura 58, se muestran valores de flujo por cada temperatura, que de acuerdo a las EG-2013 estos valores se deben de encontrar en el rango de 8-14 (0.01 pulg.). Con la disminución de las temperaturas de fabricación y compactación, el flujo tiene un comportamiento creciente en ambas dosificaciones de tensoactivo. Con el aditivo tensoactivo a 0.30 %, tenemos que el flujo a temperatura de 135 °C, cumple con lo solicitado por las EG-2013, mientras que el flujo a las temperaturas de 125 y 115 °C, no cumplen con los parámetros exigidos. Con el aditivo tensoactivo a 0.50 %, tenemos que el flujo a las temperaturas de 135 y 125 °C, cumplen con el rango exigido de las EG-2013, mientras que el flujo a la temperatura de 115 °C, no cumple con los requisitos exigidos.

Figura 58
Flujo, MAT.



De la Figura 59, se muestran valores de la Estabilidad que de acuerdo a las EG-2013 estos valores no deben ser menores que 831 kg. Con la disminución de las temperaturas de fabricación y compactación, la estabilidad tiene un comportamiento decreciente en ambas dosificaciones de tensoactivo. Con el aditivo tensoactivo a 0.30 %, tenemos que la Estabilidad a las temperaturas de 135, 125 y 115 °C cumplen con lo exigido por las EG-2013. Con el aditivo tensoactivo a 0.50 %, tenemos que la Estabilidad a las temperaturas de 135, 125 y 115 °C, cumplen con lo exigido por las EG-2013.

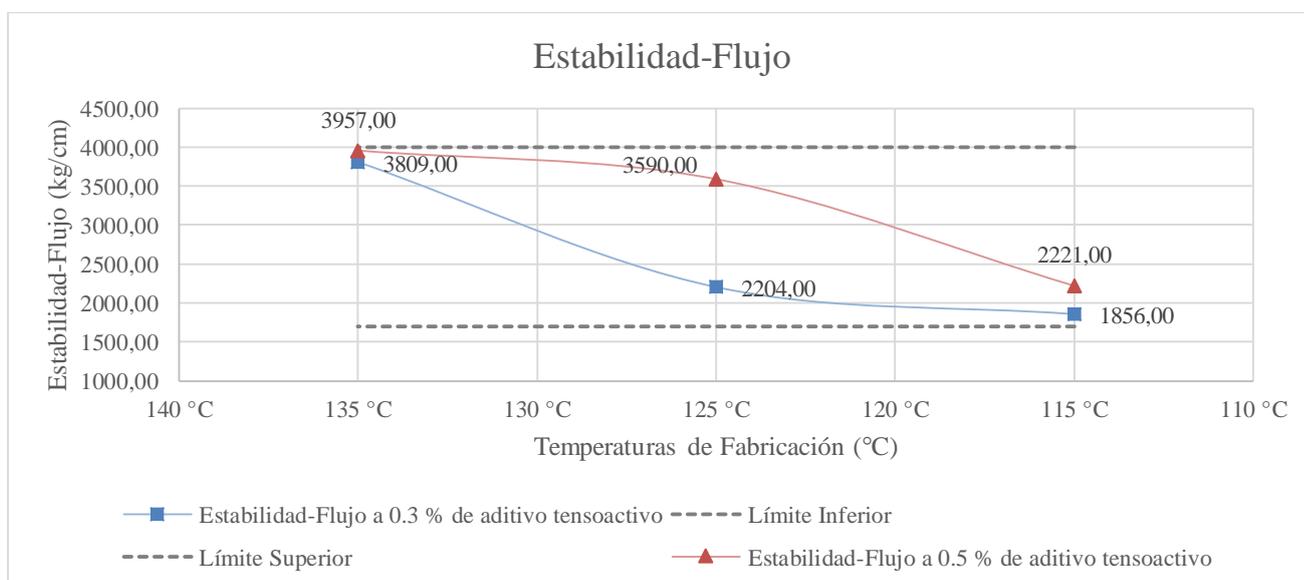
Figura 59
Estabilidad, MAT.



De la Figura 60, se muestran los valores de Estabilidad-flujo que de acuerdo a las EG-2013 estos valores deben de encontrarse en el rango de 1700-4000 kg/cm. Con la disminución de temperaturas de fabricación y compactación, la Estabilidad-flujo tiene un comportamiento decreciente en ambas dosificaciones de tensoactivo. Con el aditivo tensoactivo a 0.30 %, tenemos que la Estabilidad-flujo a las temperaturas de 135, 125 y 115 °C cumplen con lo estipulado por las EG-2013. Con el aditivo tensoactivo a 0.50 %, tenemos que la Estabilidad-flujo a las temperaturas de 135, 125 y 115 °C, cumplen con lo solicitado por las EG-2013.

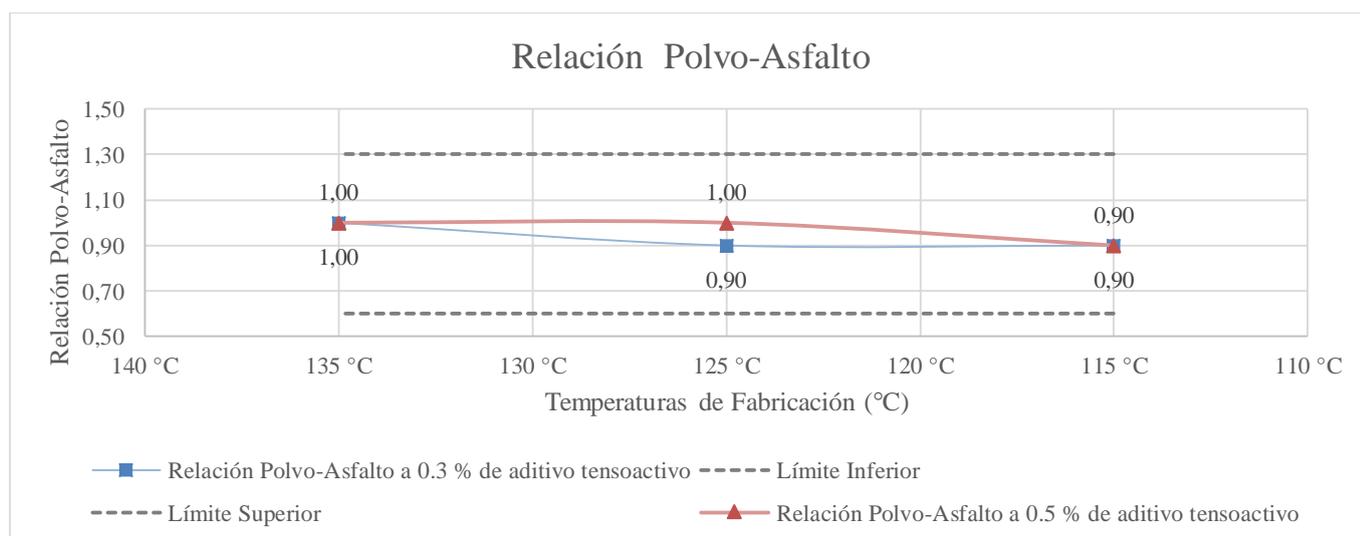
Figura 60

Estabilidad-Flujo, MAT.



En la Figura 61, se muestran los pavores de la relación polvo-asfalto que de acuerdo a lo descrito en las EG-2013, estos valores se deben encontrar en el rango de valores de 0.60-1.3. Con la disminución de las temperaturas de fabricación y compactación, la relación polvo-asfalto tiene un comportamiento casi constante en ambas dosificaciones. Con el aditivo tensoactivo a 0.30 %, tenemos que la relación polvo-asfalto a las temperaturas de 135, 125 y 115 °C, cumplen con lo exigido por las EG-2013. Con el aditivo tensoactivo a 0.50 %, tenemos que la relación polvo-asfalto a las temperaturas de 135, 125 y 115 °C, cumplen con lo solicitado por las EG-2013.

Figura 61
Relación polvo-asfalto



En la Tabla 35, se muestra el resumen de los parámetros mecánicos obtenidos del ensayo del método Marshall, donde se observa que después de analizado las figuras anteriores, se cuentan con 03 alternativas. Con el aditivo tensoactivo a 0.30% y a la temperatura reducida de 135 °C, cumple con los requisitos exigidos por las EG-2013. Con el aditivo tensoactivo a 0.50 % y a las temperaturas reducidas 125 y 135 °C, cumplen con lo estipulado en las EG-2013.

Con estos resultados, se descartan las siguientes alternativas; con aditivo tensoactivo a 0.30 % y 0.50 % ambos a la temperatura de 135 °C, porque no tendrán un gran impacto en reducir solo 10 °C respecto a la mezcla asfáltica en caliente que tiene una temperatura de 145 °C. También que estas alternativas tienen una alta relación de Estabilidad-flujo, debido a que en zona altoandina el índice de rigidez se recomienda que no se encuentre en el límite superior, en comparación a la alternativa con tensoactivo de 0.50 % y a una temperatura de 125 °C, ver Tabla 36, ofrece un mayor rango de reducción de temperaturas. Asimismo, se escogió u optó por una mayor dosificación de tensoactivo de 0.50 % con el fin de determinar una mayor resistencia al daño por humedad inducida ya que uno de los beneficios del aditivo tensoactivo es que actúa como mejorador de adherencia entre el ligante asfáltico y los áridos a la acción del agua, lo cual se comprobó en el apartado del Resultado 3.

Tabla 35

Resumen de los parámetros mecánicos de la mezcla asfáltica tibia

Descripción	Und	Mezcla asfáltica tibia						Tabla 423-06 EG-2013
		Aditivo tensoactivo a 0.30 %			Aditivo tensoactivo a 0.50 %			
		115 °C	125 °C	135 °C	115 °C	125 °C	135 °C	
Contenido óptimo de Asfalto	%	6.70	6.70	6.70	6.70	6.70	6.70	
Aditivo tensoactivo	%	0.30	0.30	0.30	0.50	0.50	0.50	
Vacíos de Aire	%	9.20	7.00	3.30	6.80	3.60	3.40	3-5%
Vacíos de agregado Mineral	%	21.10	19.10	15.80	19.00	16.10	15.80	Mín. 14
Flujo	0.01 pulg	18.30	16.30	13.30	16.00	13.70	13.00	8-14
Estabilidad	kg	863.50	913.70	1288.60	902.80	1244.70	1306.70	Mín. 831 kg
Relación Estabilidad/Flujo	kg/cm	1856	2204	3809	2221	3590	3957	1700-4000
Relación Polvo/Asfalto		0.90	0.90	1.00	0.90	1.00	1.00	0.6-1.3

Tabla 36

Comparación de los parámetros mecánicos entre la MAC y MAT.

Descripción	Unidad	M.A.C. en	M.A.T.	Tabla 423-06 EG-2013	Variación (%)
		laboratorio	Aditivo tensoactivo a 0.5 %		
		145 °C	125 °C		
Contenido óptimo de Asfalto	%	6.70	6.70		
Contenido de aditivo tensoactivo	%	-	0.50		
Vacíos de Aire	%	2.90	3.60	3-5%	24.14
Vacíos de agregado Mineral	%	15.30	16.10	Mín. 14	5.23
Flujo	0.01 pulg	13.30	13.70	8-14	3.01
Estabilidad	kg	1257.36	1244.70	Mín. 831 kg	-1.01
Relación Estabilidad/Flujo	kg/cm	3730.00	3590.00	1700-4000	-3.75
Relación Polvo/Asfalto		1.00	1.00	0.6-1.3	0.00

4.1.6 Análisis del Resultado 3

De los resultados obtenidos en la Tabla 35 y de la dosificación de tensoactivo y temperatura reducida escogida en la Tabla 36, se procede a determinar si esta mezcla asfáltica tibia cumple con la resistencia del ligante asfáltico y de los áridos a la acción del agua, a la temperatura reducida de 125 °C para zonas en altura mayores a los 3 000 m.s.n.m., por ello se realizó el ensayo del método estándar para la resistencia de las mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad, de acuerdo a la normativa ASTM D 4867 (Lottman modificado).

El procedimiento a seguir es como se ha venido explicando en los análisis anteriores, ver Figura 62, de acuerdo al diseño de mezcla asfáltica tibia, Tabla 31. Se procede con la mezcla de los áridos, piedra chancada, arena chancada, filler, luego la adición del ligante asfáltico y el aditivo tensoactivo y a la temperatura de fabricación y compactación de acuerdo a la Tabla 36.

Figura 62

Mezclado y compactación de los especímenes a temperatura de 125 °C.



De acuerdo a la metodología del ensayo, se procedió en la Figura 63, con la obtención del número de golpes a un porcentaje de vacíos entre 6 a 8% siguiendo la metodología Marshall para la preparación de briquetas. Para ello, se prepararon los especímenes y se compactaron en ambas caras a diferentes números de golpes y se determinó los porcentajes de vacíos.

Figura 63

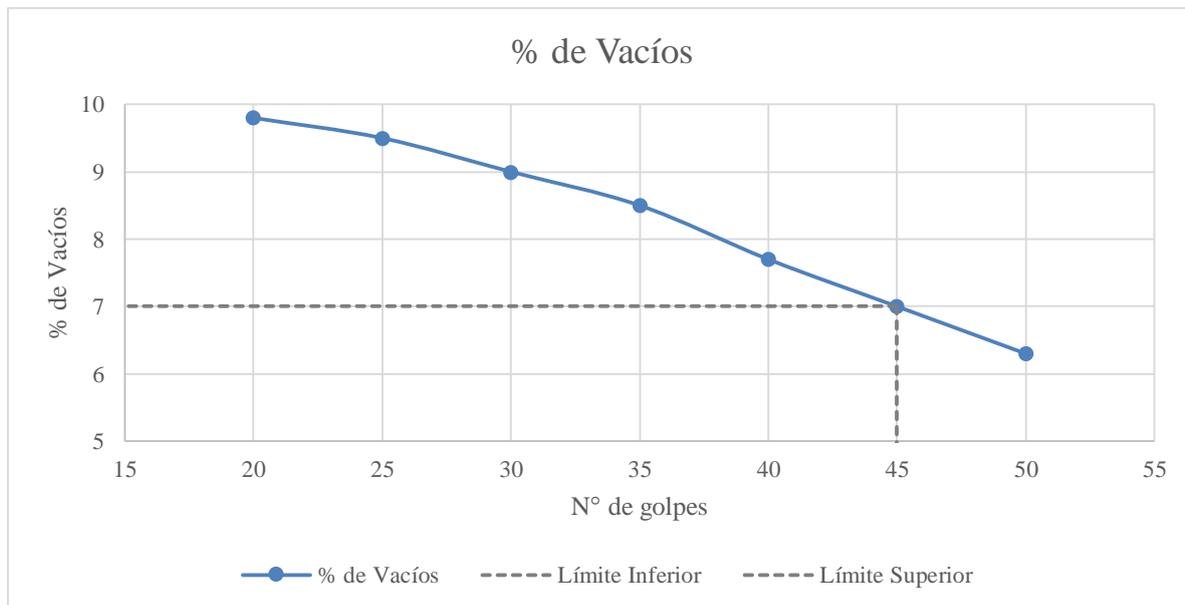
Compactación de especímenes a 20-25-30-35-40-45-50 golpes



En la Figura 64, se muestran los 7 escenarios que se realizaron para la obtención de los números de golpes, se determinó que a 45 golpes resulta un porcentaje de vacíos a 7%.

Figura 64

Curva de golpes



En la Figura 65, se muestra el resultado de la preparación de 06 especímenes con 45 golpes en ambas caras de la briqueta, de las cuales 03 de ellas fueron estudiadas a temperatura ambiente en la máquina de carga, Figura 66, mientras que las otras 03 pasarán por un ciclo de congelamiento-deshielo.

Figura 65

Especímenes compactados a 45 golpes



Figura 66

Especímenes de condición seca en máquina de carga.



Luego, las 03 briquetas restantes son preparadas para ser sometidas al primer ciclo de congelamiento a una temperatura de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 16 horas. Ver Figura 67.

Figura 67

Especímenes preparados para el ingreso al congelador.



En la Figura 68, las briquetas pasaron al siguiente ciclo de deshielo en baño maría a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, luego los especímenes son aperturadas de sus envolturas para su posterior pesaje.

Figura 68

Especímenes en baño maría y su posterior apertura.



Los especímenes son llevadas a la máquina de carga, Figura 69, para determinar su resistencia, después de haber pasado por los ciclos de congelamiento-deshielo. En la figura 70, se muestran los especímenes después del ensayo de compresión diametral, viendo físicamente las briquetas en condición seca y condición húmeda, estas no muestran áridos sin recubrir ni desprendimientos de gran relevancia, en la condición húmeda no se muestra restos de humedad significativa.

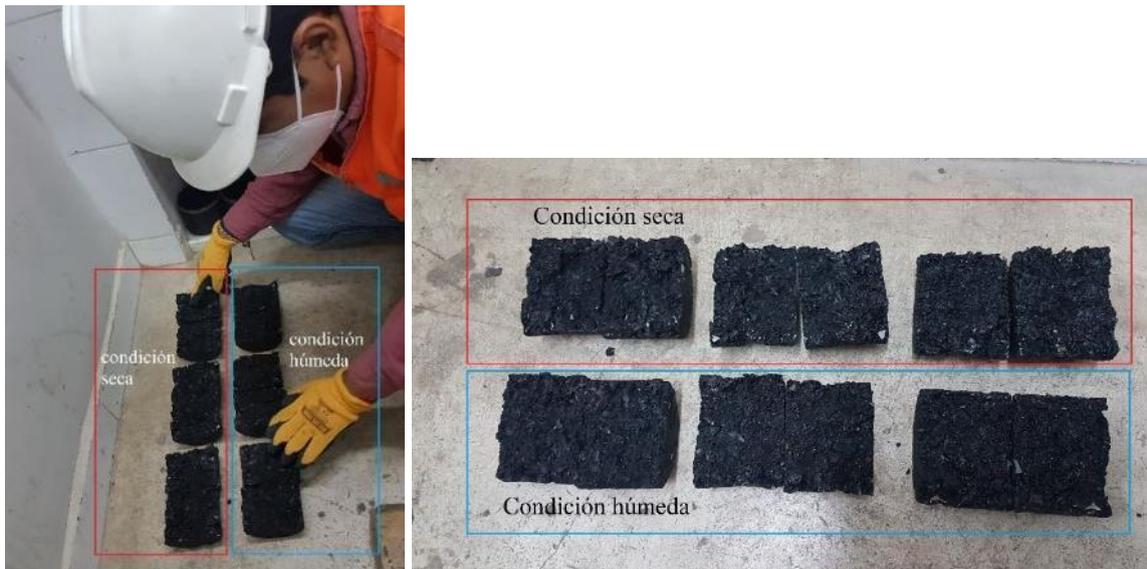
Figura 69

Especímenes en condición húmeda en la máquina de carga



Figura 70

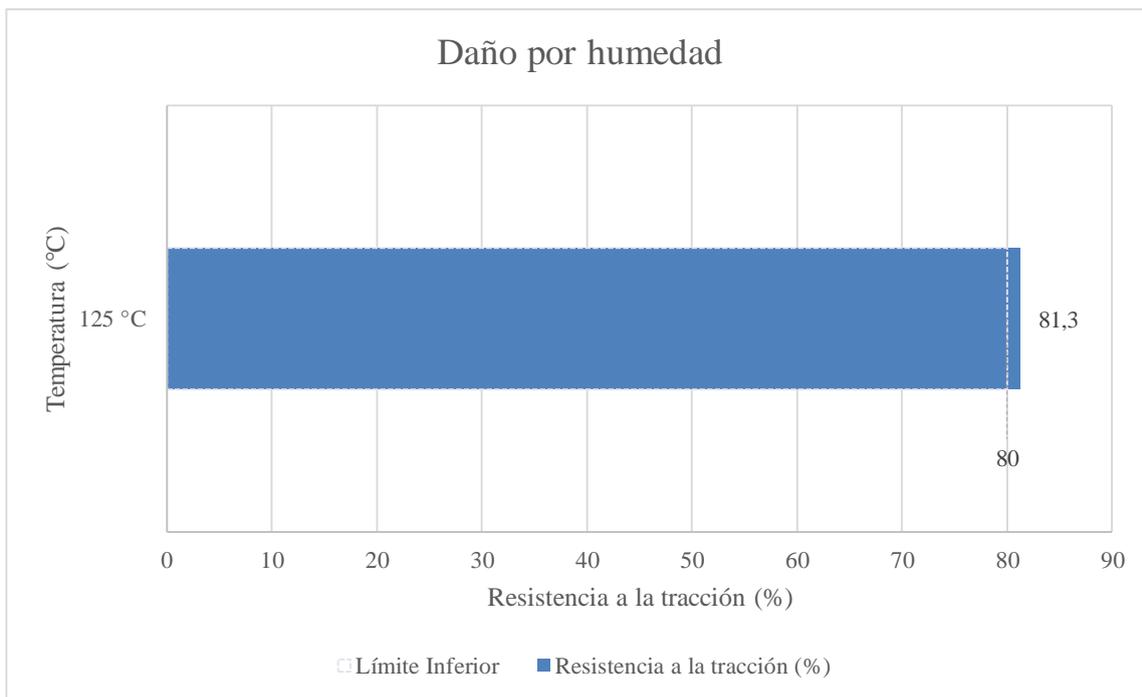
Especímenes después del ensayo a compresión diametral.



En la Figura 71, se muestran los resultados gráficamente en barras, donde la mezcla asfáltica tibia a una temperatura de compactación reducida de 125 °C tiene una resistencia al daño por humedad de 81.30 %, cumpliendo con la resistencia mínima de 80 % de acuerdo a las EG-2013. Mostrando un funcionamiento adecuado en la adherencia del par ligante-árido en el ensayo de resistencia por tracción indirecta, cumpliendo con los ciclos de congelamiento-deshielo

Figura 71

Gráfica de resistencia al daño inducido por humedad.



4.3 Contrastación de hipótesis

Después de haber llevar a cabo los procedimientos y obtenido los resultados de la investigación se procede a realizar la contrastación de hipótesis.

La primera hipótesis específica es: Una mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo optimiza su comportamiento térmico de compactación en zona altoandina. De acuerdo al diseño de la mezcla asfáltica en caliente Tabla 27, se retiró el mejorador de adherencia y se adicionó el aditivo tensoactivo, teniendo el diseño en la Tabla 31 que, de acuerdo al marco teórico, estos aditivos no modifican la viscosidad sino disminuyen la tensión superficial del ligante asfáltico facilitando el recubrimiento de los áridos, reduciendo la energía que se necesitaría para envolverlos, mejorando la trabajabilidad a temperaturas reducidas en un rango de 30 a 40 °C, optimizando su temperatura de compactación. Esta reducción de temperatura no exime en evaluar el comportamiento mecánico de la mezcla a diferentes temperaturas dependiendo de la zona climática en la que se encuentre.

Por lo tanto, la primera hipótesis específica es correcta, una mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo optimiza su comportamiento térmico de compactación en zona altoandina.

La segunda hipótesis específica es: La mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo mejora su comportamiento físico a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina. Realizando la comparación de las propiedades físicas y mecánicas del método Marshall, tanto para la mezcla asfáltica en caliente como para la mezcla asfáltica tibia de acuerdo a la Tabla 34. Se tiene que el porcentaje de vacíos es de 3.60 %, de acuerdo a Menéndez J. (2016), de acuerdo a sus recomendaciones de mezclas asfálticas en climas fríos y en altura, indica que, los vacíos deberían tener valores alrededor del 4% con la finalidad que al entrar en servicio se llegue a un porcentaje de 3% y no encontrarnos con valores por debajo del mínimo ya que se producirán ahuellamientos. En el porcentaje de los vacíos de agregado mineral existe un leve

crecimiento a 16.10 %. De acuerdo a Menéndez J. (2016), recomienda que estos vacíos deberían estar en el orden superior del 15 % con el fin de tener más vacíos para el ligante asfáltico, manteniendo características físico-mecánicas de la mezcla asfáltica. Con respecto a la estabilidad y flujo hay una variación no relevante de 3.01 % y -1.01 %, dentro de los parámetros exigidos. La relación estabilidad/flujo conocido como índice de rigidez tiene una variación de -3.75% con un valor de 3 590 kg/cm, menor que la mezcla asfáltica en caliente y de acuerdo a la recomendación de las EG-2013 en zonas de clima frío es deseable que esta relación sea la menor magnitud posible.

Por lo tanto, la segunda hipótesis es correcta, la mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo mejora su comportamiento físico a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina.

La tercera hipótesis específica es: La mezcla tibia con aditivo tensoactivo mejora su comportamiento al daño por humedad inducida a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina. De acuerdo al marco teórico, se indica que el aditivo tensoactivo trabaja como lubricante entre el ligante asfáltico y los agregados, también existe una mejoría de la cohesión y la adherencia. Para verificar si el tensoactivo actúa como un mejorador de adherencia se realizó el ensayo de Resistencia al daño por humedad inducida de acuerdo a la normativa ASTM D 4867 (Lottman modificado). Obteniendo un resultado de 81.3% de resistencia a la tracción y de acuerdo a las EG-2013 cumple con el parámetro exigido, ver Figura 71.

Por lo tanto, la tercera hipótesis es correcta, la mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo mejora su comportamiento al daño por humedad inducida a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina, en referencia al parámetro mínimo exigido del 80 % en las EG-2013.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

1. En la presente investigación el tensoactivo utilizado permite la reducción de temperaturas de trabajo entre 30 a 40 °C. De acuerdo a los resultados de los parámetros físico mecánicos se determinó que la MAT con una temperatura de compactación de 125 °C y con una dosificación de tensoactivo 0.50 %, cumple con lo exigido por las EG-2013. Manteniendo un comportamiento mecánico adecuado, inclusive mejorando su comportamiento térmico de compactación. Teniendo un rango de temperatura de compactación de hasta 20°C. Considerando un ahorro referente al consumo de combustible y energía y evitando mayores emisiones de gases tóxicos al medio ambiente.
2. De acuerdo a los ensayos realizados, se determinó una mezcla asfáltica tibia con una dosificación de 0.50 % y una temperatura de compactación de 125 °C cuyos parámetros físicos mecánicos, como indicado, se mantienen mejorando el índice de rigidez en 3.75 %, a bajas temperaturas de compactación, cumpliendo con los parámetros exigidos por las EG-2013.
3. La MAT con aditivo tensoactivo de dosificación de 0.50 % y una temperatura de compactación de 125 °C, tuvo un resultado de 81.3 % del ensayo de resistencia a la tracción indirecta, demostrando una aportación en la adherencia entre el ligante asfáltico y los áridos a la acción de agua en ciclos de congelamiento-deshielo, superando la relación de 80% exigido por las EG-2013, lo cual es clave para un buen funcionamiento en altitudes de climas extremos como la carretera examinada a una altura de más de 4 000 m.s.n.m., considerándose un ahorro referente al aditivo de adherencia.

4. La mezcla asfáltica tibia con aditivos tensoactivos, en esta investigación, garantiza el comportamiento de los parámetros mecánicos a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina. Mejorando el índice de rigidez, evitando el deterioro prematuro del concreto asfáltico. Asimismo, teniendo como ventajas, un mayor rango de horario de trabajo, reducción de la oxidación del asfalto, trabajabilidad, reducción de gases, ahorro de combustible y disminuyendo los riesgos de salud del personal expuestos a gases y temperaturas menores del material.

Recomendaciones

1. Se recomienda realizar los siguientes ensayos para completar y evaluar su comportamiento mecánico, como la medición de la resistencia al ahuellamiento, mediante el ensayo de rueda de Hamburgo, medición de la resistencia a la fatiga sometidas a flexión y la medición del módulo resiliente y otros ensayos que los próximos investigadores creen convenientes. Asimismo, se recomienda la adición de polímeros conjuntamente con el aditivo tensoactivo para evaluar la durabilidad de la mezcla asfáltica, en condiciones climáticas altoandinas.
2. Se recomienda ensayar los especímenes a diferentes dosificaciones del tensoactivo dentro del rango recomendado del aditivo y reduciendo la variación de temperatura, cada 5° C con el fin de obtener resultados más detallados del comportamiento de la mezcla asfáltica.
3. Los especímenes de laboratorio en estudio fueron compactados por el martillo Marshall, utilizando una energía por impacto, por ello se recomienda para futuros ensayos a ejecutar que la compactación sea utilizando una energía por amasado realizado por un compactador giratorio, ya que este recreará o simulará las condiciones de amasado en la compactación en pista, optimizando la medición del comportamiento mecánico a bajas temperaturas de compactación. Además, se recomienda también utilizar el método Superpave con el fin de comparar resultados y caracterizar el ligante asfáltico por performance grade.
4. Se recomienda analizar el grado de adherencia del ligante y los áridos a la acción de agua a varias dosificaciones del tensoactivo. Asimismo, se recomienda en próximas investigaciones tratar de realizar los ensayos en la zona del proyecto con la finalidad de que la composición y la elaboración de las mezclas se encuentren referidas a las condiciones

climáticas y entorno de la obra.

Referencias bibliográficas

Agnusdei, J. et al. (2010). *Trabajabilidad de mezclas asfálticas preparadas a bajas temperaturas*. Comisión. Permanente del Asfalto.

Álvarez A. et al. (2012). *Estructura interna de mezclas asfálticas tibias compactadas en laboratorio*. Revista Dyna, Nro 172, pp. 38-45.

Álvarez A. et al. (2013). *Evaluación de laboratorio de la compactibilidad y el desempeño de mezclas asfálticas tibias*. Revista EIA, Nro 19, pp. 111-121.

Álvarez A. et al. (2013). *Comparación de las características de los vacíos en diferentes tipos de mezclas asfálticas en caliente*. Revista Chilena de Ingeniería-Ingeniare, N° 01, Vol. 22, pp. 74-87.

Baoyang Y. et al. (2013). *Research of fatigue behavior of asphalt pavement materials with WMA and RAP*. Applied Mechanics and Materials.

Bisio, A. (2010). *Nuevas Tecnologías en mezclas asfálticas*. Comisión Permanente del Asfalto.

Conrado H. et al. (2012). *Diseño de mezcla asfáltica tibia a partir de la mezcla de asfalto y aceite crudo de palma*. Revista Dyna, Edición 179, pp. 99-108.

Cutti. E. (2019). *Aceites vegetales para reducción de temperatura de mezcla y su efecto en las*

propiedades mecánicas de mezclas asfálticas tibias para el diseño de la Av. Leoncio Prado Chilca-Huancayo 2019 [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6968>

Daguerre, L. et al. (2019). *Estudio de comportamiento en laboratorio de mezclas asfálticas tibias con incorporación de RAP*. Universidad Nacional de la Plata.

Escobar, P. y Tunala, A. (2019). *Comparación del comportamiento de mezclas asfálticas tibias (WMA) y mezclas asfálticas en caliente (HMA) con agregados de la mina de Guayllabamba* [Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/17645>

Especificaciones Técnicas Generales para Construcción. (2013). *Pavimentos flexibles*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Flores, R. y Rojas, J. (2019). *Comportamiento de las mezclas asfálticas tibias adicionando tensoactivos y sus beneficios respecto a las mezclas asfálticas en caliente* [Tesis de Pregrado, Universidad Ricardo Palma]. <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2642>

Garnica, P. et al. (2004). *Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas*. Instituto Mexicano del Transporte.

Garnica, P. et al. (2005). *Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas*. Instituto Mexicano del Transporte.

- Gil, S. et al. (2010). *Estudio del ángulo de contacto de betunes aditivados y su efecto sobre distintas propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas*. ASEFMA.
- Gonzalez, J. et al. (2008). *Innovación de mezclas tibias de asfalto*. Comisión Permanente del Asfalto.
- Grgich, J. y Quagliata, E. (2008). *Análisis estadístico de resultados de ensayos de pavimentos asfálticos según la norma ASTM D 6927-06*. Comisión permanente del Asfalto.
- Gutiérrez, A. (2013). *Aplicación de mezclas asfálticas tibias en México*. VIII Congreso Mexicano del Asfalto.
- Higuera, C. (2010). *Diseño de estructuras de pavimentos en afirmado*. *Revista facultad de Ingeniería Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*. Recuperado de <https://doaj.org/article/7287f8d4e00442fb886bf07ed6a1c52f>.
- Hong Z. et al. (2013). *Construction technology of warm mix retardant asphalt mixture*. *Applied Mechanics and Materials* Vols. 361-363 (2013) pp 1477-1483.
- Huamán, N. (s.f.). *Tecnología del Asfalto* [Diapositiva PowerPoint].
- Lazo, G. (2017). *Procesamiento y colocación de mezcla tibia con aditivos*. Concurso de Innovación COSAPI.
- Lopera, C. y Córdoba, J. (2013). *Diseño de mezcla asfáltica tibia a partir de la mezcla de asfalto y aceite crudo de palma*. Dyna.

Manual de ensayos de materiales. (2016). *Mezclas Bituminosas*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Marceliano, L. y Sandoval, L. (2021). *Propuesta de una carpeta Warm Mix Asphalt con adición de caucho reciclado para mejorar la respuesta de las vías en intersecciones urbanas ante los efectos de congestión y sobrecarga vehicular. Caso: Jr. García Naranjo y Av. Mendoza Merino, en el Distrito de La Victoria, Lima* [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <http://hdl.handle.net/10757/656758>

Marcozzi, R. y Morea, F. (2011). *Mezclas asfálticas semicalientes elaboradas con aditivos tensoactivos - Estudios comparativos del comportamiento mecánico respecto a las mezclas en caliente convencionales*. Ciencia y Tecnología de los Materiales.

Márquez, G. et al. (2006). *Influencia de asfaltenos y resinas en la viscosidad de petróleos bituminosos utilizables como pinturas asfálticas de imprimación*. Materiales de Construcción.

Menéndez, J. (2016). *Ingeniería de Pavimentos*. Instituto de la Construcción y Gerencia.

Minaya, S. y Ordóñez, A. (2006). *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos*. Universidad Nacional de Ingeniería.

Nosetti, R. et al. (2008). *Evaluación del daño por humedad de las mezclas recicladas en frío mediante el ensayo de tracción indirecta*. Comisión Permanente del Asfalto.

Ortiz, A. (2021). *Evaluación del impacto del uso de RAP en las propiedades de mezclas asfálticas tibias con tecnología de espumado* [Tesis de Maestría, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito]. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1561>

Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente Serie de Manuales N° 22 (MS-22). (s.f). Asphalt Institute.

Ramírez, A. (2021). *Evaluación de la resistencia a la fatiga en mezclas asfálticas tibias mediante la viga de flexión a cuatro puntos* [Tesis de Maestría, Universidad Michoacanga de San Nicolás de Hidalgo]. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/3988

Resistance of compacted asphalt mixtures to moisture-induced damage. (s.f.). AASHTO.

Reyes O. et al. (2008). *Influencia de la granulometría en la resistencia al ahuellamiento de mezclas asfálticas*. Ingeniería y Desarrollo. Universidad del Norte, N° 23, pp. 26-42.

Reyes O. et al. (2013). *Comportamiento de mezclas asfálticas fabricadas con asfaltos modificados con ceras*. Ingeniería y Desarrollo Vol. 31 No 1.

Romero, J. y Valencia, W. (2019). *Evaluación del desempeño mecánico de una mezcla asfáltica tibia modificada con escoria de alto horno estabilizada con un aditivo químico* [Tesis de Maestría, Universidad de Santo Tomás]. <http://hdl.handle.net/11634/23144>

Rondón, H. et al. (2008). *Influencia de las condiciones ambientales de la ciudad de Bogotá*

- sobre la estabilidad y el flujo Marshall de una mezcla densa en caliente. Studiositas.*
- Rondón, H. et al. (2015). *Mezclas asfálticas tibias: revisión desde el punto de vista técnico, económico y ambiental. Ingeniería e Investigación Vol. 35 No 3.*
- Rondón, H. et al. (2015). *Comportamiento de una mezcla asfáltica tibia usando un aditivo químico para espumar el asfalto. Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, No. 78, pp. 129-138.*
- Rondón, H. et al. (2016). *Comportamiento de una mezcla asfáltica tibia fabricada en una planta de asfalto. Ingeniería y Desarrollo. Universidad del Norte.*
- Sánchez, H. y Reyes, C. (2015). *Metodología y Diseños en la Investigación Científica. Business Support Anneth.*
- Sosa, Ruth. (2018). *Propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica tibia aplicando aditivo orgánico, Lima-Perú 2018 [Tesis de Pregrado, Universidad César vallejo].*
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/27309>
- Ulloa A. (2011). *Mezclas asfálticas tibias (MAT). Programa de Infraestructura del Transporte.*
- Vera, J. y Radice, A. (2015). *Mezclas asfálticas sostenibles en las rutas de Lima. Viabilidad y Transporte. 70-77.*
- Xiaoyan S. et al. (2013). *Study on influences of warm-mix agent on SBS modified asphalt mixture. Applied Mechanics and Materials Vols. 361-363 (2013) pp 1805-1810.*

Walubita L. et al. (2012). *Uso de la energía de fractura para caracterizar la resistencia al agrietamiento de mezclas asfálticas a partir del ensayo de tensión directa*. Revista Fac. Ing. Univ. Antioquia, N° 64, pp. 126-137.

Anexos

Anexo 1: Declaración de Autenticidad	195
Anexo 2: Matriz de consistencia	198
Anexo 3: Matriz de operacionalización	199
Anexo 4: Verificación de los parámetros mecánicos de la mezcla asfáltica en caliente	200
Anexo 5: Ensayo del método Marshall para mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo a 0.30 %	210
Anexo 6: Ensayo del método Marshall para mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo a 0.50 %	215
Anexo 7: Ensayo a la resistencia al daño por humedad inducida AASHTO T 283	219
Anexo 8: Certificados de calibración	230
Anexo 9: Certificados de calidad	254

Anexo 1: Declaración de Autenticidad

**CARTA CE N° 003-2021**

Magdalena del Mar, 28 de setiembre del 2021

Sr:

Ing. Kengy Edinson Andagua Mendoza

Av. 30 de Agosto Mz.W-Lt.08, Villa María del Triunfo

LIMA. -Asunto : **AUTORIZACIÓN**Referencia : **Carta N°001-2021/KEAM**

De mi mayor consideración:

Por medio de la presente tengo a bien dirigirme a Ud., en relación a la carta de la referencia, **SE OTORGA EL PERMISO Y/O AUTORIZACIÓN** para la utilización de la información de mi representada para el uso estricto con fines académicos y trabajo de investigación solicitado.

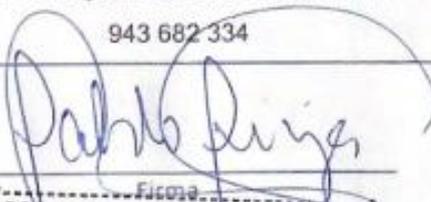
Sin otro particular, quedamos de usted.

Atentamente;



ABOG. PABLO CESAR RIOJA QUEWA
DNI 40327750
REPRESENTANTE LEGAL
DEL CONSORCIO

FORMATO 6: Formato de Autorización para realizar la investigación
CÓDIGO: FARI-06-2020-EPG-UGA

 UNIVERSIDAD RICARDO PALMA		Escuela de Posgrado	
AUTORIZACIÓN PARA REALIZAR LA INVESTIGACIÓN			
DECLARACIÓN DEL RESPONSABLE DEL ÁREA O DEPENDENCIA DONDE SE REALIZARA LA INVESTIGACIÓN			
Dejo constancia que el área o dependencia que dirijo, ha tomado conocimiento del proyecto de tesis titulado:			
Mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo para mejorar el comportamiento mecánico a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina			
el mismo que es realizado por el Sr. / Srta. Estudiante (Apellidos y nombres):			
Andagua Mendoza, Kengy Edinson.			
en condición de estudiante – investigador del Programa de:			
Ingeniería Vial con Mención en Carreteras, Puentes y Túneles			
Así mismo señalamos, que según nuestra normativa interna procederemos con el apoyo al desarrollo del proyecto de investigación, dando las facilidades del caso para aplicación de los instrumentos de recolección de datos.			
En razón de lo expresado doy mi consentimiento para el uso de la información y/o la aplicación de los instrumentos de recolección de datos:			
Nombre de la empresa:		Autorización para el uso del nombre de la Empresa en el Informe Final	
Consortio Supervisor Patahuasi		<input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
Apellidos y Nombres del Jefe/Responsable del área:		Cargo del Jefe/Responsable del área:	
Rioja Cueva, Pablo César		Representante Legal	
Teléfono fijo (incluyendo anexo) y/o celular:		Correo electrónico de la empresa:	
943 682 334		pabloriojac@gmail.com	
 FICSA		10 de Marzo 2022	
1800 - PABLO CESAR RIOJA CUEVA DNI 40327750 REPRESENTANTE LEGAL DEL CONSORCIO		Fecha	

Anexo 2: Matriz de consistencia

Matriz de Consistencia: Mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo para mejorar su comportamiento mecánico a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina.

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Metodología
Problema Principal	Objetivo General	Hipótesis General	Variables Independiente	
¿De qué manera influye en una mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo, su comportamiento mecánico a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina?	Determinar una mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo con la finalidad de mejorar su comportamiento mecánico a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina a través de ensayos de laboratorio.	La mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo mejora su comportamiento mecánico a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina.	Mezcla asfáltica tibia	Tipo de Investigación Descriptivo Método Deductivo Orientación Aplicada Enfoque Cuantitativo Recolección de datos Retrolectivo Nivel de Investigación Descriptivo Diseño de Investigación Experimental Transversal Prospectivo Cohorte
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variable Dependiente	
¿De qué manera una mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo influye en su comportamiento térmico de compactación en zona altoandina?	Determinar una mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo para optimizar su comportamiento térmico de compactación en zona altoandina.	Una mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo optimiza su comportamiento térmico de compactación en zona altoandina.	Comportamiento mecánico	
¿Una mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo influye en su comportamiento físico a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina?	Determinar una mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo para mejorar su comportamiento físico a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina.	La mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo mejora su comportamiento físico a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina.		
¿De qué manera una mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo se relaciona en su comportamiento al daño por humedad inducida a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina?	Determinar una mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo para mejorar su comportamiento al daño por humedad inducida a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina.	La mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo mejora su comportamiento al daño por humedad inducida a bajas temperaturas de compactación en zona altoandina.		

Anexo 3: Matriz de operacionalización

Variables	Definición conceptual de la variable	Dimensiones	Indicadores	Und.	Instrumento	Manuales Técnicos
<u>Variable Independiente</u> Mezcla asfáltica tibia	La mezcla tibia es aquella que mediante el uso de aditivo tensoactivo permite la fabricación y compactación de dichas mezclas a bajas temperaturas.	Mezcla asfáltica tibia	Áridos	%	Dosificación de mezcla tibia	EG-2013
			Cemento asfáltico	%		
			Aditivo tensoactivo	%		
<u>Variable Dependiente</u> Comportamiento mecánico	Es la medición de los parámetros mecánicos que indican la calidad de la mezcla en la fabricación y compactación con los cuales trabajará en su vida útil.	Comportamiento Térmico	Temperatura de compactación	° C	Valores de Temperatura	CARTA DE VISCOSIDAD VS TEMPERATURA
		Comportamiento Físico	Vacíos de aire	%	Ensayo Marshall	AASHTO T-245 MTC E 504
			Vacíos en el agregado mineral (VMA)	%		
			Flujo	pulg.		
			Estabilidad	kg		
Comportamiento al daño por humedad inducida	Estabilidad-Flujo	kg/cm	Ensayo de la resistencia al daño por humedad inducida	AASHTO T-283 ASTM D 4867		

Anexo 4: Verificación de los parámetros mecánicos de la mezcla asfáltica en caliente



Ingenieros S.A.C.
Calle Valladolid 149
Urb. Maycrazaño II Etapa, Ate
Lima, Perú
Teléfono: 01-683-0473 / 683-0476
E-mail: informes@jboingenieros.com

Lima, 19 de febrero de 2022

CARTA N° 025 - 2022 - JBO.gt. -

Atención:
Ing. Kengy Andagua Mendoza

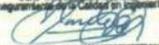
Asunto : Entrega de Informe de Ensayos
Proyecto : "Mezclas Asfálticas Tibias".
Referencia : Solicitud de Servicio N° 011-2022-JBO

De nuestra consideración:

Adjunto al presente, el Informe de ensayo cuyo expediente corresponde al N° 011-2022-JBO (12 folios), con los ensayos de Análisis Granulométrico de Agregados Gruesos y Finos (MTC E 204 – 2016), Verificación de Diseño por El Método Marshall (ASTM D-6927) y Resistencia de Mezclas Asfálticas Compactadas al Daño Inducido por Humedad (MTC E 522 - 2016); efectuado a la muestra identificada como procedente del proyecto: "Mezclas Asfálticas Tibias".

Sin otro particular quedo de Ud.,

Atentamente

JBO INGENIEROS S.A.C.
Auténtico y Controlado en Imprenta

JUAN SERGIO SANCHEZ GUANDO
Gerente Técnico

Exp. N° 011
c.c.:
G. General
Archivo



Ingenieros S.A.C.
Calle Valladolid 149
Urb. Mayorazgo II Etapa, Ate
Lima, Perú
Teléfono: 01-683-0473 / 683-0476
E-mail: informes@jboingenieros.com

EXPEDIENTE N° 011-2022-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Kenry Andagua Mendoza
DIRECCIÓN : Lima
REFERENCIA : Solicitud de Servicio N° 011-2022-JBO
FECHA DE RECEPCIÓN : Lima, 29 de enero del 2022

PROYECTO : Mezclas Asfálticas Tibias
UBICACIÓN : Negromayo - Yauri - San Genaro. Prov. Espinar (Cusco) y Caylloma (Arequipa).
FECHA DE INICIO : Lima, 29 de enero del 2022

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS MTC E 204 - 2016

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Cantera Chalqui
Piedra chancada

PRESENTACIÓN : 03 Sacos de polipropileno.

CANTIDAD : 100 kg aprox.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS					
MALLAS		PESO RETENIDO (g)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASA (%)
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)				
3"	75.000				
2 1/2"	62.500				
2"	50.000				
1 1/2"	37.500				
1"	25.000				
3/4"	19.000				100.0
1/2"	12.500	364.4	15.4	15.4	84.6
3/8"	9.500	828.3	35.0	50.4	49.6
1/4"	6.250	745.4	31.5	81.9	18.1
N° 4	4.750	305.3	12.9	94.8	5.2
N° 6	3.350	23.7	1.0	95.8	4.2
N° 8	2.360	63.9	2.7	98.5	1.5
N° 10	2.000	35.5	1.5	100.0	0.0
N° 16	1.180				
N° 20	0.850				
N° 30	0.600				
N° 40	0.425				
N° 50	0.300				
N° 80	0.177				
N° 100	0.150				
N° 200	0.075				
-200	MTC E 202				

CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

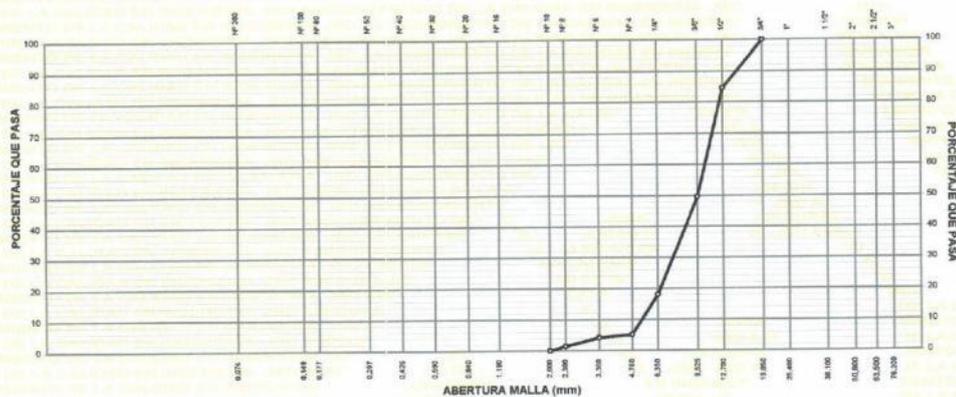
Límite líquido (%) (MTC E 110 - 2016)	:	∞
Límite plástico (%) (MTC E 111 - 2016)	:	∞
Índice plástico (%) (MTC E 111 - 2016)	:	∞
Clasificación SUCS (ASTM D 2487-11)	:	∞
Clasif. para el uso en vías transporte (ASTM D 3282-09)	:	∞

Descripción de la muestra : Agregado grueso

OBSERVACIONES:

Muestra tomada e identificada por el solicitante.

CURVA GRANULOMÉTRICA



Referencia:

-NTP 400 012 / ASTM C 136 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global



VF-002 (01-02-18)

Personal:
-Téc: E.E.A.
-Rev: M.M.F.

Marco Antonio Moreno Flores
MARCO ANTONIO MORENO FLORES
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 176318

Fecha de emisión: Lima, 12 de febrero del 2022

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.



Ingenieros S.A.C.
Calle Valladolid 149
Urb. Mayorazgo II Etapa, Ate
Lima, Perú
Teléfono: 01-683-0473 / 683-0476
E-mail: informes@jboingenieros.com

EXPEDIENTE N° 011-2022-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Keryg Andaguz Mendoza
DIRECCIÓN : Lima
REFERENCIA : Solicitud de Servicio N° 011-2022-JBO

PROYECTO : Mezclas Asfálticas Tibias
UBICACIÓN : Negromayo - Yauri - San Genaro. Prov. Espinar (Cusco) y Caylloma (Arequipa).
FECHA DE RECEPCIÓN : Lima, 29 de enero del 2022
FECHA DE INICIO : Lima, 29 de enero del 2022

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS
MTC E 204 - 2016

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Carriera Chalqui
Arena chancada

PRESENTACIÓN : 03 Sacos de polipropileno.
CANTIDAD : 100 kg aprox.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS					
MALLAS		PESO RETENIDO (g)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASA (%)
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)				
3"	75.000				
2 1/2"	62.500				
2"	50.000				
1 1/2"	37.500				
1"	25.000				
3/4"	19.000				
1/2"	12.500				
3/8"	9.500				100.0
1/4"	6.250	9.8	1.3	1.3	98.7
N° 4	4.750	23.0	3.1	4.4	95.6
N° 6	3.350	125.3	16.9	21.3	78.7
N° 8	2.360	112.7	15.2	36.5	63.5
N° 10	2.000	56.4	7.6	44.1	55.9
N° 16	1.180	128.3	17.3	61.4	38.6
N° 20	0.850	49.7	6.7	68.1	31.9
N° 30	0.600	43.7	5.9	74.0	26.0
N° 40	0.425	28.2	3.8	77.8	22.2
N° 50	0.300	26.7	3.6	81.4	18.6
N° 80	0.177	39.3	5.3	86.7	13.3
N° 100	0.150	10.4	1.4	88.1	11.9
N° 200	0.075	26.7	3.6	91.7	8.3
-200	MTC E 202	61.5	8.3	100.0	-

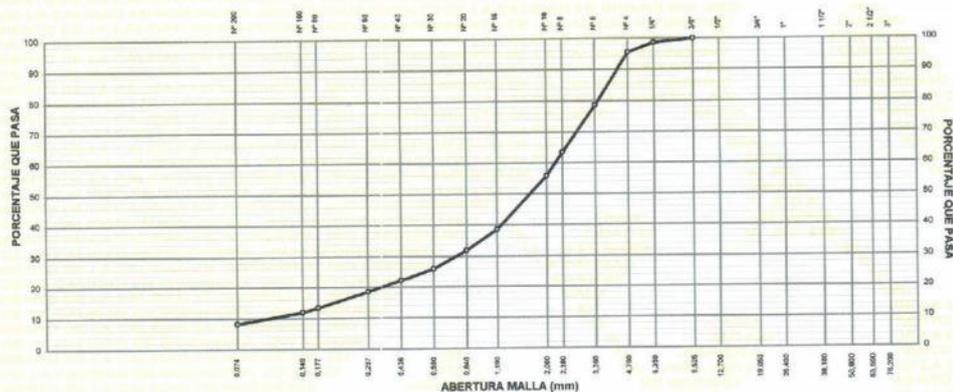
CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

Límite líquido (%) (MTC E 110 - 2016) : --
Límite plástico (%) (MTC E 111 - 2016) : --
Índice plástico (%) (MTC E 111 - 2016) : --
Clasificación SUCS (ASTM D 2487-11) : --
Clasif. para el uso en vías transporte (ASTM D 3282-09) : --

Descripción de la muestra : Agregado fino

OBSERVACIONES:
- Muestra tomada e identificada por el solicitante.

CURVA GRANULOMÉTRICA



Referencia

- NTP 400.012 / ASTM C 136 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global
- NTP 339.129 / ASTM D 4316 SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos
- NTP 400.018 / ASTM C 117 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pesen por el tamiz normalizado 75 µm (N° 200) por lavado de agregados



VF-002 (01-02-18)

Fecha de emisión : Lima, 12 de febrero del 2022

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.

Personal:
- Toc. E.E.A.
- Rev. M.M.F.

**MARCO ANTONIO
MÓRENO FLORES
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 176318**



Ingenieros S.A.C.
Calle Valladolid 149
Urb. Mayorazgo II Etapa, Ate
Lima, Perú
Teléfono: 01-683-0473 / 683-0476
E-mail: informes@jboingenieros.com

EXPEDIENTE N° 011-2022-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Kengy Andagua Mendoza PROYECTO : Mezclas Asfálticas Tibias
DIRECCIÓN : Lima UBICACIÓN : Negromayo - Yauri - San Genaro. Prov. Espinar (Cusco) y Caylloma (Arequipa).
REFERENCIA : Solicitud de Servicio N° 011-2022-JBO FECHA DE INICIO : Lima, 29 de enero del 2022
FECHA DE RECEPCIÓN : Lima, 29 de enero del 2022

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS
MTC E 204 - 2016****REFERENCIAS DE LA MUESTRA**

IDENTIFICACIÓN : Cantera Chalqui

PRESENTACIÓN : 03 Sacos de polipropileno.

CANTIDAD : 100 kg aprox.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS						
SERIE AMERICANA	MALLAS ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASA (%)	HUSO ASTM D 3515 D-5
3"	75.000					
2 1/2"	62.500					
2"	50.000					
1 1/2"	37.500					
1"	25.000					
3/4"	19.000				100.0	100 - 100
1/2"	12.500	173.8	6.9	6.9	93.1	90 - 100
3/8"	9.500	396.0	15.6	22.4	77.6	
1/4"	6.250	373.5	14.7	37.2	62.8	
N° 4	4.750	186.4	7.4	44.6	55.4	44 - 74
N° 6	3.350	244.9	9.7	54.2	45.8	
N° 8	2.360	240.6	9.5	63.7	36.3	29 - 58
N° 10	2.000	122.0	4.8	68.5	31.5	
N° 16	1.180	236.1	9.4	78.0	22.0	
N° 20	0.850	92.6	3.7	81.6	18.4	
N° 30	0.600	81.5	3.2	84.8	15.2	
N° 40	0.425	52.5	2.1	86.9	13.1	
N° 50	0.300	49.8	2.0	88.9	11.1	5 - 21
N° 80	0.177	73.3	2.9	91.8	8.2	
N° 100	0.150	19.3	0.8	92.5	7.5	
N° 200	0.075	49.8	2.0	94.5	5.5	2 - 10
-200	MTC E 202	140.1	5.5	100.0		

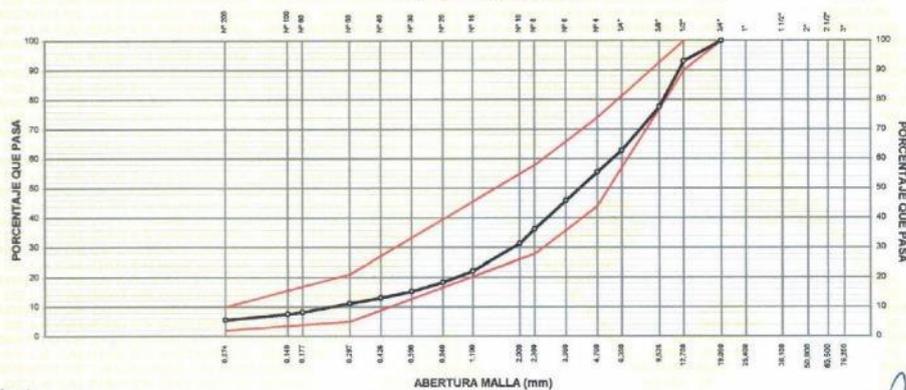
RESUMEN DE ENSAYO

PROPORCIONES DE MEZCLA DE AGREGADOS

(1) Piedra Chancada (Cantera Chalqui) : 44.5 %
(2) Arena Chancada (Cantera Chalqui) : 54.5 %
(4) Filler (Cal Hidratada) : 1.0 %

OBSERVACIONES:

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.
- La cal hidratada fue proporcionada por el solicitante.
- A solicitud del cliente se trabajó con el Huso granulométrico D-5 del ASTM D 3515

CURVA GRANULOMÉTRICA**Referencia:**

- NTP 400.012 / ASTM C 136: AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global
- NTP 400.018 / ASTM C 117: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pesan por el tamiz normalizado 75 µm (N° 200) por lavado de agregados.



Personal
- Téc. E.E.A.
- Rev.: M.M.F.

MARCO ANTONIO MORENO FLORES
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 176318

Fecha de emisión : Lima, 12 de febrero del 2022

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.



Ingenieros S.A.C.
Calle Valladolid 149
Urb. Mayorazgo II Etapa, Ate
Lima, Perú
Teléfono: 01-683-0473 / 683-0476
E-mail: informes@jboingenieros.com

EXPEDIENTE N° 011-2022-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Kengy Andagua Mendoza PROYECTO : Mezclas Asfálticas Tibias
DIRECCIÓN : Lima
REFERENCIA : Solicitud de Servicio N° 011-2022-JBO UBICACIÓN : Negromayo - Yauri - San Genaro, Prov. Espinar (Cusco) y Caylloma (Arequipa).
FECHA RECEPCIÓN : Lima, 29 de enero del 2022 FECHA DE INICIO : Lima, 29 de enero del 2022

VERIFICACIÓN DE DISEÑO POR EL MÉTODO MARSHALL
PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA LA PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO APARATOS MARSHALL
(ASTM D 6926-20)
MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA ESTABILIDAD MARSHALL Y FLUJO DE MEZCLAS BITUMINOSAS (ASTM D 6927-05)

MEZCLA DE AGREGADOS (PROPORCIÓN EN PESO)

Cantera : Chalqui
Piedra chancada : 44.5 %
Arena chancada : 54.5 %
Filler (Cal hidratada) : 1.0 %
T. Máximo : 3/4 pulg

ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA

IDENTIFICACIÓN : Aditivo AR-RED-RADICOTE
DOSIFICACIÓN : 0.5% en peso del Asfalto

LIGANTE BITUMINOSO

TIPO DE ASFALTO : Sólido
CLASIFICACIÓN : PEN 120/150
ORIGEN : --
ÓPTIMO CONT ASFALTO : 6.7 %
TEMP. DE MEZCLA (°C) : 145.0
ADITIVO : AR-Red-Radicote (0.5% en peso del asfalto)

CARACTERÍSTICAS MARSHALL

		75		
N° DE GOLPES				
CONTENIDO DE ASFALTO EN PESO (%)		6.4	6.7	7.0
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³) (ASTM D-1188)		2.333	2.335	2.338
ESTABILIDAD (lb) (ASTM D-1559)		2496	2772	2927
FLUJO (0.01") (ASTM D-1559)		12.7	13.3	14.0
VACÍOS DE AIRE (%) (ASTM D-3203)		3.5	2.9	2.5
VACÍOS AG. MINERAL (V.M.A) (%) (ASTM D-1559)		15.2	15.3	15.3
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (%) (ASTM D-1559)		76.6	81.0	83.5
ABSORCIÓN DEL ASFALTO (%) (ASTM D-4469)			1.654	
ESTABILIDAD / FLUJO (Kg/cm) (ASTM D-1559)		3521	3730	3734
RELACIÓN POLVO - ASFALTO (*)		1.0	1.0	0.9
TEM. MÁX. MEZCLA DE LABORAT. (°C)			145.0	

OBSERVACIONES:

- Las muestras de asfalto, agregados y cal hidratada, fueron tomadas e identificadas por el solicitante.
- Cemento asfáltico PEN 120/150 y el aditivo mejorador de adherencia AR-RED-RADICOTE, fueron proporcionados por el solicitante.
- Los valores de dosificación de: Asfalto, cal hidratada, piedra chancada, arena chancada y aditivo, fueron enviados por el solicitante.
- (*) El porcentaje del material pasante el tamiz N° 200 está conformado por el agregado mineral y el filler (cal hidratada).
- El presente certificado representa la verificación del diseño de mezcla asfáltica enviada por el solicitante.
- A solicitud del cliente, la evaluación de los resultados se realizó con la Tabla 423-06 de la Sección 423, de las Especificaciones Técnicas EG-2013 del MTC.

Referencias :

- ASTM D 6926 - 20 : Standard Practice for Preparation of Asphalt Mixture Specimens Using Marshall Apparatus
ASTM D 6927 - 05 : Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Bituminous Mixtures
ASTM D 2726 - 17 : Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Non-Absorptive Compacted Asphalt Mixtures
ASTM D 3203 - 11 : Standard Test Method for Percent Air Voids in Compacted Dense and Open Bituminous Paving Mixtures
ASTM D 4469 - 17 : Standard Practice for Calculating Percent Asphalt Absorption by the Aggregate in Asphalt Mixtures

Téc.: E.E.A.
Rev.: M.M.F.



Fecha de Emisión : Lima, 12 de febrero del 2022

El uso de la información contenida en este documento es responsabilidad del solicitante.

MARCO ANTONIO
MORENO FLORES
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 176318



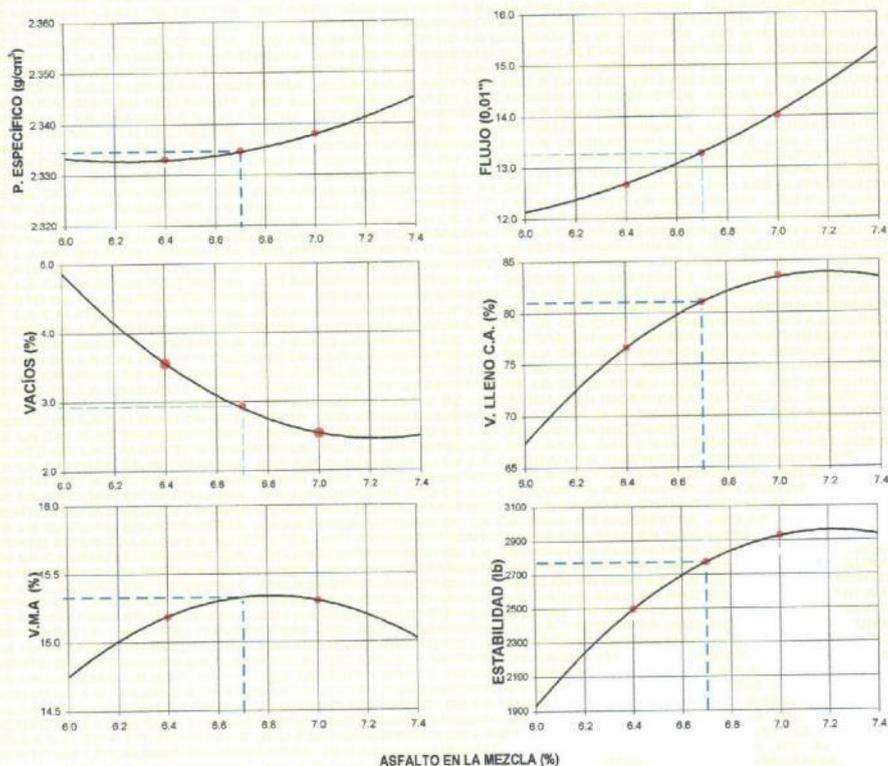
Ingenieros S.A.C.
Calle Valladolid 149
Urb. Mayorazgo II Etapa, Ate
Lima, Perú
Teléfono: 01-683-0473 / 683-0476
E-mail: informes@jboingenieros.com

EXPEDIENTE N° 011-2022-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE	: Kengy Andagua Mendoza	PROYECTO	: Mezclas Asfálticas Tibias
DIRECCIÓN	: Lima	UBICACIÓN	: Negromayo - Yauri - San Genaro. Prov. Espinar (Cusco) y Caylloma (Arequipe).
REFERENCIA	: Solicitud de Servicio N° 011-2022-JBO	FECHA ENSAYO	: Lima, 29 de enero del 2022
FECHA RECEPCIÓN	: Lima, 29 de enero del 2022		

**VERIFICACIÓN DE DISEÑO POR EL MÉTODO MARSHALL
PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA LA PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO APARATOS MARSHALL
(ASTM D 6926-20)
MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA ESTABILIDAD MARSHALL Y FLUJO DE MEZCLAS BITUMINOSAS (ASTM D 6927-05)**



MATERIALES :

Agregado de la Cantera Chalqui	44.5 %
- Piedra chancada	54.5 %
- Arena chancada	1.0 %
- Filler (Cal hidratada)	3/4 pulg

Referencias :

ASTM D 6926 - 20	: Standard Practice for Preparation of Asphalt Mixture Specimens Using Marshall Apparatus
ASTM D 6927 - 05	: Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Bituminous Mixtures
ASTM D 2726 - 17	: Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Non-Absorptive Compacted Asphalt Mixtures
ASTM D 3203 - 11	: Standard Test Method for Percent Air Voids in Compacted Dense and Open Bituminous Paving Mixtures
ASTM D 4469 - 17	: Standard Practice for Calculating Percent Asphalt Absorption by the Aggregate in Asphalt Mixtures

Téc.: E.E.A.
Rev.: M.M.F.



Fecha de Emisión : Lima, 12 de febrero del 2022
El uso de la información contenida en este documento es responsabilidad del solicitante.

**MARCO ANTONIO
MORENO FLORES
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 176318**



Ingenieros S.A.C.
Calle Valladolid 149
Urb. Mayorazgo II Etapa, Ate
Lima, Perú
Teléfono: 01-683-0473 / 683-0476
E-mail: informas@jboingenieros.com

EXPEDIENTE N° 011-2022-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE	: Kengy Andagua Mendoza	PROYECTO	: Mezclas Asfálticas Tibias
DIRECCIÓN	: Lima	UBICACIÓN	: Negromayo - Yauri - San Genaro. Prov. Espinar (Cusco) y Caylloma (Arequipa).
REFERENCIA	: Solicitud de Servicio N° 011-2022-JBO	FECHA RECEPCIÓN	: Lima, 29 de enero del 2022
FECHA RECEPCIÓN	: Lima, 29 de enero del 2022	FECHA ENSAYO	: Lima, 29 de enero del 2022

**VERIFICACIÓN DE DISEÑO POR EL MÉTODO MARSHALL
PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA LA PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO APARATOS MARSHALL (ASTM D 6926-20)
MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA ESTABILIDAD MARSHALL Y FLUJO DE MEZCLAS BITUMINOSAS (ASTM D 6927-05)**



MATERIALES :

Agregado de la Cantera Chalqui	
- Piedra chancada	44.5 %
- Arena chancada	54.5 %
- Filler (Cal hidratada)	1.0 %
- T. Máximo	3/4 pulg

OBSERVACIONES :

Referencias :

ASTM D 6926 - 20	: Standard Practice for Preparation of Asphalt Mixture Specimens Using Marshall Apparatus
ASTM D 6927 - 05	: Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Bituminous Mixtures
ASTM D 2726 - 17	: Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Non-Absorptive Compacted Asphalt Mixtures
ASTM D 3203 - 11	: Standard Test Method for Percent Air Voids in Compacted Dense and Open Bituminous Paving Mixtures
ASTM D 4469 - 17	: Standard Practice for Calculating Percent Asphalt Absorption by the Aggregate in Asphalt Mixtures

Téc: E.E.A.
Rev: M.M.F.

Fecha de Emisión : Lima, 12 de febrero del 2022

El uso de la información contenida en este documento es responsabilidad del solicitante.



**MARCO ANTONIO
MORENO FLORES
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 176318**



Ingenieros S.A.C.
 Calle Vallacolid 149
 Urb. Mayorazgo II Etapa, Ate
 Lima, Perú
 Teléfono: 01-683-0473 / 683-0476
 E-mail: informes@ingenieros.com

DIRECCIÓN

REFERENCIA

Kongri Andahuayamarca
 Lima

Sabaldá de Sañico Nº 01-2022-JBO

Lima, 29 de enero del 2022

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO

Muestr. Andahuay. Toba

UBICACIÓN

Hegronayo - Yauri - San Gerardo Prov. Espinar (Cusco) y
 Caylloma (Arequipa)

FECHA ENSAYO

Lima, 29 de enero del 2022

EXPEDIENTE Nº 011-2022-JBO

**VERIFICACION DE DISEÑO POR EL MÉTODO MARSHALL
 PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA LA PREPARACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO APARATOS MARSHALL (ASTM D 6926-20)
 MÉTODO DE PRUEBA PARA ESTABILIDAD MARSHALL Y FLUJO DE MEZCLAS BITUMINOSAS (ASTM D 6927-06)**

REFERENCIA DE LA PRUEBA

Muestr. Andahuay en Caliente
 44.5% (Piedra chancada - Corrión Chiqui)
 54.5% (Aguia chancada - Cantera Chiqui)
 1.0% (Oil Hotmix)

TIPO DE MEZCLA

MUESTRA

TIPO DE ASFALTO

Saldo

TEMP. MEZCLA (°C)

145.0

PEÑ. 120/150

Nº	DESIGNACIÓN	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C
1	SEMENTAL TOTAL (PESO) DE LA MEZCLA TOTAL	6.4			6.7				7.0	
2	AGREGADO GRUESO (PESO) DE LA MEZCLA	41.33			41.20				41.07	
3	AGREGADO FINO (PESO) DE LA MEZCLA	51.94			51.18				51.01	
4	AGREGADO TOTAL (PESO) DE LA MEZCLA	93.27			92.38				92.08	
5	AGREGADO TOTAL (VOLUMEN) DE LA MEZCLA	1100			1000				1000	
6	AGREGADO TOTAL (VOLUMEN) DE LA MEZCLA (PROMEDIO)	2.533			2.533				2.533	
7	AGREGADO TOTAL (VOLUMEN) DE LA MEZCLA (PROMEDIO)	2.614			2.614				2.614	
8	AGREGADO TOTAL (VOLUMEN) DE LA MEZCLA (PROMEDIO)	2.300			2.300				2.300	
9	AGREGADO TOTAL (VOLUMEN) DE LA MEZCLA (PROMEDIO)	7.10	7.20	7.10	7.20	7.30	7.20	7.30	7.00	7.00
10	AGREGADO TOTAL (VOLUMEN) DE LA MEZCLA (PROMEDIO)	1279.5	1277.2	1251.4	1274.3	1264.3	1271.0	1276.2	1262.9	1279.6
11	AGREGADO TOTAL (VOLUMEN) DE LA MEZCLA (PROMEDIO)	128.19	1262.8	1259.9	1275.8	1274.3	1270.0	1271.6	1272.8	1281.6
12	AGREGADO TOTAL (VOLUMEN) DE LA MEZCLA (PROMEDIO)	753.5	729.0	719.5	730.3	727.7	731.0	734.0	731.2	734.1
13	AGREGADO TOTAL (VOLUMEN) DE LA MEZCLA (PROMEDIO)	548.4	546.8	536.4	545.6	541.8	544.0	547.6	540.4	547.5
14	AGREGADO TOTAL (VOLUMEN) DE LA MEZCLA (PROMEDIO)	2.333	2.331	2.333	2.335	2.337	2.338	2.336	2.337	2.337
15	AGREGADO TOTAL (VOLUMEN) DE LA MEZCLA (PROMEDIO)	2.418			2.407			2.367		2.367
16	AGREGADO TOTAL (VOLUMEN) DE LA MEZCLA (PROMEDIO)	3.5	3.4	3.5	3.0	3.0	2.9	2.5	2.5	2.5
17	AGREGADO TOTAL (VOLUMEN) DE LA MEZCLA (PROMEDIO)	2.974			2.974			2.974		2.974
18	AGREGADO TOTAL (VOLUMEN) DE LA MEZCLA (PROMEDIO)	15.2	15.2	15.2	15.4	15.4	15.3	15.3	15.3	15.3
19	AGREGADO TOTAL (VOLUMEN) DE LA MEZCLA (PROMEDIO)	78.9	76.4	76.9	80.5	80.5	81.1	83.5	83.8	83.8
20	AGREGADO TOTAL (VOLUMEN) DE LA MEZCLA (PROMEDIO)	2.676			2.676			2.676		2.676
21	AGREGADO TOTAL (VOLUMEN) DE LA MEZCLA (PROMEDIO)	1.502			1.500			1.500		1.500
22	AGREGADO TOTAL (VOLUMEN) DE LA MEZCLA (PROMEDIO)	5.0	5.0	5.0	5.3	5.3	5.0	5.0	5.0	5.0
23	AGREGADO TOTAL (VOLUMEN) DE LA MEZCLA (PROMEDIO)	12	13	13	13	13	14	14	14	14
24	AGREGADO TOTAL (VOLUMEN) DE LA MEZCLA (PROMEDIO)	1233.0	1225.4	1188.6	1474.0	1411.6	1472.2	1423.5	1425.3	1425.8
25	AGREGADO TOTAL (VOLUMEN) DE LA MEZCLA (PROMEDIO)	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
26	AGREGADO TOTAL (VOLUMEN) DE LA MEZCLA (PROMEDIO)	1067.9	1148.9	1098.0	1315.0	1312.8	1313.3	1266.9	1262.5	1262.0
27	AGREGADO TOTAL (VOLUMEN) DE LA MEZCLA (PROMEDIO)	3602	3479	3325	3362	3379	3369	3363	3378	3369
28	AGREGADO TOTAL (VOLUMEN) DE LA MEZCLA (PROMEDIO)	1.0			1.0			0.9		0.9

OBSERVACIONES :

- Muestras fueron tomadas e identificadas por el solicitante.

- El PEÑ. 120/150 fue proporcionado por el solicitante.

- A solicitud del cliente, se realizó un ensayo de laboratorio de adherencia "MAR-HED-RADICOTE" en un 0.5% respecto del peso de asfalto.

- (*) Los valores de pesos específicos de los materiales, fueron proporcionados por el solicitante.

- Los valores de densidad de Asfalto, del laboratorio, fueron obtenidos y verificados.

- A solicitud del cliente, la evaluación de los resultados se realizó con la Tabla 423-06 de la Sección 423, de las Especificaciones Técnicas E10-2013 del MTC.

- A solicitud del cliente, los agregados, la cal, el asfalto, el estirado y el asfalto, fueron mezclados a 145°C.

- El presente certificado representa la verificación del diseño de mezcla utilizado para la construcción.

Fecha de Emisión : Lima, 12 de febrero del 2022

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.

**MARCO ANTONIO
 MORENO FLORES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP Nº 176318**



Anexo 5: Ensayo del método Marshall para mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo a 0.30 %.



Ingenieros S.A.C.
Calle Valladolid 149
Urb. Mayorazgo II Etapa, Ate
Lima, Perú
Teléfono: 01-683-0473 / 683-0476
E-mail: informes@jboingenieros.com

Lima, 19 de febrero de 2022

CARTA N° 026 - 2022 - JBO.gt. -

Atención:
Ing. Kengy Andagua Mendoza

Asunto : Entrega de Informe de Ensayos
Proyecto : "Mezclas Asfálticas Tibias".
Referencia : Solicitud de Servicio N° 020-2022-JBO

De nuestra consideración:

Adjunto al presente, el Informe de ensayo cuyo expediente corresponde al N° 020-2022-JBO (03 folios), con los ensayos de Verificación de Diseño por El Método Marshall (ASTM D-6927); efectuado a la muestra identificada como procedente del proyecto: "Mezclas Asfálticas Tibias".

Sin otro particular quedo de Ud.,

Atentamente

JBO INGENIEROS S.A.C.
Ingeniería y Calidad en Ingeniería

JUAN SERGIO SANCHEZ GUANDO
Gerente Técnico

Exp. N° 020
c.c.:
G. General
Archivo

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Kengy Andagua Mendoza PROYECTO : Mezclas Asfálticas Tibias
DIRECCIÓN : Lima
REFERENCIA : Solicitud de Servicio N° 020-2022-JBO UBICACIÓN : Negromayo - Yauri - San Genaro, Prov. Espinar (Cusco) y Caylloma (Arequipa)
FECHA RECEPCIÓN : Lima, 29 de enero del 2022 FECHA ENSAYO : Lima, 29 de enero del 2022

REFERENCIA DE LA PRUEBA

TIPO DE MEZCLA : Mezcla Asfáltica en Caliente TIPO DE ASFALTO : Sólido
MUESTRA : 44.5% (Piedra chancada - Cantera Chalqui)
54.5% (Arena chancada - Cantera Chalqui)
1.0% (Cul Hidratado) TEMP. MEZCLA (°C) : 115.0

VERIFICACIÓN DE DISEÑO POR EL METODO MARSHALL
PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA LA PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO APARATOS MARSHALL (ASTM D 6926-20)
METODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA ESTABILIDAD MARSHALL Y FLUJO DE MEZCLAS BITUMINOSAS (ASTM D 6927-05)

N°	DENOMINACIÓN	1A	1B	1C	PROMEDIO	TABLA 423-06, SECCIÓN 423, E.T. EG-2013 DEL MTC
1	CEMENTO ASFÁLTICO EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL (%)		5.70		--	--
2	AGREGADO GRUESO (N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		41.20		--	--
3	AGREGADO FINO (N° 6) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		51.18		--	--
4	FILLER (MÍNIMO 5% PARA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		0.92		--	--
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - AFARENTE (g/cm³)		1.000		--	--
6	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK BASE SECA (°) (g/cm³)		2.533		--	--
7	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO-BULK BASE SECA (°) (g/cm³)		2.814		--	--
8	PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE (g/cm³)		2.300		--	--
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRQUETA (mm)	7.20	7.30	7.30	--	--
10	PESO DE LA BRQUETA AL AIRE (°) (g)	1272.2	1268.8	1268.3	--	--
11	PESO DE LA BRQUETA AL AIRE (°) (g)	1276.9	1276.2	1271.4	--	--
12	PESO DE LA BRQUETA EN EL AGUA (g)	692.5	685.5	688.8	--	--
13	VOLUMEN DE LA BRQUETA (cm³)	584.4	582.3	582.6	--	--
14	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRQUETA (g/cm³)	2.177	2.179	2.177	--	--
15	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (ASTM D-2941) (g/cm³)		2.397		--	--
16	VACÍOS (%)	9.2	9.1	9.2	9.2	3 - 5%
17	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)		2.574		--	--
18	VACÍOS DE AGREGADO MINERAL (VMA) (%)	21.1	21.0	21.1	21.1	Min 14
19	VACÍOS LLENADOS CON CEMENTO ASFÁLTICO (%)	58.5	58.8	58.5	58.6	65 - 75%
20	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)		2.964		--	--
21	ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)		1.316		--	--
22	ASFALTO EFECTIVO (%)		5.5		--	--
23	FLUJO (g/0.1 Pulg)	18	18	19	18.3	8 - 14
24	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (g)	1046.0	1038.7	1038.3	--	--
25	FACTOR DE ESTABILIDAD	0.83	0.83	0.83	--	--
26	ESTABILIDAD CORREGIDA (g)	868.2	860.5	861.8	863.5	Min 831 Kg
27	RELACION ESTABILIDAD (g/cm³)	1899	1862	1786	1856	1700 - 4000
28	RELACION POLVO/ASFALTO		0.9		0.9	0.6 - 1.3

OBSERVACIONES :

- Muestras fueron tomadas e identificadas por el solicitante.
- El PEN 120/150 fue proporcionado por el solicitante.
- A solicitud del cliente, se añadió el aditivo denominado "EVOTHERM", en un 0.3% respecto del peso del asfalto.
- (*) Los valores de pesos específicos de los materiales, fueron proporcionados por el solicitante.
- Los valores de dosificación de: Asfalto, cul hidratada, piedra chancada y arena chancada, fueron enviados por el solicitante.
- A solicitud del cliente, la evaluación de los resultados se realizó con la Tabla 423-06 de la Sección 423, de las Especificaciones Técnicas EG-2013 del MTC.
- A solicitud del cliente, los agregados, la cul hidratada, el asfalto y el aditivo, fueron mezclados a 115°C.
- El presente certificado representa la verificación del diseño de mezcla asfáltica enviada por el solicitante.

Personal:
- Tec.: E.E.A.
- Rev.: M.M.F.



Fecha de Emisión : Lima, 16 de febrero del 2022
El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante


MARCO ANTONIO
MORENO FLORES
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 176318



Ingenieros S.A.C.
Calle Viallidad 149
Urb. Mayorazgo II Etapa, Ate
Lima, Perú
Teléfono: 01-693-0473 / 663-0476
E-mail: inform@jboingenieros.com

EXPEDIENTE N° 020-2022-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Kangy Andagua Mendoza PROYECTO : Mezclas Asfálticas Tibias
DIRECCIÓN : Lima
REFERENCIA : Solicitud de Servicio N° 020-2022-JBO UBICACIÓN : Negromayo - Yauri - San Genero. Prov. Espinar (Cusco) y Caylloma (Arequipa).
FECHA RECEPCIÓN : Lima, 29 de enero del 2022 FECHA ENSAYO : Lima, 29 de enero del 2022

REFERENCIA DE LA PRUEBA

TIPO DE MEZCLA : Mezcla Asfáltica en Caliente TIPO DE ASFALTO : Sólido
MUESTRA : 44.5% (Piedra chancada - Cantera Chalqui)
54.5% (Arena chancada - Cantera Chalqui)
1.0% (Ciel Hidratada) TEMP. MEZCLA (°C) : 125.0

VERIFICACIÓN DE DISEÑO POR EL METODO MARSHALL PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA LA PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO APARATOS MARSHALL (ASTM D 6926-20) MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA ESTABILIDAD MARSHALL Y FLUJO DE MEZCLAS BITUMINOSAS (ASTM D 6927-05)

N°	DENOMINACIÓN	1A	1B	1C	PROMEDIO	TABLA 423-06, SECCIÓN 423, E.T. EG-2013 DEL MTC
1	CEMENTO ASFÁLTICO EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL (%)		8.70		--	--
2	AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		41.20		--	--
3	AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		51.18		--	--
4	FILLER (MÍNIMO 35% PARA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		0.92		--	--
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE (g/cm³)		1.000		--	--
6	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO (GRUESO-BULK BASE SECA [*]) (g/cm³)		2.533		--	--
7	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO-BULK BASE SECA [*] (g/cm³)		2.614		--	--
8	PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE (g/cm³)		2.300		--	--
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (mm)	7.30	7.20	7.30	--	--
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (t)	1271.1	1273.2	1266.3	--	--
11	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1283.0	1278.5	1274.7	--	--
12	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	700.2	705.2	697.9	--	--
13	VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm³)	599.3	571.3	567.3	--	--
14	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2.233	2.229	2.232	--	--
15	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (ASTM D-2041) (g/cm³)		2.400		--	--
16	VACÍOS (%)	7.0	7.1	7.0	7.0	3 - 5%
17	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)		2.574		--	--
18	VACÍOS DE AGREGADO MINERAL (VMA) (%)	19.1	19.2	19.1	19.1	Mín 14
19	VACÍOS LLEVADOS CON CEMENTO ASFÁLTICO (%)	63.5	62.9	63.3	63.3	65 - 75%
20	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)		2.688		--	--
21	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)		1.372		--	--
22	ASFALTO EFECTIVO (%)		5.4		--	--
23	FLUJO (0.01 Pulg)	16	17	16	16.3	8 - 14
24	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1059.3	1064.9	1063.0	--	--
25	FACTOR DE ESTABILIDAD	0.86	0.86	0.86	--	--
26	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	911.0	915.8	914.2	913.7	Mín 831 Kg.
27	RELACIÓN ESTABILIDAD (kg/cm)	2242	2121	2250	2204	1700 - 4000
28	RELACIÓN POLYDIFUSALIDAD		0.9		0.9	0.6 - 1.3

OBSERVACIONES :

- Muestras fueron tomadas e identificadas por el solicitante.
- El PEN 120/150 fue proporcionado por el solicitante.
- A solicitud del cliente, se añadió el aditivo denominado "EVOTHERM", en un 0.3% respecto del peso del asfalto.
- [*]: Los valores de pesos específicos de los materiales, fueron proporcionados por el solicitante.
- Los valores de dosificación de: Asfalto, ciel hidratada, piedra chancada y arena chancada, fueron enviados por el solicitante.
- A solicitud del cliente, la evaluación de los resultados se realizó con la Tabla 423-05 de la Sección 423, de las Especificaciones Técnicas EG-2013 del MTC.
- A solicitud del cliente, los agregados, la ciel hidratada, el asfalto y el aditivo, fueron mezclados a 125°C.
- El presente certificado con la verificación del diseño de mezcla asfáltica envía por el solicitante.

Personal:

Téc.: E.E.A.

Rev.: M.M.F.



Fecha de Emisión : Lima, 15 de febrero del 2022.

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.

MARCO ANTONIO
MÓRENO FLORES
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 176318



Ingenieros S.A.C.
Calle Valledor 149
Urb. Maynasurco II Etapa, Ate
Lima, Perú
Teléfono: 01-683-0473 / 683-0476
E-mail: informes@jboingenieros.com

EXPEDIENTE N° 020-2022-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Kandy Andagua Mendoza PROYECTO : Mezclas Asfálticas Tibias
DIRECCIÓN : Lima
REFERENCIA : Solicitud de Servicio N° 020-2022-JBO UBICACIÓN : Nagromayo - Yauri - San Genaro, Prov. Espinar (Cusco) y Caylloma (Arequipa)
FECHA RECEPCIÓN : Lima, 29 de enero del 2022 FECHA ENSAYO : Lima, 29 de enero del 2022

REFERENCIA DE LA PRUEBA

TIPO DE MEZCLA : Mezcla Asfáltica en Caliente TIPO DE ASFALTO : Sólido
MUESTRA : 44.5% (Piedra chancada - Cantera Chalqui) TEMP. MEZCLA (°C) : 135.0
54.5% (Arena chancada - Cantera Chalqui)
1.0% (Cal Hidratado)

VERIFICACIÓN DE DISEÑO POR EL METODO MARSHALL
PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA LA PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO APARATOS MARSHALL (ASTM D 6926-20)
MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA ESTABILIDAD MARSHALL Y FLUJO DE MEZCLAS BITUMINOSAS (ASTM D 6927-05)

N°	DENOMINACIÓN	1A	1B	1C	PROMEDIO	TABLA 423-06, SECCIÓN 423, E.T. EG-2013 DEL MTC
1	CEMENTO ASFÁLTICO EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL (%)		6.70		--	--
2	AGREGADO GRUESO (1" N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		41.20		--	--
3	AGREGADO FINO (1/4" N° 40) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		51.18		--	--
4	FILLER (MÍNIMO 6% PARA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		0.92		--	--
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE (g/cm³)		1.900		--	--
6	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO BULK BASE SECA (T) (g/cm³)		2.533		--	--
7	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO BULK BASE SECA (T) (g/cm³)		2.514		--	--
8	PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE (g/cm³)		2.300		--	--
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (mm)	7.30	7.20	7.20	--	--
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (1) (g)	1271.7	1269.4	1269.9	--	--
11	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (2) (g)	1273.6	1270.8	1271.8	--	--
12	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	726.3	724.5	725.0	--	--
13	VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm³)	547.3	546.3	546.8	--	--
14	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2.324	2.324	2.322	--	--
15	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (ASTM D-204) (g/cm³)		2.402		--	--
16	VACÍOS (%)	3.3	3.3	3.3	3.3	3 - 5%
17	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)		2.574		--	--
18	VACÍOS DE AGREGADO MINERAL (V.M.A.) (%)	15.8	15.8	15.8	15.8	Min 14
19	VACÍOS LLENADOS CON CEMENTO ASFÁLTICO (%)	79.4	79.4	79.0	79.2	65 - 75%
20	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)		2.671		--	--
21	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)		1.410		--	--
22	ASFALTO EFECTIVO (%)		5.4		--	--
23	FLUJO (g/P. Pulg)	14	13	13	13.3	8 - 14
24	ESTABILIDAD SIN CORRECCIÓN (MP)	1449.7	1385.4	1384.0	--	--
25	FACTOR DE ESTABILIDAD	0.89	0.93	0.93	--	--
26	ESTABILIDAD CORREGIDA (MP)	1280.2	1288.4	1287.1	1286.6	Min 831 Kg.
27	RELACIÓN ESTAB./FLUJO (g/cm³)	3628	3902	3896	3809	1700 - 4000
28	RELACIÓN POLVO/ASFALTO		1.0		1.0	0.6 - 1.3

OBSERVACIONES :

- Muestras fueron tomadas e identificadas por el solicitante.
- El PEN 120/150 fue proporcionado por el solicitante.
- A solicitud del cliente, se añadió el aditivo denominado "EVOTHERM", en un 0.3% respecto del peso del asfalto.
- (*) Los valores de peso específicos de los materiales, fueron proporcionados por el solicitante.
- Los valores de dosificación de: Asfalto, cal hidratada, piedra chancada y arena chancada, fueron enviados por el solicitante.
- A solicitud del cliente, la evaluación de los resultados se realizó con la Tabla 423-06 de la Sección 423, de las Especificaciones Técnicas EG-2013 del MTC.
- A solicitud del cliente, los agregados, la cal hidratada, el asfalto y el aditivo, fueron mezclados a 135°C.
- El presente certificado representa la verificación del diseño de mezcla asfáltica enviada por el solicitante.

Personal
- Téc.: E.E.A.
- Rev.: M.M.F.



Fecha de Emisión : Lima, 15 de febrero del 2022

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.

MARCO ANTONIO
MORENO FLORES
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 176318

Anexo 6: Ensayo del método Marshall para mezcla asfáltica tibia con aditivo tensoactivo a 0.50 %.



Ingenieros S.A.C.
Calle Valladolid 149
Urb. Mayorazgo II Etapa, Ate
Lima, Perú
Teléfono: 01-683-0473 / 683-0476
E-mail: informes@jboingenieros.com

EXPEDIENTE N° 011-2022-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Kengy Andagua Mendoza
DIRECCIÓN : Lima
REFERENCIA : Solicitud de Servicio N° 011-2022-JBO
FECHA RECEPCIÓN : Lima, 29 de enero del 2022

PROYECTO : Mezclas Asfálticas Tibias
UBICACIÓN : Negromayo - Yauri - San Genaro. Prov. Espinar (Cusco) y Caylloma (Arequipa).
FECHA ENSAYO : Lima, 29 de enero del 2022

REFERENCIA DE LA PRUEBA

TIPO DE MEZCLA : Mezcla Asfáltica en Caliente
TIPO DE ASFALTO : Sólido
MUESTRA : 44.5% (Piedra chancada - Cantera Chalqui)
54.5% (Arena chancada - Cantera Chalqui)
1.0% (Cal Hidratada)
TEMP. MEZCLA (°C) : 115.0

VERIFICACION DE DISEÑO POR EL METODO MARSHALL PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA LA PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO APARATOS MARSHALL (ASTM D 6926-20) MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA ESTABILIDAD MARSHALL Y FLUJO DE MEZCLAS BITUMINOSAS (ASTM D 6927-05)

N°	DENOMINACIÓN	1A	1B	1C	PROMEDIO	TABLA 423-06, SECCIÓN 423, E.T. EG-2013 DEL MTC
1	CEMENTO ASFÁLTICO EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL (%)		6.70		--	--
2	AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		41.20		--	--
3	AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		51.16		--	--
4	FILLER (MÍNIMO 05% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		0.92		--	--
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE (g/cm³)		1.000		--	--
6	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK BASE SECA (*) (g/cm³)		2.533		--	--
7	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO-BULK BASE SECA (*) (g/cm³)		2.614		--	--
8	PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE (g/cm³)		2.300		--	--
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	7.30	7.30	7.30	--	--
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (1) (g)	1274.9	1274.2	1270.6	--	--
11	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (2) (g)	1278.5	1276.6	1271.8	--	--
12	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	708.1	706.6	704.0	--	--
13	VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm³)	570.4	570.0	567.8	--	--
14	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2.235	2.235	2.238	--	--
15	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (ASTM D-2041) (g/cm³)		2.398		--	--
16	VACÍOS (%)	6.8	6.8	6.7	6.8	3 - 5%
17	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)		2.574		--	--
18	VACÍOS DE AGREGADO MINERAL (V.M.A.) (%)	19.0	19.0	18.9	19.0	Min 14
19	VACÍOS LLENADOS CON CEMENTO ASFÁLTICO (%)	64.2	64.2	64.7	64.3	65 - 75%
20	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)		2.866		--	--
21	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)		1.335		--	--
22	ASFALTO EFECTIVO (%)		5.5		--	--
23	FLUJO (0.01 Pulg) (g)	16	16	16	16.0	8 - 14
24	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1048.6	1052.9	1047.4	--	--
25	FACTOR DE ESTABILIDAD	0.86	0.86	0.86	--	--
26	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	902.0	905.5	900.8	902.8	Min 831 Kg.
27	RELACIÓN ESTABIL/FLUJO (kg/cm)	2219	2226	2217	2221	1700 - 4000
28	RELACIÓN POLVO/ASFALTO		0.9		0.9	0.8 - 1.3

OBSERVACIONES :

- Muestras fueron tomadas e identificadas por el solicitante.
- El PEN 120/150 fue proporcionado por el solicitante.
- A solicitud del cliente, se añadió el aditivo denominado "EVOTHERM", en un 0.5% respecto del peso del asfalto.
- (*): Los valores de pesos específicos de los materiales, fueron proporcionados por el solicitante.
- Los valores de dosificación de: Asfalto, cal hidratada, piedra chancada y arena chancada, fueron enviados por el solicitante.
- A solicitud del cliente, la evaluación de los resultados se realizó con la Tabla 423-06 de la Sección 423, de las Especificaciones Técnicas EG-2013 del MTC.
- A solicitud del cliente, los agregados, la cal hidratada, el asfalto y el aditivo, fueron mezclados a 115°C.
- El presente certificado representa la verificación del diseño de mezcla asfáltica enviada por el solicitante.

Personal:
- Téc.: E.E.A.
- Rev.: M.M.F.



Fecha de Emisión : Lima, 12 de febrero del 2022

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.

MARCO ANTONIO
MORENO FLORES
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 176318



Ingenieros S.A.C.
Calle Valladolid 149
Urb. Mayrazgo II Etapa, Ase
Lima, Perú
Teléfono: 01-683-0473 / 683-0476
E-mail: informes@jboingenieros.com

EXPEDIENTE N° 011-2022-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Kengy Andagua Mendoza
DIRECCIÓN : Lima
REFERENCIA : Solicitud de Servicio N° 011-2022-JBO
FECHA RECEPCIÓN : Lima, 29 de enero del 2022

PROYECTO : Mezclas Asfálticas Tibias
UBICACIÓN : Negromayo - Yauri - San Genaro. Prov. Espinar (Cusco) y Caylloma (Arequipa).
FECHA ENSAYO : Lima, 29 de enero del 2022

REFERENCIA DE LA PRUEBA

TIPO DE MEZCLA : Mezcla Asfáltica en Caliente
TIPO DE ASFALTO : Sólido
MUESTRA : 44.5% (Piedra chancada - Cantera Chalqui)
54.5% (Arena chancada - Cantera Chalqui)
1.0% (Cal Hidratada)
TEMP. MEZCLA (°C) : 125.0

VERIFICACION DE DISEÑO POR EL MÉTODO MARSHALL PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA LA PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO APARATOS MARSHALL (ASTM D 6926-20) MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA ESTABILIDAD MARSHALL Y FLUJO DE MEZCLAS BITUMINOSAS (ASTM D 6927-05)

N°	DENOMINACIÓN	1A	1B	1C	PROMEDIO	TABLA 423-06, SECCIÓN 423, E.T. EG-2013 DEL MTC
1	CEMENTO ASFÁLTICO EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL (%)		6.70		--	--
2	AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		41.20		--	--
3	AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		51.18		--	--
4	FILLER (MÍNIMO 85% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		0.92		--	--
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE (g/cm³)		1.000		--	--
6	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK BASE SECA (*) (g/cm³)		2.533		--	--
7	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO-BULK BASE SECA (*) (g/cm³)		2.614		--	--
8	PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE (g/cm³)		2.300		--	--
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	7.20	7.20	7.30	--	--
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (1) (g)	1270.7	1276.7	1274.0	--	--
11	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (2) (g)	1282.0	1279.9	1280.0	--	--
12	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	720.2	729.0	722.5	--	--
13	VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm³)	549.0	550.9	550.7	--	--
14	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2.315	2.317	2.314	--	--
15	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (ASTM D-2041) (g/cm³)		2.403		--	--
16	VACÍOS (%)	3.7	3.6	3.7	3.6	3 - 5%
17	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)		2.574		--	--
18	VACÍOS DE AGREGADO MINERAL (V.M.A.) (%)	16.1	16.0	16.1	16.1	Min 14
19	VACÍOS LLENADOS CON CEMENTO ASFÁLTICO (%)	77.3	77.6	77.1	77.3	65 - 75%
20	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)		2.672		--	--
21	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)		1.428		--	--
22	ASFALTO EFECTIVO (%)		5.4		--	--
23	FLUJO (0.91 Pulg) (g)	14	13	14	13.7	8 - 14
24	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (g)	1396.1	1402.5	1397.2	--	--
25	FACTOR DE ESTABILIDAD	0.89	0.89	0.89	--	--
26	ESTABILIDAD CORREGIDA (g)	1242.5	1248.2	1243.5	1244.7	Min 631 Kg.
27	RELACIÓN ESTAB./FLUJO (kg/cm)	3494	3780	3497	3590	1700 - 4000
28	RELACIÓN POLVO/ASFALTO		1.0		1.0	0.6 - 1.3

OBSERVACIONES :

- Muestras fueron tomadas e identificadas por el solicitante.
- El PEN 120/150 fue proporcionado por el solicitante.
- A solicitud del cliente, se añadió el aditivo denominado "EVOTHERM", en un 0.5% respecto del peso del estallo.
- (*) Los valores de pesos específicos de los materiales, fueron proporcionados por el solicitante.
- Los valores de dosificación de: Asfalto, cal hidratada, piedra chancada y arena chancada, fueron enviados por el solicitante.
- A solicitud del cliente, la evaluación de los resultados se realizó con la Tabla 423-06 de la Sección 423, de las Especificaciones Técnicas EG-2013 del MTC.
- A solicitud del cliente, los agregados, la cal hidratada, el asfalto y el aditivo, fueron mezclados a 125°C.
- El presente certificado representa la verificación del diseño de mezcla asfáltica enviada por el solicitante.

Personal:

- Téc.: E.E.A.
- Rev.: M.M.F.



Fecha de Emisión : Lima, 12 de febrero del 2022

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.


**MARCO ANTONIO
MORENO FLORES**
INGENIERO CIVIL
Rég. CIP N° 176318



Ingenieros S.A.C.
Calle Valladolid 149
Urb. Mayorazgo II Etapa, Ate
Lima, Perú
Teléfono: 01-683-0473 / 683-0476
E-mail: informes@jboingenieros.com

EXPEDIENTE N° 011-2022-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Kengy Andegua Mendoza PROYECTO : Mezclas Asfálticas Tibias
DIRECCIÓN : Lima UBICACIÓN : Negromayo - Yauri - San Genaro Prov. Espinar (Cusco) y Caylloma (Arequipa).
REFERENCIA : Solicitud de Servicio N° 011-2022-JBO FECHA ENSAYO : Lima, 29 de enero del 2022
FECHA RECEPCIÓN : Lima, 29 de enero del 2022

REFERENCIA DE LA PRUEBA

TIPO DE MEZCLA : Mezcla Asfáltica en Caliente TIPO DE ASFALTO : Sólido
MUESTRA : 44.5% (Piedra chancada - Cantera Chalqui) TEMP. MEZCLA (°C) : 135.0
54.5% (Arena chancada - Cantera Chalqui)
1.0% (Cal Hidratada)

VERIFICACIÓN DE DISEÑO POR EL METODO MARSHALL PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA LA PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO APARATOS MARSHALL (ASTM D 6926-20) MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA ESTABILIDAD MARSHALL Y FLUJO DE MEZCLAS BITUMINOSAS (ASTM D 6927-05)

N°	DENOMINACIÓN	1A	1B	1C	PROMEDIO	TABLA 423-06, SECCIÓN 423, E.T. EG-2013 DEL MTC
1	CEMENTO ASFÁLTICO EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL (%)		6.70		--	--
2	AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		41.20		--	--
3	AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		51.18		--	--
4	FILLER (MÍNIMO 66% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		0.92		--	--
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE (g/cm ³)		1.000		--	--
6	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK BASE SECA (*) (g/cm ³)		2.533		--	--
7	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO-BULK BASE SECA (*) (g/cm ³)		2.614		--	--
8	PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE (g/cm ³)		2.300		--	--
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	7.20	7.30	7.20	--	--
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (1) (g)	1277.6	1268.3	1274.5	--	--
11	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (2) (g)	1279.0	1272.1	1285.7	--	--
12	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	728.3	726.1	724.5	--	--
13	VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm ³)	550.7	546.0	548.5	--	--
14	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm ³)	2.320	2.323	2.324	--	--
15	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (ASTM D-2041) (g/cm ³)		2.405		--	--
16	VACÍOS (%)	3.5	3.4	3.4	3.4	3 - 5%
17	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm ³)		2.574		--	--
18	VACÍOS DE AGREGADO MINERAL (V.M.A.) (%)	15.9	15.8	15.8	15.8	Min 14
19	VACÍOS LLENADOS CON CEMENTO ASFÁLTICO (%)	77.8	78.4	78.6	78.3	65 - 75%
20	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL (g/cm ³)		2.675		--	--
21	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)		1.465		--	--
22	ASFALTO EFECTIVO (%)		5.3		--	--
23	FLUJO (0.01 Pulg) (g)	13	13	13	13.0	8 - 14
24	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1466.3	1406.5	1468.5	--	--
25	FACTOR DE ESTABILIDAD	0.89	0.93	0.89	--	--
26	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1305.0	1308.0	1307.0	1306.7	Min 831 Kg
27	RELACIÓN ESTAB.FLUJO (g/gcm)	3952	3961	3958	3957	1700 - 4000
28	RELACIÓN POLVO/ASFALTO		1.0		1.0	0.6 - 1.3

OBSERVACIONES :

- Muestras fueron tomadas e identificadas por el solicitante.
- El PEN 120/150 fue proporcionado por el solicitante.
- A solicitud del cliente, se añadió el aditivo denominado "EVOTHERM", en un 0.5% respecto del peso del asfalto.
- (*) Los valores de pesos específicos de los materiales, fueron proporcionados por el solicitante.
- Los valores de dosificación de: Asfalto, cal hidratada, piedra chancada y arena chancada, fueron enviados por el solicitante.
- A solicitud del cliente, la evaluación de los resultados se realizó con la Tabla 423-06 de la Sección 423, de las Especificaciones Técnicas EG-2013 del MTC.
- A solicitud del cliente, los agregados, la cal hidratada, el asfalto y el aditivo, fueron mezclados a 135°C.
- El presente certificado representa la verificación del diseño de mezcla asfáltica enviada por el solicitante.

Personal:
- Téc.: E.E.A.
- Rev.: M.M.F.



Fecha de Emisión : Lima, 12 de febrero del 2022

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.

MARCO ANTONIO
MORENO FLORES
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 176318

Anexo 7: Ensayo a la resistencia al daño por humedad inducida AASHTO T 283



Ingenieros S.A.C.
Calle Valladolid 149
Urb. Mayorazgo II Etapa, Ate
Lima, Perú
Teléfono: 01-683-0473 / 683-0476
E-mail: informes@jboingenieros.com

EXPEDIENTE N° 011-2022-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Kengy Andagua Mendoza PROYECTO : Mezclas Asfálticas Tibias
DIRECCIÓN : Lima
REFERENCIA : Solicitud de Servicio N° 011-2022-JBO UBICACIÓN : Negromayo - Yauri - San Genaro. Prov. Espinar (Cusco) y Caylloma (Arequipa).
FECHA RECEPCIÓN : Lima, 29 de enero del 2022 FECHA ENSAYO : Lima, 29 de enero del 2022

REFERENCIA DE LA PRUEBA

TIPO DE MEZCLA : Mezcla Asfáltica en Caliente TIPO DE ASFALTO : Sólido
MUESTRA : 44.5% (Piedra chancada - Cantera Chalqui)
54.5% (Arena chancada - Cantera Chalqui)
1.0% (Cal Hidratada) TEMP. MEZCLA (°C) : 125.0

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD (MTC E 522 - 2016) CÁLCULO DEL NÚMERO DE GOLPES PARA PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

N°	DENOMINACIÓN	1A	1B	1C	PROMEDIO	MTC E 522 - 2016
1	NÚMERO DE GOLPES		20		--	--
2	CEMENTO ASFÁLTICO EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL (%)		6.70		--	--
3	AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		41.20		--	--
4	AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		51.18		--	--
5	FILLER (MÍNIMO 68% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		0.92		--	--
6	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE (g/cm³)		1.000		--	--
7	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK BASE SECA (*) (g/cm³)		2.533		--	--
8	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO-BULK BASE SECA (*) (g/cm³)		2.614		--	--
9	PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE (g/cm³)		2.300		--	--
10	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	7.20	7.20	7.20	--	--
11	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (1) (g)	1265.6	1275.3	1267.5	--	--
12	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (2) (g)	1266.4	1276.4	1268.8	--	--
13	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	681.5	687.4	683.0	--	--
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm³)	584.9	589.0	585.8	--	--
15	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2.164	2.165	2.164	--	--
16	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (ASTM D-2041) (g/cm³)		2.400		--	--
17	VACIOS (%)	9.8	9.8	9.8	9.8	6.75 - 7.25

OBSERVACIONES :

- Muestras fueron tomadas e identificadas por el solicitante.
- El PEN 120/150 fue proporcionado por el solicitante.
- A solicitud del cliente, se añadió el aditivo denominado "EVOTHERM", en un 0.5% respecto del peso del asfalto.
- (*): Los valores de pesos específicos de los materiales, fueron proporcionados por el solicitante.
- Los valores de dosificación de: Asfalto, cal hidratada, piedra chancada y arena chancada, fueron enviados por el solicitante.
- A solicitud del cliente, la evaluación de los resultados se realizó con la Tabla 423-06 de la Sección 423, de las Especificaciones Técnicas EG-2013 del MTC.
- A solicitud del cliente, los agregados, la cal hidratada, el asfalto y el aditivo, fueron mezclados a 125°C.
- El presente certificado representa la verificación del diseño de mezcla asfáltica enviada por el solicitante.

Personal:

- Téc.: E.E.A.
- Rev.: M.M.F.

Fecha de Emisión : Lima, 19 de febrero del 2022

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.



MARCO ANTONIO
MORENO FLORES
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 176318



Ingenieros S.A.C.
Calle Valladolid 149
Urb. Mayorazgo II Etapa, Ate
Lima, Perú
Teléfono: 01-683-0473 / 683-0476
E-mail: informes@jboingenieros.com

EXPEDIENTE N° 011-2022-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Kengy Andagua Mendoza PROYECTO : Mezclas Asfálticas Tibias
DIRECCIÓN : Lima
REFERENCIA : Solicitud de Servicio N° 011-2022-JBO UBICACIÓN : Negromayo - Yauri - San Genaro Prov. Espinar (Cusco) y Caylloma (Arequipa).
FECHA RECEPCIÓN : Lima, 29 de enero del 2022 FECHA ENSAYO : Lima, 29 de enero del 2022

REFERENCIA DE LA PRUEBA

TIPO DE MEZCLA : Mezcla Asfáltica en Caliente TIPO DE ASFALTO : Sólido
MUESTRA : 44.5% (Piedra chancada - Cantera Chalqui)
54.5% (Arena chancada - Cantera Chalqui)
1.0% (Cal Hidratada) TEMP. MEZCLA (°C) : 125.0

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD (MTC E 522 - 2016) CÁLCULO DEL NÚMERO DE GOLPES PARA PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

N°	DENOMINACIÓN	1A	1B	1C	PROMEDIO	MTC E 522 - 2016
1	NÚMERO DE GOLPES		25		--	--
2	CEMENTO ASFÁLTICO EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL (%)		6.70		--	--
3	AGREGADO GRUESO (- N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		41.20		--	--
4	AGREGADO FINO (- N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		51.18		--	--
5	FILLER (MÍNIMO 66% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		0.92		--	--
6	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE (g/cm ³)		1.000		--	--
7	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK BASE SECA (*) (g/cm ³)		2.533		--	--
8	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO-BULK BASE SECA (*) (g/cm ³)		2.614		--	--
9	PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE (g/cm ³)		2.300		--	--
10	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	7.30	7.20	7.30	--	--
11	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (1) (g)	1266.4	1272.8	1277.0	--	--
12	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (2) (g)	1269.3	1273.4	1278.3	--	--
13	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	686.2	687.4	691.0	--	--
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm ³)	583.1	586.0	587.3	--	--
15	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm ³)	2.172	2.172	2.174	--	--
16	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (ASTM D-2041) (g/cm ³)		2.400		--	--
17	VACÍOS (%)	9.5	9.5	9.4	9.5	6.75 - 7.25

OBSERVACIONES :

- Muestras fueron tomadas e identificadas por el solicitante.
- El PEN 120/150 fue proporcionado por el solicitante.
- A solicitud del cliente, se añadió el aditivo denominado "EVOTHERM", en un 0.5% respecto del peso del asfalto.
- (*): Los valores de pesos específicos de los materiales, fueron proporcionados por el solicitante.
- Los valores de dosificación de: Asfalto, cal hidratada, piedra chancada y arena chancada, fueron enviados por el solicitante.
- A solicitud del cliente, la evaluación de los resultados se realizó con la Tabla 423-05 de la Sección 423, de las Especificaciones Técnicas EG-2013 del MTC.
- A solicitud del cliente, los agregados, la cal hidratada, el asfalto y el aditivo, fueron mezclados a 125°C.
- El presente certificado representa la verificación del diseño de mezcla asfáltica enviado por el solicitante.

Personal:

- Téc.: E.E.A.
- Rev.: M.M.F.

Fecha de Emisión : Lima, 19 de febrero del 2022

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.



MARCO ANTONIO
MORENO FLORES
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 176318



Ingenieros S.A.C.
Calle Valladaolid 149
Urb. Mayorazgo II Etapa, Ate
Lima, Perú
Teléfono: 01-683-0473 / 683-0476
E-mail: informes@jboingenieros.com

EXPEDIENTE N° 011-2022-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Kengy Andagua Mendoza PROYECTO : Mezclas Asfálticas Tibias
DIRECCIÓN : Lima
REFERENCIA : Solicitud de Servicio N° 011-2022-JBO UBICACIÓN : Negromayo - Yauri - San Genaro. Prov. Espinar (Cusco) y Caylloma (Arequipa).
FECHA RECEPCIÓN : Lima, 29 de enero del 2022 FECHA ENSAYO : Lima, 29 de enero del 2022

REFERENCIA DE LA PRUEBA

TIPO DE MEZCLA : Mezcla Asfáltica en Caliente TIPO DE ASFALTO : Sólido
MUESTRA : 44.5% (Piedra chancada - Cantera Chelqui)
54.5% (Arena chancada - Cantera Chelqui)
1.0% (Cal Hidratada) TEMP. MEZCLA (°C) : 125.0

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD (MTC E 522 - 2016) CÁLCULO DEL NÚMERO DE GOLPES PARA PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

N°	DENOMINACIÓN	1A	1B	1C	PROMEDIO	MTC E 522 - 2016
1	NÚMERO DE GOLPES		30		--	--
2	CEMENTO ASFÁLTICO EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL (%)		6.70		--	--
3	AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		41.20		--	--
4	AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		51.18		--	--
5	FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		0.92		--	--
6	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE (g/cm ³)		1.000		--	--
7	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK BASE SECA (*) (g/cm ³)		2.533		--	--
8	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO-BULK BASE SECA (*) (g/cm ³)		2.614		--	--
9	PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE (g/cm ³)		2.300		--	--
10	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	7.30	7.30	7.30	--	--
11	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (1) (g)	1274.3	1268.4	1271.1	--	--
12	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (2) (g)	1275.6	1269.8	1272.6	--	--
13	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	692.0	689.0	690.7	--	--
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm ³)	583.6	580.8	581.9	--	--
15	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm ³)	2.184	2.184	2.184	--	--
16	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (ASTM D-2041) (g/cm ³)		2.400		--	--
17	VACÍOS (%)	9.0	9.0	9.0	9.0	6.75 - 7.25

OBSERVACIONES :

- Muestras fueron tomadas e identificadas por el solicitante.
- El PEN 120/150 fue proporcionado por el solicitante.
- A solicitud del cliente, se añadió el aditivo denominado "EVOTHERM", en un 0.5% respecto del peso del asfalto.
- (*) Los valores de pesos específicos de los materiales, fueron proporcionados por el solicitante.
- Los valores de dosificación de: Asfalto, cal hidratada, piedra chancada y arena chancada, fueron enviados por el solicitante.
- A solicitud del cliente, la evaluación de los resultados se realizó con la Tabla 423-06 de la Sección 423, de las Especificaciones Técnicas EG-2013 del MTC.
- A solicitud del cliente, los agregados, la cal hidratada, el asfalto y el aditivo, fueron mezclados a 125°C.
- El presente certificado representa la verificación del diseño de mezcla asfáltica enviada por el solicitante.

Personal:

- Téc.: E.E.A.
- Rev.: M.M.F.

Fecha de Emisión : Lima, 19 de febrero del 2022

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.




MARCO ANTONIO
MORENO FLORES
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 176318



Ingenieros S.A.C.
Calle Valadslid 149
Urb. Mayorazgo II Etapa, Ate
Lima, Perú
Teléfono: 01-683-0473 / 683-0476
E-mail: informes@jboingenieros.com

EXPEDIENTE N° 011-2022-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Kengy Andagua Mendoza PROYECTO : Mezclas Asfálticas Tibias
DIRECCIÓN : Lima
REFERENCIA : Solicitud de Servicio N° 011-2022-JBO UBICACIÓN : Negromayo - Yauri - San Genero. Prov. Espinar (Cusco) y Caylloma (Arequipa).
FECHA RECEPCIÓN : Lima, 29 de enero del 2022 FECHA ENSAYO : Lima, 29 de enero del 2022

REFERENCIA DE LA PRUEBA

TIPO DE MEZCLA : Mezcla Asfáltica en Caliente TIPO DE ASFALTO : Sólido
MUESTRA : 44.5% (Piedra chancada - Cantera Chalqui)
54.5% (Arena chancada - Cantera Chalqui)
1.0% (Cal Hidratada) TEMP. MEZCLA (°C) : 125.0

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD (MTC E 522 - 2016) CÁLCULO DEL NÚMERO DE GOLPES PARA PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

N°	DENOMINACIÓN	1A	1B	1C	PROMEDIO	MTC E 522 - 2016
1	NÚMERO DE GOLPES		35		--	--
2	CEMENTO ASFÁLTICO EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL (%)		8.70		--	--
3	AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		41.20		--	--
4	AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		51.18		--	--
5	FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		0.92		--	--
6	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - AFARENTE (g/cm ³)		1.000		--	--
7	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK BASE SECA (*) (g/cm ³)		2.533		--	--
8	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO-BULK BASE SECA (*) (g/cm ³)		2.614		--	--
9	PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE (g/cm ³)		2.300		--	--
10	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	7.20	7.30	7.20	--	--
11	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (1) (g)	1273.3	1274.8	1277.4	--	--
12	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (2) (g)	1274.8	1275.4	1278.1	--	--
13	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	695.0	694.9	696.0	--	--
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm ³)	579.8	580.5	582.1	--	--
15	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm ³)	2.196	2.196	2.194	--	--
16	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (ASTM D-2941) (g/cm ³)		2.400		--	--
17	VACIOS (%)	8.5	8.5	8.6	8.5	6.75 - 7.25

OBSERVACIONES :

- Muestras fueron tomadas e identificadas por el solicitante.
- El PEN 120/150 fue proporcionado por el solicitante.
- A solicitud del cliente, se añadió el aditivo denominado "EVOTHERM", en un 0.5% respecto del peso del asfalto.
- (*): Los valores de pesos específicos de los materiales, fueron proporcionados por el solicitante.
- Los valores de dosificación de: Asfalto, cal hidratada, piedra chancada y arena chancada, fueron enviados por el solicitante.
- A solicitud del cliente, la evaluación de los resultados se realizó con la Tabla 423-06 de la Sección 423, de las Especificaciones Técnicas EG-2013 del MTC.
- A solicitud del cliente, los agregados, la cal hidratada, el asfalto y el aditivo, fueron mezclados a 125°C.
- El presente certificado representa la verificación del diseño de mezcla asfáltica enviada por el solicitante.

Personal:

- Téc.: E.E.A.
- Rev.: M.M.F.

Fecha de Emisión : Lima, 19 de febrero del 2022

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.




MARCO ANTONIO
MORENO FLORES
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 176318



Ingenieros S.A.C.
Calle Valladolid 149
Urb. Mayorazgo II Etapa, Ate
Lima, Perú
Teléfono: 01-683-0473 / 683-0476
E-mail: informes@jboingenieros.com

EXPEDIENTE N° 011-2022-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Kengy Andagua Mendoza PROYECTO : Mezclas Asfálticas Tibias
DIRECCIÓN : Lima
REFERENCIA : Solicitud de Servicio N° 011-2022-JBO UBICACIÓN : Negromayo - Yauri - San Genaro. Prov. Espinar (Cusco) y Caylloma (Arequipa).
FECHA RECEPCIÓN : Lima, 29 de enero del 2022 FECHA ENSAYO : Lima, 29 de enero del 2022

REFERENCIA DE LA PRUEBA

TIPO DE MEZCLA : Mezcla Asfáltica en Caliente TIPO DE ASFALTO : Sólido
MUESTRA : 44.5% (Piedra chancada - Cantera Chalqui)
54.5% (Arena chancada - Cantera Chalqui)
1.0% (Cal Hidratada) TEMP. MEZCLA (°C) : 125.0

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD (MTC E 522 - 2016) CÁLCULO DEL NÚMERO DE GOLPES PARA PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

N°	DENOMINACIÓN	1A	1B	1C	PROMEDIO	MTC E 522 - 2016
1	NÚMERO DE GOLPES		40		--	--
2	CEMENTO ASFÁLTICO EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL (%)		6.70		--	--
3	AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		41.20		--	--
4	AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		51.18		--	--
5	FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		0.92		--	--
6	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE (g/cm ³)		1.000		--	--
7	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO BULK BASE SECA (*) (g/cm ³)		2.533		--	--
8	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO-BULK BASE SECA (*) (g/cm ³)		2.814		--	--
9	PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE (g/cm ³)		2.300		--	--
10	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	7.40	7.10	7.30	--	--
11	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (1) (g)	1269.3	1279.6	1270.4	--	--
12	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (2) (g)	1270.5	1280.8	1273.3	--	--
13	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	697.2	703.1	700.0	--	--
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm ³)	573.3	577.7	573.3	--	--
15	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm ³)	2.214	2.215	2.216	--	--
16	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (ASTM D-2041) (g/cm ³)		2.400		--	--
17	VACÍOS (%)	7.8	7.7	7.7	7.7	8.75 - 7.25

OBSERVACIONES :

- Muestras fueron tomadas e identificadas por el solicitante.
- El PEN 120/150 fue proporcionado por el solicitante.
- A solicitud del cliente, se añadió el aditivo denominado "EVOTHERM", en un 0.5% respecto del peso del asfalto.
- (*) Los valores de pesos específicos de los materiales, fueron proporcionados por el solicitante.
- Los valores de dosificación de: Asfalto, cal hidratada, piedra chancada y arena chancada, fueron enviados por el solicitante.
- A solicitud del cliente, la evaluación de los resultados se realizó con la Tabla 423-06 de la Sección 423, de las Especificaciones Técnicas EG-2013 del MTC.
- A solicitud del cliente, los agregados, la cal hidratada, el asfalto y el aditivo, fueron mezclados a 125°C.
- El presente certificado representa la verificación del diseño de mezcla asfáltica enviada por el solicitante.

Personal:

- Téc.: E.E.A.
- Rev.: M.M.F.

Fecha de Emisión : Lima, 19 de febrero del 2022

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.



MARCO ANTONIO
MORENO FLORES
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 176318

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Kengy Andagua Mendoza PROYECTO : Mezclas Asfálticas Tibias
DIRECCIÓN : Lima
REFERENCIA : Solicitud de Servicio N° 011-2022-JBO UBICACIÓN : Negromayo - Yauri - San Genaro. Prov. Espinar (Cusco) y Caylloma (Arequipa).
FECHA RECEPCIÓN : Lima, 29 de enero del 2022 FECHA ENSAYO : Lima, 29 de enero del 2022

REFERENCIA DE LA PRUEBA

TIPO DE MEZCLA : Mezcla Asfáltica en Caliente TIPO DE ASFALTO : Sólido
MUESTRA : 44.5% (Piedra chancada - Cantera Chakqu)
54.5% (Arena chancada - Cantera Chakqu)
1.0% (Cal Hidratada) TEMP. MEZCLA (°C) : 125.0

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD (MTC E 522 - 2016)
CÁLCULO DEL NÚMERO DE GOLPES PARA PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

N°	DENOMINACIÓN	1A	1B	1C	PROMEDIO	MTC E 522 - 2016
1	NÚMERO DE GOLPES		45		--	--
2	CEMENTO ASFÁLTICO EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL (%)		6.70		--	--
3	AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		41.20		--	--
4	AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		51.18		--	--
5	FILLER (MÍNIMO 80% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		0.92		--	--
6	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE (g/cm ³)		1.900		--	--
7	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK BASE SECA (*) (g/cm ³)		2.533		--	--
8	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO-BULK BASE SECA (*) (g/cm ³)		2.814		--	--
9	PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE (g/cm ³)		2.300		--	--
10	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	7.10	7.20	7.20	--	--
11	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (1) (g)	1275.3	1270.4	1269.5	--	--
12	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (2) (g)	1276.8	1271.5	1270.9	--	--
13	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	704.9	701.8	702.5	--	--
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm ³)	571.9	569.7	568.4	--	--
15	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm ³)	2.230	2.230	2.233	--	--
16	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (ASTM D-2041) (g/cm ³)		2.400		--	--
17	VACÍOS (%)	7.1	7.1	7.0	7.0	6.75 - 7.25

OBSERVACIONES :

- Muestras fueron tomadas e identificadas por el solicitante.
- El PEN 120/150 fue proporcionado por el solicitante.
- A solicitud del cliente, se añadió el aditivo denominado "EVOTHERM", en un 0.5% respecto del peso del asfalto.
- (*) Los valores de pesos específicos de los materiales, fueron proporcionados por el solicitante.
- Los valores de dosificación de: Asfalto, cal hidratada, piedra chancada y arena chancada, fueron enviados por el solicitante.
- A solicitud del cliente, la evaluación de los resultados se realizó con la Tabla 423-06 de la Sección 423, de las Especificaciones Técnicas EG-2013 del MTC.
- A solicitud del cliente, los agregados, la cal hidratada, el asfalto y el aditivo, fueron mezclados a 125°C.
- El presente certificado representa la verificación del diseño de mezcla asfáltico enviado por el solicitante.

Personal:

- Téc.: E.E.A.
- Rev.: M.M.F.

Fecha de Emisión : Lima, 19 de febrero del 2022

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.



MARCO ANTONIO
MORENO FLORES
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 176318



Ingenieros S.A.C.
Calle Valladolid 149
Urb. Mayrazgo II Etapa, Ate
Lima, Perú
Teléfono: 01-683-0473 / 683-0476
E-mail: info@jboingenieros.com

EXPEDIENTE N° 011-2022-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Kengy Andagua Mendoza PROYECTO : Mezclas Asfálticas Tibias
DIRECCIÓN : Lima
REFERENCIA : Solicitud de Servicio N° 011-2022-JBO UBICACIÓN : Negromayo - Yauri - San Genaro. Prov. Espinar (Cusco) y Caylloma (Arequipa).
FECHA RECEPCIÓN : Lima, 29 de enero del 2022 FECHA ENSAYO : Lima, 29 de enero del 2022

REFERENCIA DE LA PRUEBA

TIPO DE MEZCLA : Mezcla Asfáltica en Caliente TIPO DE ASFALTO : Sólido
MUESTRA : 44.5% (Piedra chancada - Cantera Chalqui)
54.5% (Arena chancada - Cantera Chalqui)
1.0% (Cal Hidratada) TEMP. MEZCLA (°C) : 125.0

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD (MTC E 522 - 2016) CÁLCULO DEL NÚMERO DE GOLPES PARA PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

N°	DENOMINACIÓN	1A	1B	1C	PROMEDIO	MTC E 522 - 2016
1	NÚMERO DE GOLPES		50		--	--
2	CEMENTO ASFÁLTICO EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL (%)		6.70		--	--
3	AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		41.20		--	--
4	AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		51.18		--	--
5	FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA (%)		0.92		--	--
6	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE (g/cm³)		1.000		--	--
7	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK BASE SECA (*) (g/cm³)		2.533		--	--
8	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO-BULK BASE SECA (*) (g/cm³)		2.614		--	--
9	PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE (g/cm³)		2.300		--	--
10	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	7.30	7.30	7.30	--	--
11	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (1) (g)	1269.4	1272.4	1267.3	--	--
12	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (2) (g)	1271.3	1273.8	1269.0	--	--
13	PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	707.4	708.8	705.0	--	--
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm³)	563.9	565.0	564.0	--	--
15	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2.251	2.252	2.247	--	--
16	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (ASTM D-2041) (g/cm³)		2.400		--	--
17	VACÍOS (%)	6.2	6.2	6.4	6.3	6.75 - 7.25

OBSERVACIONES :

- Muestras fueron tomadas e identificadas por el solicitante.
- El PEN 120/150 fue proporcionado por el solicitante.
- A solicitud del cliente, se añadió el aditivo denominado "EVOTHERM", en un 0.5% respecto del peso del asfalto.
- (*): Los valores de pesos específicos de los materiales, fueron proporcionados por el solicitante.
- Los valores de dosificación de: Asfalto, cal hidratada, piedra chancada y arena chancada, fueron enviados por el solicitante.
- A solicitud del cliente, la evaluación de los resultados se realizó con la Tabla 423-06 de la Sección 423, de las Especificaciones Técnicas EG-2013 del MTC.
- A solicitud del cliente, los agregados, la cal hidratada, el asfalto y el aditivo, fueron mezclados a 125°C.
- El presente certificado representa la verificación del diseño de mezcla asfáltica enviada por el solicitante.

Personal:

- Téc.: E.E.A.
- Rev.: M.M.F.

Fecha de Emisión : Lima, 19 de febrero del 2022

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.




MARCO ANTONIO
MORENO FLORES
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 176318



Ingenieros S.A.C.
Calle Valladolid 149
Urb. Mayorazgo II Etapa, Ate
Lima, Perú
Teléfono: 01-683-0473 / 683-0476
E-mail: informes@jboingenieros.com

EXPEDIENTE N° 011-2022-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Kengy Andagua Mendoza PROYECTO : Mezclas Asfálticas Tibias
DIRECCIÓN : Lima UBICACIÓN : Negromayo - Yauri - San Genaro, Prov. Espinar (Cusco) y Caylloma (Arequipa).
REFERENCIA : Solicitud de Servicio N° 011-2022-JBO FECHA DE INICIO : 29 de enero del 2022
FECHA RECEPCIÓN : 29 de enero del 2022

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD MTC E 522 - 2016

REFERENCIAS DEL DISEÑO MARSHALL EN CALIENTE

IDENTIFICACIÓN : Cantera Chalqui ASFALTO
AGREGADOS : - Cemento asfáltico : PEN 120/150
- Piedra chancada : 44.5 % - Ópt. Cont. de Asfalto : 6.7 %
- Mezcla de arenas : 54.5 % - Temperatura de mezcla : 125 °C (*)
FILLER : ADITIVO
- Cal Hidratada : 1.0 % - Aditivo "EVOTHERM" (líquido) : 0.5 % en peso de asfalto

CÁLCULOS

Muestra	Dato Ensayos	SECO			HUMEDO		
		N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6
Diámetro, mm	D	100.1	100.1	100.1	100.1	100.1	100.1
Espesor (altura), mm	t	70.2	70.3	70.2	70.2	70.2	70.2
Masa seca al aire, g	A	1275.6	1275.5	1274.8	1274.6	1275.0	1274.9
Masa muestra sat. sup. seca, g	B	1277.2	1277.5	1276.1	1275.3	1276.3	1275.7
Masa en el agua, g	C	706.4	708.1	705.7	703.6	705.2	704.6
Volumen, cm ³ (B-C)	E	570.8	571.4	570.4	571.7	571.1	571.1
Peso específico bulk, g/cm ³ (A/E)	F	2.235	2.232	2.235	2.230	2.233	2.232
Peso específico máx., g/cm ³	G	2.403	2.403	2.403	2.403	2.403	2.403
% Vacíos (100(G-F)/G)	H	7.0	7.1	7.0	7.2	7.1	7.1
Volumen de vacíos de aire, cm ³ (H*E/100)	I	40.0	40.8	39.9	41.2	40.5	40.8
Carga (lbf)	P	1283.1	1280.4	1279.8			
Saturado 15 min a 67 kPa (508 mmHg)							
Masa muestra sat. sup. seca, g	B'				1305.6	1305.5	1305.70
Masa en Agua, g	C'				727.1	729.2	727.7
Volumen (B'-C')	E'				578.5	576.3	578.0
Volumen de agua absorbida (B'-A)	J'				30.8	30.5	30.8
% Saturación (100(J'/I))					74.8	76.3	76.9
Hinchamiento (100(E'-E)/E)					1.2	0.9	1.2
Condicionado 16h a -18°C y luego 24 h a 60°C agua							
Espesor, mm	I''				71.1	71.0	71.1
Masa muestra sat. sup. seca, g	B''				1304.6	1305.0	1304.5
Masa en Agua, g	C''				725.5	727.5	726.0
Volumen (B''-C''), cm ³	E''				579.1	577.5	578.5
Volumen de agua absorbida, cm ³ (B''-A)	J''				29.8	30.0	29.6
% Saturación (100(J''/I))					72.3	74.0	73.0
Hinchamiento (100(E''-E)/E)					1.3	1.1	1.3
Carga (lbf)	P''				1053.8	1056.1	1061.8
Esfuerzo Seco, psi (2P/(π*T*D))	Std	75.0	74.7	74.8			
Esfuerzo Húmedo, psi (2P/(π*T*D))	Stm				60.8	61.0	60.7
TSR, Stm /Std*100 (%)					81.3		

Observaciones:

- Muestras fueron tomadas e identificadas por el solicitante.
- El PEN 120/150 fue proporcionado por el solicitante.
- A solicitud del cliente, se añadió el aditivo denominado "EVOTHERM", en un 0.5% respecto del peso del asfalto.
- (*): A solicitud del cliente, los agregados, la cal hidratada, el asfalto y el aditivo, fueron mezclados a 125°C.
- Los valores de dosificación de: Asfalto, cal hidratada, piedra chancada y arena chancada, fueron enviados por el solicitante.
- A solicitud del cliente, la evaluación de los resultados se realizó con la Tabla 423-06 de la Sección 423, de las Especificaciones Técnicas EG-2013 del MTC.



Fecha de emisión : Lima, 19 de febrero del 2022
El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.


MARC ANTONIO
MORÉNO FLORES
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 176318



Ingenieros S.A.C.
Calle Valladolid 149
Urb. Mayorazgo II Etapa, Ate
Lima, Perú
Teléfono: 01-683-0473 / 683-0476
E-mail: informes@jboingenieros.com

EXPEDIENTE N° 011-2022-JBO

INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : Kengy Andagua Mendoza PROYECTO : Mezclas Asfálticas Tibias
DIRECCIÓN : Lima UBICACIÓN : Negromayo - Yauri - San Genaro. Prov. Espinar
REFERENCIA : Solicitud de Servicio N° 011-2022-JBO (Cusco) y Caylloma (Arequipa).
FECHA RECEPCIÓN : 29 de enero del 2022 FECHA DE INICIO : 29 de enero del 2022

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD

MTC E 522 - 2016

REFERENCIAS DEL DISEÑO MARSHALL EN CALIENTE

IDENTIFICACIÓN :

Cantera Chalqui

AGREGADOS :

- Piedra chancada : 44.5%
- Arena chancada : 54.5%

FILLER :

- Cal Hidratada : 1.0%

ASFALTO :

- Cemento asfáltico : PEN 120/150
- Óptimo Contenido de Asfalto : 6.7%
- Temperatura de mezcla : 125 °C (*)

ADITIVO :

- Aditivo denominado "EVOTHERM" (líquido) : 0.5% en peso del asfalto

Acondicionamiento de Muestra	En Seco			En Húmedo (1)		
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6
N° Especimen						
Promedio de Vacíos de Aire (%)	7.0			7.1		
Grado de Saturación, luego del acondicionamiento húmedo (%)				73.1		
Hinchamiento, luego del acondicionamiento húmedo (%)				0.11		
Resistencia a la Tensión en cada especimen - psi	75.00	74.73	74.80	60.81	60.99	60.69
Promedio de Resistencia a la Tensión en cada condición - psi (St _c , St _t)	74.84			60.83		
Daño por humedad (visual) (2)	0			1		
Agregados fracturados (visual)	No presenta			No presenta		

Razón del esfuerzo a la tensión - TSR (promedio St_t/St_c) = 81.3%

Referencia:

AASHTO T 283 (2003): Resistance of Compacted Bituminous Mixture to Moisture Induced Damage

Personal:

- Téc.: E.E.A.
- Rev.: M.M.F.

Observaciones:

- Muestras fueron tomadas e identificadas por el solicitante.
- El PEN 120/150 fue proporcionado por el solicitante.
- A solicitud del cliente, se añadió el aditivo denominado "EVOTHERM", en un 0.5% respecto del peso del asfalto.
- (*) A solicitud del cliente, los agregados, la cal hidratada, el asfalto y el aditivo, fueron mezclados a 125°C.
- Los valores de dosificación de Asfalto, cal hidratada, piedra chancada y arena chancada, fueron enviados por el solicitante.
- A solicitud del cliente, la evaluación de los resultados se realizó con la Tabla 423-06 de la Sección 423, de las Especificaciones Técnicas EG-2013 del MTC.
- (1) Acondicionamiento húmedo (75% +/- 5% de grado de Saturación): - 18°C +/- 3°C por 16 horas luego a 60°C +/- 1.0°C por 24 horas.
- (2) Daño por humedad (visual) - escala de 0 - 5 (con 5 como el de mayor desprendimiento), según método de ensayo.



Fecha de emisión : Lima, 19 de febrero del 2022

El uso de la información contenida en este documento es de exclusiva responsabilidad del solicitante.

MARCO ANTONIO
MORENO FLORES
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 176318

Anexo 8: Certificados de calibración



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Página 1 de 3

<p>N° de Certificado : 1109-MPES-C-2021</p> <p>N° de Orden de trabajo : 0413</p> <p>1. SOLICITANTE : JBO INGENIEROS SOCIEDAD ANONIMA CERRADA</p> <p>Dirección : Cal. Valladolid 149 Urb. Mayorazgo 2DA Etapa Espalda de la pre de univ de lima Lima - Lima - Ate</p> <p>2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : BALANZA</p> <p>Marca : T-SCALE</p> <p>Modelo : NHB-600</p> <p>Número de Serie : 104817014009</p> <p>Alcance de Indicación : 600 g</p> <p>División de escala real (d) : 0,01 g</p> <p>División de escala de verificación (e) : 0,1 g</p> <p>Procedencia : CHINA</p> <p>Identificación : JBO-102-BAL-05 (*)</p> <p>Tipo de indicación : Electrónica</p> <p>Ubicación : ÁREA DE SUELOS</p> <p>Fecha de Calibración : 2021-09-29</p> <p>3. MÉTODO DE CALIBRACIÓN Comparación directa entre las indicaciones de lectura de la balanza y las cargas aplicadas mediante pesas patrones, según: Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase I y II (PC - 011 del SNM-INDECOPI, 4ta edición abril 2010).</p> <p>4. LUGAR DE CALIBRACIÓN Cal. Valladolid 149 Urb. Mayorazgo 2DA Etapa Espalda de la pre de univ de lima Lima - Lima - Ate</p>	<p>La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar combinada por el factor de cobertura $k=2$. Este valor ha sido calculado para un nivel de confianza aproximado del 95 % determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición".</p> <p>Los resultados sólo están relacionados con los items calibrados y 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.</p> <p>PESATEC PERU 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. Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.</p>
---	---

Sello	Fecha de Emisión	Autorizado por
	2021-10-01	 Sandra Jurupe Melgarejo Gerente Técnico

RT08-F09_Rev.06

Elaborado: ICFA

Revisado: JMSE

Aprobado: NGJC

Av. Condevilla 1269 Urb. EL OLIVAR - Callao | Telef. 4848092 - 4847633 - 7444303 - 7444306 | Celular 994080329 - 975525151
 Email: ventas@pesatec.com | Website: www.pesatec.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE PESATEC PERU SAC

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 1109-MPES-C-2021

Página 2 de 3

5. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperatura	19,9 °C	19,9 °C
Humedad Relativa	68 %	68 %

6. TRAZABILIDAD

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Identificación	Certificado de calibración
Patrones de referencia de INACAL-DM	Pesas (Clase de exactitud E2)	ZT-24	LM-C-255-2021

7. OBSERVACIONES

Para 500 g la balanza indicó 499,97 g. Se ajustó y se procedió a su calibración. Los errores máximos permitidos (e.m.p.) para esta balanza corresponden a los e.m.p. para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II, según la Norma Metroológica Peruana 003 - 2009. Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático.

Se colocó una etiqueta con la indicación de "CALIBRADO".

(*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento

8. RESULTADOS DE MEDICIÓN

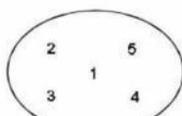
INSPECCIÓN VISUAL			
AJUSTE DE CERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	CURSOR	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	SIST. DE TRABA	NO TIENE
NIVELACIÓN	TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Medición N°	Carga L1= 300,00 g			Carga L2= 600,00 g		
	I(g)	ΔL(mg)	E(mg)	I(g)	ΔL(mg)	E(mg)
1	300,00	6	-1	600,00	7	-2
2	300,00	7	-2	600,00	6	-1
3	300,00	7	-2	600,00	6	-1
4	300,00	6	-1	600,00	7	-2
5	300,00	7	-2	600,00	7	-2
6	300,00	5	0	600,00	7	-2
7	300,00	6	-1	600,00	7	-2
8	300,00	6	-1	600,00	6	-1
9	300,00	6	-1	600,00	7	-2
10	300,00	7	-2	600,00	7	-2
Diferencia Máxima			2	1		
Error máximo permitido ±			100 mg	± 200 mg		

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 1109-MPES-C-2021

Página 3 de 3



Vista Frontal

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posición de la Carga	Determinación de E ₀				Determinación del Error corregido				
	Carga mínima (g)	l(g)	ΔL(mg)	E ₀ (mg)	Carga (g)	l(g)	ΔL(mg)	E(mg)	E _c (mg)
1	0,10	0,10	6	-1	200,00	200,00	6	-1	0
2		0,10	6	-1		199,99	4	-9	-8
3		0,10	5	0		200,00	5	0	0
4		0,10	6	-1		200,01	7	8	9
5		0,10	7	-2		200,00	8	-3	-1

(*) valor entre 0 y 10 e

Error máximo permitido : ± 100 mg

ENSAYO DE PESAJE

Carga L(g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				emp(**) ±(mg)
	l(g)	ΔL(mg)	E(mg)	E _c (mg)	l(g)	ΔL(mg)	E(mg)	E _c (mg)	
0,10	0,10	7	-2	0	0,20	3	2	4	100
0,20	0,20	7	-2	0	1,00	3	2	4	100
1,00	1,00	8	-3	-1	10,00	2	3	5	100
10,00	10,00	7	-2	0	20,00	3	2	4	100
20,00	20,00	7	-2	0	50,00	3	2	4	100
50,00	50,00	7	-2	0	80,00	2	3	5	100
80,00	80,00	7	-2	0	100,00	2	3	5	100
100,00	100,00	7	-2	0	300,00	5	0	2	100
300,00	300,00	7	-2	0	500,00	5	0	2	100
500,00	500,00	7	-2	0	600,00	5	0	2	200
600,00	600,00	5	0	2					

(**) error máximo permitido

Lectura corregida e incertidumbre expandida del resultado de una pesada

$$R_{\text{corregida}} = R - 0,0000011 \times R$$

$$U_R = 2\sqrt{0,000020 \text{ g}^2 + 0,0000000044 \times R^2}$$

 R: Lectura de la balanza ΔL: Carga Incrementada E: Error encontrado E_c: Error en cero E_c: Error corregido

 Fin del certificado de calibración



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LC-013



Registro N° LC - 013

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LCT-A-386-2021

CON VALOR OFICIAL

SEGÚN CÉDULA DE NOTIFICACIÓN N° 084-2016/INACAL-DA

N° Exp: 211406

PÁGINA: 1 de 6

Fecha de emisión :

2021-10-04

1.- CLIENTE : JBO INGENIEROS S.A.C.

2.- DIRECCIÓN : Calle Valladolid N° 149 Urb. Mayorazgo 2da. Etapa - Ate

3.- PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN : INDECOPI - SNM PC-018 (2° Edición Junio 2009)

*Procedimiento para la calibración o caracterización de Medios
Isotermos con aire como medio termostático.*

4.- MÉTODO DE CALIBRACIÓN :

Determinación de la distribución interna de temperatura del medio isoterma comparada con las indicaciones de su propio termómetro, mediante el método de comparación directa.

5.- PATRONES DE REFERENCIA Y TRABAJO (VIM3 5.6 y 5.7)

Trazabilidad metrológica (VIM3 7.41)	Nombre del patrón	Código del patrón	Certificado de Calibración
DM INACAL - PERÚ	Termómetro digital	MT 021	INACAL LT-151-2020
RELES SRL	Termómetro multicanal	MT 009/3	RELES LCT-A-403-2020

El patrón de trabajo utilizado para la calibración Código MT 009/3 con certificado de RELES fue calibrado con el patrón de referencia Código MT 021 que tiene asegurada su trazabilidad metrológica a los patrones de la Dirección de Metrología - INACAL.

6.- MEDIO ISOTERMO CALIBRADO :

HORNO			
Marca	: FAEL	Código	: JBO-102-HOR-01
Modelo	: ER-120LT	Procedencia	: Perú
Serie	: 250320112		

7.- CONDICIONES DE REFERENCIA (VIM3 4.11) :

Lugar de Calibración :

Sala de Suelos

JBO Ingenieros S.A.C.

Condiciones ambientales durante la calibración :

	Inicio	Final
Temperatura Ambiental	20,3 °C	21,6 °C
Humedad Relativa	71,2 %	68,3 %

Para otras condiciones de referencia, véase la página 4 de este documento.

8.- FECHA DE CALIBRACIÓN :

2021-09-30



JEFE DEL LABORATORIO DE CALIBRACIÓN	RESPONSABLE DE DIVISIÓN
 RELES AGROPIS CASTILLA CALLE INGENIERO FÍSICO Reg. CIP N° 141675	 Javier Yataco Yataco



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LC-013



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LCT-A-386-2021

N° Exp: 211406

PÁGINA: 2 de 6

Fecha de emisión :
2021-10-04

9.- RESÚMEN DE RESULTADOS :

Para mayores detalles, véase a partir de la página 5 de este documento.

CALIBRACIÓN PARA LA TEMPERATURA DE $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$

PARÁMETRO	VALOR ($^{\circ}\text{C}$)	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA ($^{\circ}\text{C}$)
Máxima Temperatura Medida	115,9	0,6
Mínima Temperatura Medida	103,5	0,6
Desviación de Temperatura en el Tiempo	1,9	0,1
Desviación de Temperatura en el Espacio	11,5	0,9
Estabilidad Medida (\pm)	0,95	0,04
Uniformidad Medida	12,1	0,6

Incetidumbre expandida de las indicaciones del termómetro propio del Medio Isotermo: $0,06\text{ }^{\circ}\text{C}$

Las incertidumbres de medición expandidas reportadas son las incertidumbres de medición estándares multiplicadas por el factor de cobertura $k=2$ de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95 %.

Durante la calibración y bajo las condiciones en que esta ha sido hecha ; el medio isotermo **CUMPLE** con los límites especificados de temperatura :
($110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$)

10.- OBSERVACIONES :

a.- El instrumento de medición y el selector forman parte de un controlador e indicador de temperatura. Este controlador es un accesorio del medio isotermo.

b.- ACCESORIOS DEL MEDIO ISOTERMO :

Nombre	Identificación	Intervalo de indicación (VTM3 4.19)	Resolución (VTM3 4.15)	Tipo de Indicación
Instrumento de medición (*)	NO INDICA	NO INDICA	0,1 $^{\circ}\text{C}$	Indicación Digital
Selector	NO INDICA	NO INDICA	0,1 $^{\circ}\text{C}$	Indicación Digital

(*)CONTROLADOR E INDICADOR DE TEMPERATURA DIGITAL Marca : AUTONICS, Modelo : TZ4ST y con N° Serie : NO INDICA

c.- Se ha colocado una etiqueta autoadhesiva con la indicación del número de CERTIFICADO y la fecha de calibración. Se adjunta copia del certificado de calibración del patrón de trabajo utilizado.

d.- La captura de datos se inició luego de un tiempo de precalentamiento y estabilización de 2 horas. Los datos se tomaron cada 2 minutos en un tiempo total de 60 minutos.



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LC-013



Registro N° LC - 013



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LCT-A-386-2021

N° Exp: 211406

PÁGINA: 3 de 6

Fecha de emisión :

2021-10-04

10.- OBSERVACIONES (continuación):

- e.- Los resultados consignados en este documento se refieren únicamente al Medio Isotermo sometido a calibración , al momento y condiciones en las que se realizaron las mediciones. RELES S.R.L no se responsabiliza por los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado del Medio Isotermo calibrado o de este documento
- f.- Los resultados DE CALIBRACIÓN no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- g.- Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones, el Cliente debería recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados (lapsos de confirmación metrológica). Se recomienda que la determinación de estos intervalos se base en la norma ISO 10012, la guía ILAC-G24 y el documento OIML D 10.
- h.- Este CERTIFICADO documenta la trazabilidad de la medición a los patrones nacionales, los cuales representan las unidades de medida en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
- i.- VIM3: Vocabulario Internacional de Metrología - Conceptos básicos y generales, y términos asociados, 3era Edición (JCGM 200:2012). Traducción al español realizada por la Dirección de Metrología - INACAL - Perú.





LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LG-013



Registro INACAL - 013



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LCT-A-386-2021

N° Exp: 211406

PÁGINA: 4 de 6

Fecha de emisión:

2021-10-04

DISTRIBUCIÓN DE LOS TERMOPARES

El esquema de distribución de los termopares en el volumen interno y en los planos se muestra en las figuras 1 y 2:

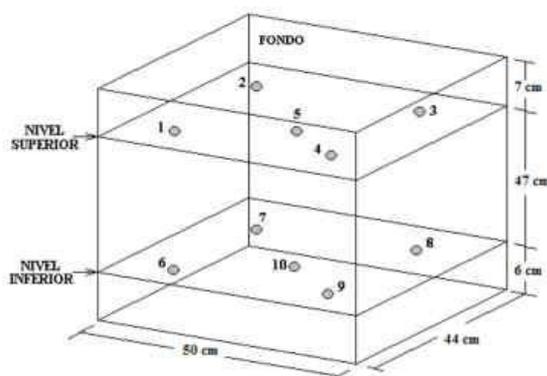


Fig. 1.- Posición tridimensional de los termopares.



Fig. 2.- Fotografía del interior del medio isotermo.

Los termopares ubicados en los niveles superior e inferior se colocaron a 10 cm de las paredes laterales y a 7 cm del fondo y frente del medio isotermo. Los termopares ubicados en el centro se encuentran ubicados a 25 cm de las paredes laterales y a 22 cm del fondo y frente del medio isotermo. Los termopares 5 y 10 están ubicados en la parte central de sus respectivos planos, tal como se muestra en la figura 3

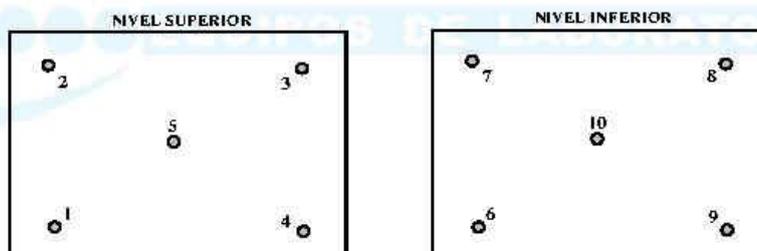


Fig. 3.- Posición de los termopares en los planos.

TIPO DE VENTILACIÓN : Natural

CONDICIONES DE REFERENCIA

POSICIÓN DE LOS PLANOS

NIVEL SUPERIOR : 15 cm encima 3.º Escalón
NIVEL INFERIOR : 1 cm debajo 1.º Escalón

POSICIÓN DE LOS PARRILLAS

PARRILLA SUPERIOR : 3.º Escalón
PARRILLA INFERIOR : 1.º Escalón

OTRAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL MEDIO ISOTERMO DURANTE LA MEDICIÓN

Temperatura	Pos. Selector	Pos. Ventilación	% Carga	Descripción de la carga
110 °C	115,0	-	50 %	12 tarros conteniendo muestras



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LC-013



Registro N° LC-013



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LCT-A-386-2021

N° Exp: 213406

PÁGINA: 5 de 6

Fecha de emisión:

2021.10.04

MEDIO ISOTERMO : HORNO

Marca : FAEL Modelo : ER-120LT Serie : 250320112 Código : JBO-102-HOR-01

CALIBRACIÓN PARA LA TEMPERATURA DE $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tiempo (min.)	T ind. (°C) (TERMOESTRÓMETRO)	TEMPERATURAS EN LAS POSICIONES DE MEDICIÓN (°C)										T. prom. (°C)	T máx. - T mín. (°C)
		NIVEL SUPERIOR					NIVEL INTERIOR						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0	115,0	113,8	110,7	115,5	115,7	108,9	108,7	103,7	105,5	104,2	104,3	109,1	12,0
2	115,1	113,6	110,7	115,5	115,5	109,2	108,6	103,7	106,1	104,2	104,7	109,2	11,8
4	114,9	113,9	111,0	115,5	115,6	109,0	108,8	103,5	106,0	104,4	104,6	109,2	12,1
6	115,0	113,8	111,0	115,6	115,2	108,7	108,7	103,6	106,1	104,3	104,6	109,1	12,0
8	114,9	113,7	110,7	115,5	115,5	109,4	108,7	103,9	105,9	104,5	104,9	109,3	11,6
10	115,0	113,5	110,7	115,5	115,2	108,9	108,8	103,6	106,2	104,3	104,7	109,1	11,9
12	115,0	113,8	110,5	115,2	115,1	108,9	108,8	103,8	105,8	104,3	104,7	109,1	11,4
14	115,0	113,4	110,7	115,2	115,2	108,8	108,7	103,8	105,9	104,4	104,4	109,0	11,4
16	115,0	113,5	110,8	115,2	115,2	109,0	108,7	103,8	105,9	104,3	104,7	109,1	11,4
18	115,0	113,6	110,8	115,3	115,3	109,1	108,7	103,6	106,2	104,4	104,7	109,2	11,7
20	115,1	113,2	110,6	115,3	115,1	109,0	108,4	103,5	106,0	104,7	104,9	109,1	11,8
22	115,0	113,6	110,7	115,3	115,0	109,1	108,5	103,5	106,1	104,6	105,0	109,1	11,8
24	115,0	113,6	110,9	115,5	115,2	109,1	108,8	103,8	106,4	104,7	104,8	109,3	11,7
26	114,9	113,4	110,9	115,4	115,2	109,4	108,9	103,7	106,1	104,9	104,9	109,3	11,7
28	114,9	113,7	110,9	115,4	115,2	109,5	108,8	103,9	106,2	104,4	104,9	109,3	11,5
30	114,9	113,6	110,8	115,5	115,4	109,2	109,0	103,8	106,5	104,9	105,1	109,4	11,7
32	114,9	113,6	111,0	115,7	115,3	109,3	109,0	103,9	106,6	104,9	105,1	109,4	11,8
34	115,0	113,9	111,2	115,6	115,9	109,4	108,9	104,2	106,3	105,0	105,2	109,5	11,7
36	115,0	113,5	111,1	115,6	115,4	109,6	109,2	104,2	106,9	105,1	105,3	109,6	11,4
38	115,0	113,7	111,1	115,7	115,4	109,7	109,1	104,0	106,7	105,1	105,2	109,6	11,7
40	115,0	113,6	111,1	115,5	115,4	109,6	109,2	104,2	106,5	105,1	105,6	109,6	11,3
42	115,0	113,6	111,2	115,5	115,0	109,6	109,2	104,2	106,6	104,9	105,6	109,5	11,3
44	115,1	113,9	111,1	115,5	115,4	109,4	109,3	104,2	106,7	105,0	105,4	109,6	11,3
46	115,0	113,3	110,9	115,5	115,0	109,4	108,9	104,2	106,9	105,2	105,5	109,5	11,3
48	115,0	113,8	111,4	115,6	115,5	109,7	109,2	104,1	107,0	105,6	105,4	109,7	11,5
50	115,0	113,9	111,6	115,6	115,4	109,6	109,1	104,2	106,9	105,4	105,6	109,7	11,4
52	114,9	113,7	111,3	115,7	115,6	109,6	109,4	104,3	107,1	105,2	105,6	109,7	11,4
54	115,0	113,8	111,5	115,6	115,3	110,1	109,3	104,4	107,2	105,4	105,9	109,8	11,2
56	115,0	113,7	111,4	115,6	115,2	109,9	109,2	104,5	107,4	105,6	105,9	109,8	11,1
58	115,1	113,8	111,5	115,7	115,6	110,1	109,5	104,6	107,2	105,7	105,9	109,9	11,1
60	115,1	113,8	111,5	115,8	115,5	109,9	109,5	104,6	107,4	105,9	106,1	110,0	11,2
T.PROM	115,0	113,7	111,0	115,5	115,3	109,3	108,9	104,0	106,5	104,9	105,1	109,4	
T.MAX	115,1	113,9	111,6	115,8	115,9	110,1	109,5	104,6	107,4	105,9	106,1		
T.MIN	114,9	113,2	110,5	115,2	115,0	108,7	108,4	103,5	105,5	104,2	104,3		
DTT	0,2	0,7	1,1	0,6	0,9	1,4	1,1	1,1	1,9	1,7	1,8		

Temperatura ambiental promedio : $21,0\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tiempo de calibración del equipo : 60 min

PARÁMETRO	VALOR (°C)	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA (°C)
Máxima Temperatura Medida	115,9	0,6
Mínima Temperatura Medida	103,5	0,6
Desviación de Temperatura en el Tiempo	1,9	0,1
Desviación de Temperatura en el Espacio	11,5	0,9
Estabilidad Medida (\pm)	0,95	0,04
Uniformidad Medida	12,1	0,6

T.PROM : Promedio de la temperatura en una posición de medición durante el tiempo de calibración.

T. prom : Promedio de las temperaturas en las diez posiciones de medición para un instante dado.

T. MAX : Temperatura máxima.

T. MIN : Temperatura mínima.

DTT : Desviación de temperatura en el tiempo.

Observaciones :

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.

2.- 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.

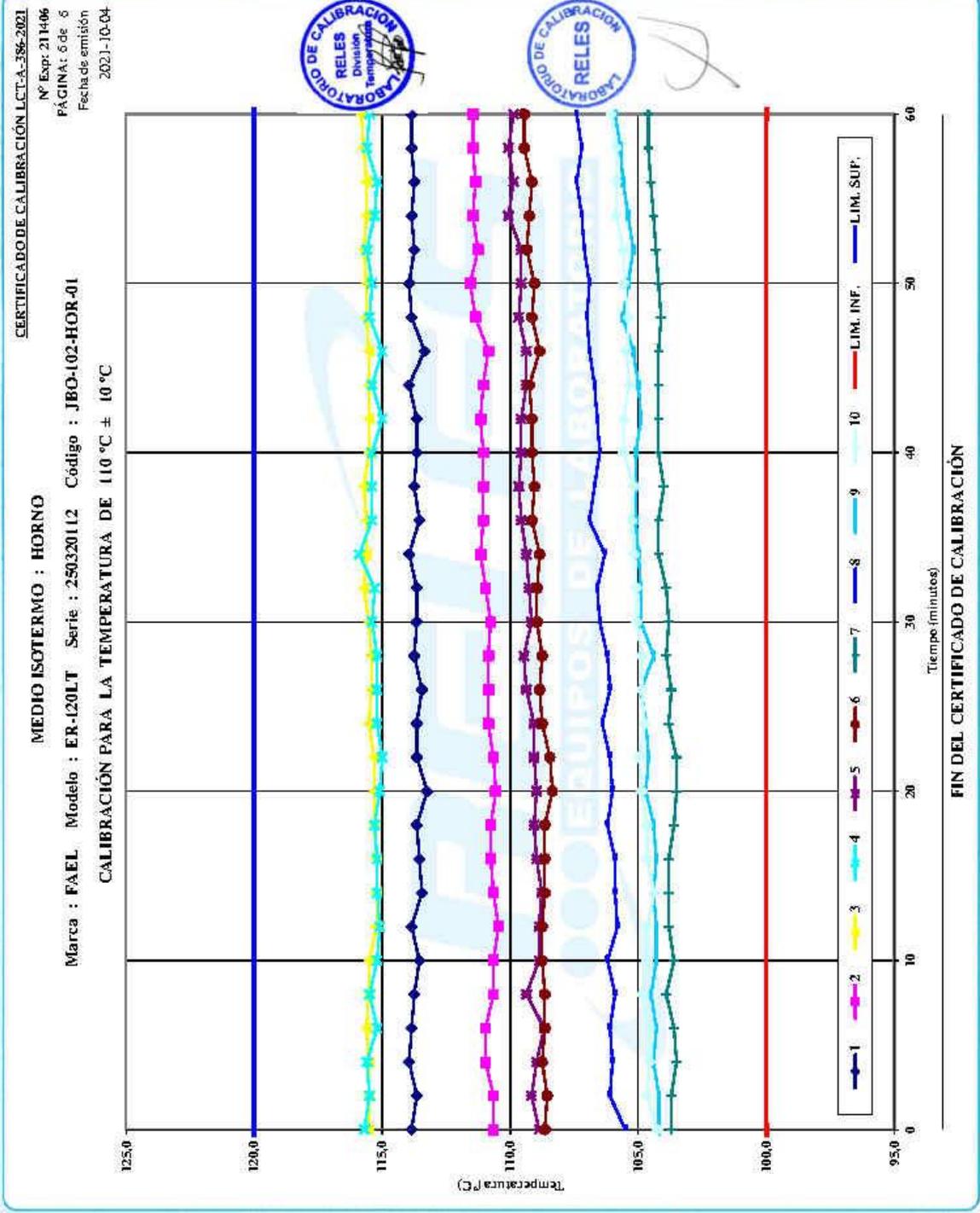
3.- La Uniformidad es la máxima diferencia medida de temperatura entre las diferentes posiciones espaciales para un mismo instante de tiempo. La Estabilidad es considerada igual a $\pm 1/2$ máx. DTT.



LABORATORIO DE CALIBRACION ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LC-013



Registro: N°12 - 013





LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LCT-226-2021

N° Exp: 212228

PÁGINA: 1 de 6

Fecha de emisión:
2021-12-17

1.- CLIENTE : JBO INGENIEROS S.A.C.

2.- DIRECCIÓN : Calle Valladolid N° 149 Urb. Mayorazgo 2da. Etapa - Ate

3.- PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN : COMPARACIÓN DIRECTA tomando como referencia el procedimiento INDECOPI - SNM PC-018 (2ª Edición Junio 2009)
Calibración de Medios Isotermos con aire como medio termostático.

4.- MÉTODO DE CALIBRACIÓN : Determinación de la distribución interna de temperatura del medio isoterma comparada con las indicaciones de su propio termómetro, mediante el método de comparación directa.

5.- PATRONES DE REFERENCIA Y TRABAJO (VIM3 5.6 y 5.7)

Trazabilidad metrológica (VIM3 2.41)	Nombre del patrón	Código del patrón	Certificado de Calibración
DM INACAL - PERÚ	Termómetro digital	MT 021	INACAL LT-221-2021
RELES SRL	Termómetro multicanal	MT 015/1	RELES LCT-A-375-2021

El patrón de trabajo utilizado para la calibración Código MT 015/1 con certificado de RELES fue calibrado con el patrón de referencia Código MT 021 que tiene asegurada su trazabilidad metrológica a los patrones de la Dirección de Metrología - INACAL.

6.- MEDIO ISOTERMO CALIBRADO :

BAÑO MARÍA			
Marca	: GEMMYCO	Código	: JBO-003-BMR-01
Modelo	: YCW-010E	Procedencia	: Taiwan
Serie	: 805685		

7.- CONDICIONES DE REFERENCIA (VIM3 4.11) :

Lugar de Calibración :

Sala de Asfalto

JBO Ingenieros S.A.C.

Condiciones ambientales durante la calibración :

	Inicio	Final
Temperatura Ambiental	21,0 °C	21,3 °C
Humedad Relativa	69,8 %	71,4 %

Para otras condiciones de referencia, véase la página 4 de este documento.

8.- FECHA DE CALIBRACIÓN :

2021-12-14



JEFE DEL LABORATORIO DE CALIBRACIÓN	RESPONSABLE DE DIVISIÓN
 E. S. AGUIRRE CASTILLA CALLE INGENIERO FÍSICO Reg. CIP N° 141875	 Javier Yataco Tasayco

Prohibida la reproducción parcial de este documento sin autorización escrita de RELES S.R.L.



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LCT-226-2021

N° Exp: 212228

PÁGINA: 2 de 6

Fecha de emisión:
2021-12-17



9.- RESÚMEN DE RESULTADOS :

Para mayores detalles, veáse a partir de la página 5 de este documento.

CALIBRACIÓN PARA LA TEMPERATURA DE $80\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$

PARÁMETRO	VALOR ($^{\circ}\text{C}$)	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA ($^{\circ}\text{C}$)
Máxima Temperatura Medida	80,41	0,35
Mínima Temperatura Medida	78,89	0,35
Desviación de Temperatura en el Tiempo	1,00	0,05
Desviación de Temperatura en el Espacio	0,70	0,19
Estabilidad Medida (\pm)	0,50	0,02
Uniformidad Medida	1,37	0,22

Incertidumbre expandida de las indicaciones del termómetro propio del Medio Isotermo: $0,06\text{ }^{\circ}\text{C}$

Las incertidumbres de medición expandidas reportadas son las incertidumbres de medición estándares multiplicadas por el factor de cobertura $k=2$ de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95 %.

Durante la calibración y bajo las condiciones en que esta ha sido hecha ; el medio isotermo CUMPLE con los límites especificados de temperatura :

($80\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$)

10.- OBSERVACIONES :

a.- El instrumento de medición y el selector forman parte de un controlador e indicador de temperatura. Este controlador es un accesorio del medio isotermo.

b.- ACCESORIOS DEL MEDIO ISOTERMO :

Nombre	Identificación	Intervalo de indicación (VIM3 4.19)	Resolución (VIM3 4.15)	Tipo de Indicación
Instrumento de medición (*)	NO INDICA	NO INDICA	0,1 $^{\circ}\text{C}$	Indicación Digital
Selector	NO INDICA	NO INDICA	0,1 $^{\circ}\text{C}$	Indicación Digital

(*) CONTROLADOR E INDICADOR DE TEMPERATURA DIGITAL Marca : GEMMYCO , Modelo : NO INDICA y con N° Serie : NO INDICA

c.- Se ha colocado una etiqueta autoadhesiva con la indicación del número de CERTIFICADO y la fecha de calibración. Se adjunta copia del certificado de calibración del patrón de trabajo utilizado.

d.- La captura de datos se inició luego de un tiempo de precalentamiento y estabilización de 1 hora. Los datos se tomaron cada 2 minutos en un tiempo total de 60 minutos.

Prohibida la reproducción parcial de este documento sin autorización escrita de RELES S.R.L.



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LCT-226-2021

N° Exp: 212228

PÁGINA: 3 de 6

Fecha de emisión:

2021-12-17

10.- OBSERVACIONES (continuación):

- e.- Los resultados consignados en este documento se refieren únicamente al Medio Isotermo sometido a calibración, al momento y condiciones en las que se realizaron las mediciones. RELES S.R.L. no se responsabiliza por los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado del Medio Isotermo calibrado o de este documento
- f.- Los resultados DE CALIBRACIÓN no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- g.- Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones, el Cliente debería recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados (lapsos de confirmación metrológica). Se recomienda que la determinación de estos intervalos se base en la norma ISO 10012, la guía ILAC-G24 y el documento OIML D 10.
- h.- Este CERTIFICADO documenta la trazabilidad de la medición a los patrones nacionales, los cuales representan las unidades de medida en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
- i.- **VIM3:** Vocabulario Internacional de Metrología - Conceptos básicos y generales, y términos asociados, 3era Edición (JCGM 200:2012). Traducción al español realizada por la Dirección de Metrología - INACAL - Perú.



Prohibida la reproducción parcial de este documento sin autorización escrita de RELES S.R.L.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LCT-226-2021

DISTRIBUCIÓN DE LOS TERMOPARES

El esquema de distribución de los termopares en el volumen interno y en los planos se muestra en las figuras 1 y 2 :

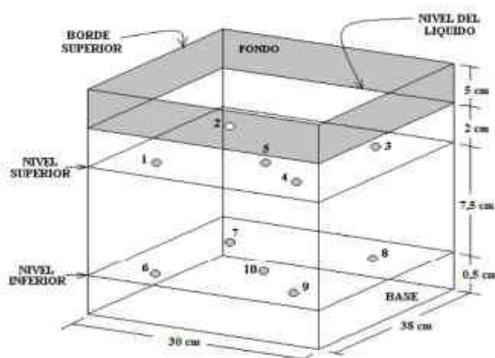


Fig. 1.- Posición tridimensional de los termopares.



Fig. 2.- Fotografía del interior del medio isoterma.

Los termopares ubicados en los niveles superior e inferior se colocaron a 4 cm de las paredes laterales y a 4 cm del fondo y frente del medio isoterma. Los termopares ubicados en el centro se encuentran ubicados a 15 cm de las paredes laterales y a 19 cm del fondo y frente del medio isoterma. Los termopares 5 y 10 están ubicados en la parte central de sus respectivos planos, tal como se muestra en la figura 3

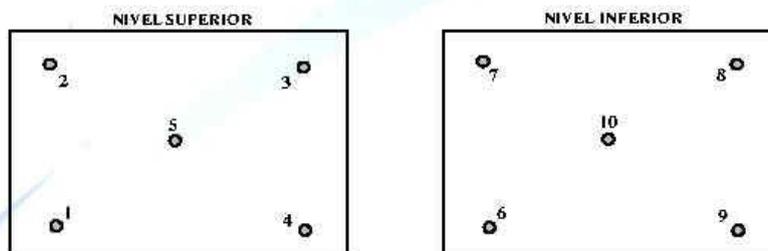


Fig. 3.- Posición de los termopares en los planos.



LÍQUIDO TERMOSTÁTICO: AGUA DESTILADA

CONDICIONES DE REFERENCIA

POSICIÓN DE LOS PLANOS

NIVEL SUPERIOR : 7 cm debajo superior
 NIVEL INFERIOR : 0,5 cm encima base



OTRAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL MEDIO ISOTERMO DURANTE LA MEDICIÓN

Temperatura	Pos. Selector	% Carga	Descripción de la carga
80 °C	79,5	90 %	06 bloques de mezclas asfálticas



Importación, Venta, Fabricación, Mantenimiento,
Calibración y Certificación de Equipos de Laboratorio

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LCT-226-2021
Nº Exp: 212228
PÁGINA: 5 de 6

MEDIO ISOTERMO : BAÑO MARÍA LÍQUIDO TERMOSTÁTICO : AGUA DESTILADA
Marca : GEMMYCO Modelo : YCW-010E Serie : 805685 Código : JBO-003-BMR-01

Fecha de emisión :
2021-12-17

CALIBRACIÓN PARA LA TEMPERATURA DE 80 °C ± 2 °C

Tiempo (min.)	T ind. (°C) (TERMOMETRO PROPIO)	TEMPERATURAS EN LAS POSICIONES DE MEDICIÓN (°C)										T. prom. (°C)	T máx. - T mín. (°C)
		NIVEL SUPERIOR					NIVEL INFERIOR						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0	79,5	80,21	80,23	80,05	80,07	80,08	79,77	79,90	79,63	79,64	79,57	79,91	0,67
2	79,5	80,16	80,13	80,00	80,02	79,98	79,62	79,80	79,73	79,44	79,52	79,84	0,72
4	79,6	80,21	80,13	79,95	80,02	79,98	79,57	79,85	79,38	79,84	79,57	79,85	0,83
6	79,5	80,11	80,18	79,95	79,97	79,98	79,87	79,85	79,68	79,34	79,47	79,84	0,84
8	79,6	80,16	80,13	79,95	79,97	80,03	79,47	79,85	79,33	79,69	79,47	79,80	0,83
10	79,6	80,11	80,18	80,00	79,97	80,03	79,77	79,90	79,78	78,99	79,42	79,81	1,19
12	79,5	80,16	80,18	80,00	80,02	79,98	79,57	79,90	79,38	79,74	79,47	79,84	0,81
14	79,5	80,16	80,18	80,00	80,02	80,03	79,67	79,85	79,58	79,59	79,47	79,85	0,72
16	79,5	80,16	80,23	80,00	80,02	80,03	79,92	79,85	79,88	78,89	79,52	79,85	1,34
18	79,6	80,26	80,18	80,00	80,02	80,03	79,67	79,90	79,48	79,79	79,52	79,88	0,78
20	79,5	80,26	80,18	80,00	80,07	80,03	79,62	79,90	79,58	79,84	79,52	79,90	0,74
22	79,6	80,21	80,23	80,00	79,97	80,08	79,92	79,95	79,73	79,34	79,52	79,89	0,89
24	79,6	80,16	80,23	80,00	80,07	80,08	79,82	79,90	79,53	79,89	79,52	79,92	0,72
26	79,6	80,16	80,23	80,00	80,07	80,08	79,92	79,95	79,78	79,29	79,52	79,90	0,94
28	79,6	80,41	80,23	80,00	80,07	80,08	79,97	79,90	79,78	79,04	79,52	79,90	1,37
30	79,5	80,06	80,13	79,95	79,97	79,98	79,77	79,80	79,73	79,24	79,52	79,81	0,89
32	79,5	80,16	80,13	80,00	79,97	79,98	79,67	79,85	79,68	79,09	79,42	79,79	1,07
34	79,6	80,16	80,18	80,00	79,97	79,98	79,92	79,85	79,78	79,44	79,47	79,87	0,74
36	79,5	80,16	80,18	80,00	79,97	79,98	79,87	79,90	79,63	79,44	79,47	79,86	0,74
38	79,6	80,11	80,13	79,95	79,97	79,98	79,87	79,80	79,83	78,99	79,47	79,81	1,14
40	79,6	80,11	80,13	80,00	79,92	79,98	79,62	79,85	79,58	79,49	79,42	79,81	0,72
42	79,5	80,16	80,18	80,00	79,97	80,03	79,97	79,90	79,68	79,29	79,47	79,86	0,89
44	79,5	80,16	80,13	79,95	79,97	79,98	79,62	79,80	79,33	79,69	79,52	79,81	0,83
46	79,5	80,16	80,18	80,00	79,97	80,08	79,57	79,90	79,43	79,69	79,47	79,84	0,76
48	79,6	80,11	80,18	80,00	80,02	79,98	79,87	79,90	79,58	79,34	79,47	79,84	0,84
50	79,5	80,11	80,18	80,00	79,97	80,03	79,92	79,85	79,43	79,89	79,52	79,89	0,76
52	79,5	80,11	80,13	80,00	79,97	79,98	79,82	79,85	79,58	79,59	79,47	79,85	0,67
54	79,6	80,21	80,18	80,00	80,02	80,03	79,72	79,85	79,38	79,89	79,52	79,88	0,83
56	79,6	80,16	80,18	80,00	80,02	80,03	79,62	79,85	79,38	79,84	79,47	79,85	0,81
58	79,6	80,16	80,13	80,00	80,02	80,03	79,62	79,85	79,48	79,59	79,52	79,84	0,68
60	79,5	80,16	80,18	80,00	79,97	80,03	79,77	79,90	79,38	79,89	79,47	79,87	0,81
T.PROM	79,5	80,20	80,20	80,00	80,00	80,00	79,80	79,90	79,60	79,50	79,50	79,87	
T.MAX	79,6	80,41	80,23	80,05	80,07	80,08	79,97	79,95	79,88	79,89	79,57		
T.MIN	79,5	80,06	80,13	79,95	79,92	79,98	79,47	79,80	79,33	78,89	79,42		
DTT	0,1	0,35	0,10	0,10	0,15	0,10	0,50	0,15	0,55	1,00	0,15		

Temperatura ambiental promedio : 21,2 °C

Tiempo de calibración del equipo : 60 min



PARÁMETRO	VALOR (°C)	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA (°C)
Máxima Temperatura Medida	80,4	0,35
Mínima Temperatura Medida	78,9	0,35
Desviación de Temperatura en el Tiempo	1,0	0,05
Desviación de Temperatura en el Espacio	0,7	0,19
Estabilidad Medida (±)	0,50	0,02
Uniformidad Medida	1,4	0,22



T.PROM : Promedio de la temperatura en una posición de medición durante el tiempo de calibración.

T. prom : Promedio de las temperaturas en las diez posiciones de medición para un instante dado.

T. MAX : Temperatura máxima.

T. MIN : Temperatura mínima.

DTT : Desviación de temperatura en el tiempo.

Observaciones :

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.

2.- 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.

3.- La Uniformidad es la máxima diferencia medida de temperatura entre las diferentes posiciones espaciales para un mismo instante de tiempo. La Estabilidad es considerada igual a ±1/2 max. DTT.

Jr. Pomabamba N° 774 - Breña Telf: 4246152 / 3301720 / 6523200 Fax: 6523213 (102) Ventas : (104)
ventas@reles.com.pe www.reles.com.pe

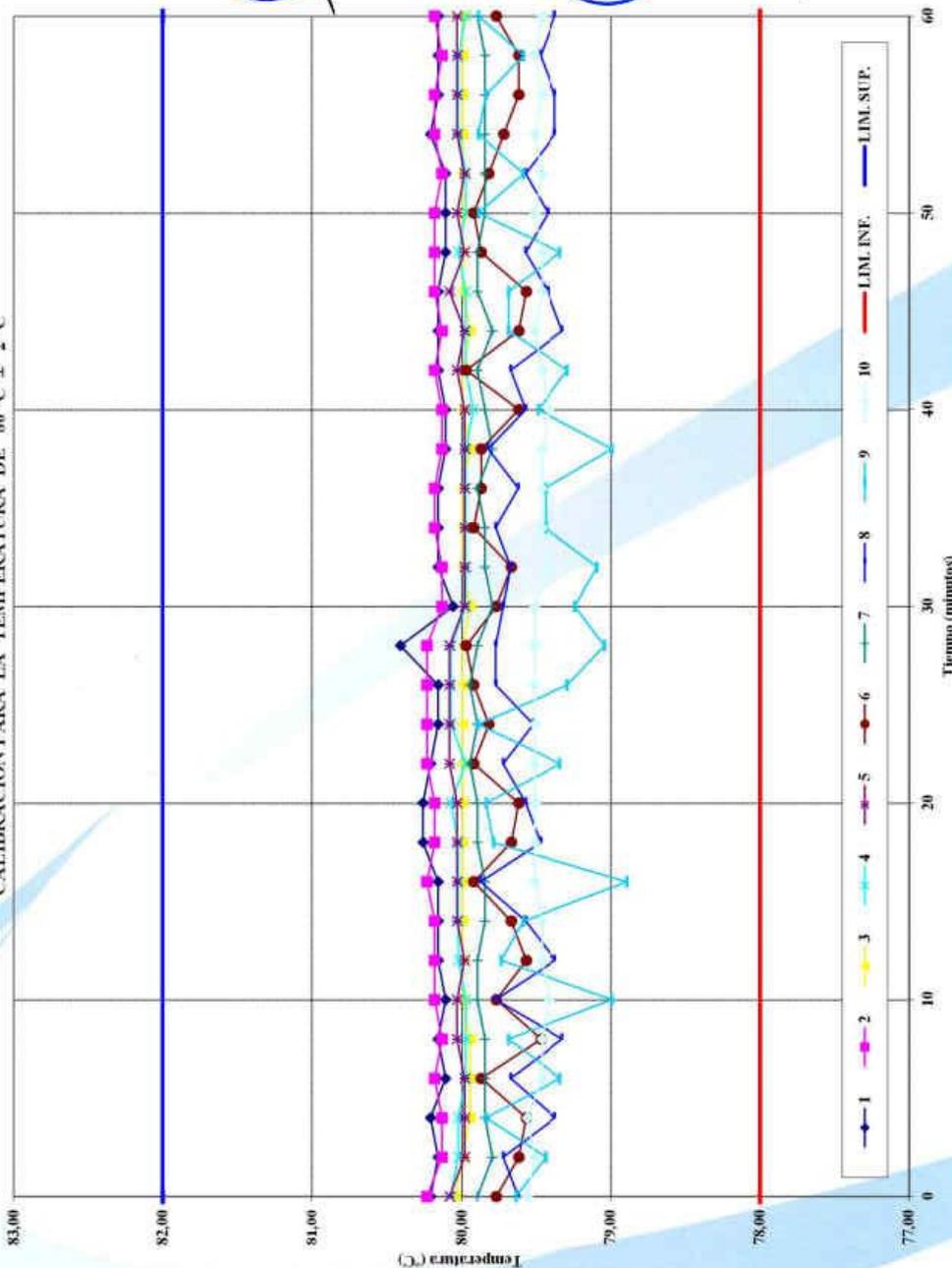


Importación, Venta, Fabricación, Mantenimiento, Calibración y Certificación de Equipos de Laboratorio

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LCT-226-2021
 Nº Exp: 212228
 PÁGINA: 6 de 6
 Fecha de emisión: 2021-12-17

MEDIO ISOTERMO : BAÑO MARÍA LÍQUIDO TERMOSTÁTICO : AGUA DESTILADA
 Marca : GEMMYCO Modelo : YCW-010E Serie : 805685 Código : JBO-003-BMR-01

CALIBRACIÓN PARA LA TEMPERATURA DE 80 °C ± 2 °C



FIN DEL CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN





LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LC-013



Registro N° LC - 013

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LCT-A-204-2021

CON VALOR OFICIAL

SEGÚN CÉDULA DE NOTIFICACIÓN N° 084-2016/INACAL-DA

N° Exp: 210424

PÁGINA: 1 de 6

Fecha de emisión :

2021-05-11

1.- CLIENTE : JBO INGENIEROS S.A.C.

2.- DIRECCIÓN : Calle Valladolid N° 149 Urb. Mayorazgo 2da. Etapa - Ate

3.- PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN : INDECOPI - SNM PC-018 (2° Edición Junio 2009)

*Procedimiento para la calibración o caracterización de Medios
Isotermos con aire como medio termostático.*

4.- MÉTODO DE CALIBRACIÓN :

Determinación de la distribución interna de temperatura del medio isoterma comparada con las indicaciones de su propio termómetro, mediante el método de comparación directa.

5.- PATRONES DE REFERENCIA Y TRABAJO (VIM3 5.6 y 5.7)

Trazabilidad metrológica (VIM3 7.41)	Nombre del patrón	Código del patrón	Certificado de Calibración
RELES SRL	Termómetro multicanal	MT 009/4	INACAL LT-257-2020

El patrón de trabajo utilizado para la calibración Código MT 009/4 tiene asegurada su trazabilidad metrológica a los patrones de la Dirección de Metrología - INACAL.

6.- MEDIO ISOTERMO CALIBRADO :

(*) CONGELADORA			
Marca	: RELES	Código	: NO INDICA
Modelo	: 2CVL/08P3	Procedencia	: Perú
Serie	: 2466-15		

7.- CONDICIONES DE REFERENCIA (VIM3 4.11) :

Lugar de Calibración :

Área de Ensayos Especiales

JBO Ingenieros S.A.C.

Condiciones ambientales durante la calibración :

	Inicio	Final
Temperatura Ambiental	23,4 °C	23,6 °C
Humedad Relativa	65,9 %	64,6 %

Para otras condiciones de referencia, véase la página 4 de este documento.

8.- FECHA DE CALIBRACIÓN :

Desde el 2021-05-04 al 2021-05-05



JEFE DEL LABORATORIO DE CALIBRACIÓN	RESPONSABLE DE DIVISIÓN
 EDUARDO CASTILLA CALLE INGENIERO FÍSICO Reg. CIP N° 141675	 Javier Yabaco Yabaco



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LC-013



Registro N° LC - 013



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LCT-A-204-2021

N° Exp: 210424

PÁGINA: 2 de 6

Fecha de emisión :
2021-05-11

9.- RESÚMEN DE RESULTADOS :

Para mayores detalles, véase a partir de la página 5 de este documento.

CALIBRACIÓN PARA LA TEMPERATURA DE $-18\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$

PARÁMETRO	VALOR (°C)	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA (°C)
Máxima Temperatura Medida	-17,3	0,4
Mínima Temperatura Medida	-21,6	0,4
Desviación de Temperatura en el Tiempo	2,8	0,1
Desviación de Temperatura en el Espacio	2,5	0,3
Estabilidad Medida (\pm)	1,40	0,04
Uniformidad Medida	3,6	0,2

Incetidumbre expandida de las indicaciones del termómetro propio del Medio Isothermo: 0,06 °C

Las incertidumbres de medición expandidas reportadas son las incertidumbres de medición estándares multiplicadas por el factor de cobertura $k=2$ de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95 %.

Durante la calibración y bajo las condiciones en que esta ha sido hecha ; el medio isoterma **NO CUMPLE** con los límites especificados de temperatura :
($-18\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$)

10.- OBSERVACIONES :

(*) El usuario coloca la carga en la parte inferior de la cabina del Medio Isothermo bajo calibración. Debido a esto, se ha colocado los sensores del plano inferior a 0,5 cm de la base de la cámara interna.

a.- El instrumento de medición y el selector forman parte de un controlador e indicador de temperatura. Este controlador es un accesorio del medio isoterma.

b.- ACCESORIOS DEL MEDIO ISOTERMO :

Nombre	Identificación	Intervalo de indicación (VIM3 4.19)	Resolución (VIM3 4.15)	Tipo de Indicación
Instrumento de medición (**)	NO INDICA	NO INDICA	0,1 °C	Indicación Digital
Selector	NO INDICA	NO INDICA	0,1 °C	Indicación Digital

(**)CONTROLADOR E INDICADOR DE TEMPERATURA DIGITAL Marca : FULL GAUGE, Modelo : TC-910Ri y con N° Serie : NO INDICA

c.- Se ha colocado una etiqueta autoadhesiva con la indicación del número de CERTIFICADO y la fecha de calibración. Se adjunta copia del certificado de calibración del patrón de trabajo utilizado.



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LC-013



Registro N° LC - 013



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LCT-A-204-2021

N° Exp: 210424

PÁGINA: 3 de 6

Fecha de emisión :

2021-05-11

10.- OBSERVACIONES (continuación):

- d.- La captura de datos se inició luego de un tiempo de preenfriamiento y estabilización de 2 horas. Los datos se tomaron cada 2 minutos en un tiempo total de 60 minutos.
- e.- Los resultados consignados en este documento se refieren únicamente al Medio Isotermo sometido a calibración, al momento y condiciones en las que se realizaron las mediciones. RELES S.R.L no se responsabiliza por los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado del Medio Isotermo calibrado o de este documento
- f.- Los resultados DE CALIBRACIÓN no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- g.- Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones, el Cliente debería recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados (lapsos de confirmación metrológica). Se recomienda que la determinación de estos intervalos se base en la norma ISO 10012, la guía ILAC-G24 y el documento OIML D 10.
- h.- Este CERTIFICADO documenta la trazabilidad de la medición a los patrones nacionales, los cuales representan las unidades de medida en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
- i.- VIM3: Vocabulario Internacional de Metrología - Conceptos básicos y generales, y términos asociados, 3era Edición (JCGM 200:2012). Traducción al español realizada por la Dirección de Metrología - INACAL - Perú.





LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LC-013



Registro N° LC - 013



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LCT-A-204-2021

N° Exp: 210424

PÁGINA: 4 de 6

Fecha de emisión:

2021-05-11

DISTRIBUCIÓN DE LOS TERMOPARES

El esquema de distribución de los termopares en el volumen interno y en los planos se muestra en las figuras 1 y 2:

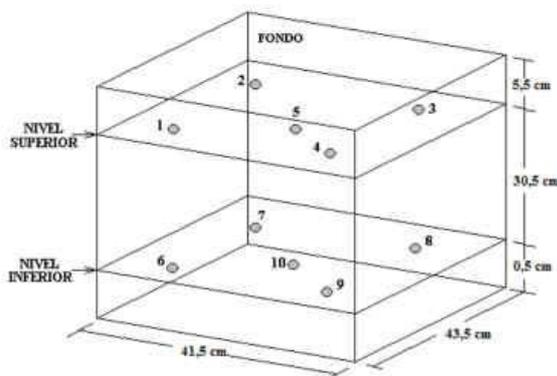


Fig. 1.- Posición tridimensional de los termopares.



Fig. 2.- Fotografía del interior del medio isotermo.

Los termopares ubicados en los niveles superior e inferior se colocaron a 7 cm de las paredes laterales y a 11 cm del fondo y frente del medio isotermo. Los termopares ubicados en el centro se encuentran ubicados a 21 cm de las paredes laterales y a 22 cm del fondo y frente del medio isotermo. Los termopares 5 y 10 están ubicados en la parte central de sus respectivos planos, tal como se muestra en la figura 3

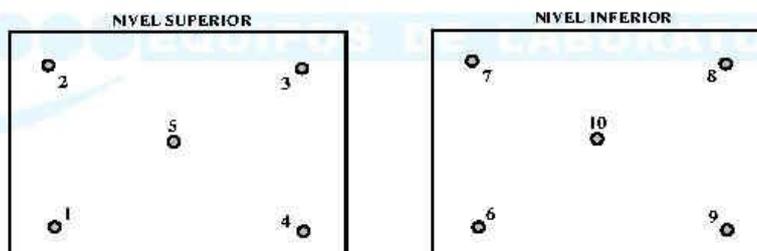


Fig. 3.- Posición de los termopares en los planos.

TIPO DE VENTILACIÓN : Aire recirculado

CONDICIONES DE REFERENCIA

POSICIÓN DE LOS PLANOS

NIVEL SUPERIOR : 31 cm encima base
NIVEL INFERIOR : 0,5 debajo 1.º Escalón

POSICIÓN DE LOS PARRILLAS

PARRILLA SUPERIOR : 3.º Escalón
PARRILLA INFERIOR : 1.º Escalón

OTRAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL MEDIO ISOTERMO DURANTE LA MEDICIÓN

Temperatura	Pos. Selector	Pos. Ventilación	% Carga	Descripción de la carga
-18 °C	-18,0	-	60 %	04 Testigo de asfalto



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC-013



Registro N° LC - 013



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LCT-A-204-2021

N° Exp: 210424
PÁGINA: 5 de 6
Fecha de emisión: 2021.05.11

MEDIO ISOTERMICO : CONGELADORA
Marca : RELES Modelo : 2CVL/08P3 Serie : 2466-15 Código : NO INDICA

CALIBRACIÓN PARA LA TEMPERATURA DE -18 °C ± 2 °C

Tiempo (min.)	T.ind. (°C) (TERMOESTRO)	TEMPERATURAS EN LAS POSICIONES DE MEDICIÓN (°C)										T. prom. (°C)	T.máx. - T.mín. (°C)
		NIVEL SUPERIOR					NIVEL INTERIOR						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0	-17,0	-18,0	-18,3	-19,1	-19,4	-19,5	-17,6	-19,7	-21,0	-19,7	-19,4	-19,2	3,5
2	-18,0	-18,6	-18,8	-19,9	-20,0	-20,2	-18,0	-20,4	-21,5	-20,2	-19,9	-19,7	3,6
4	-18,0	-17,8	-17,9	-18,0	-18,1	-18,1	-17,8	-19,0	-19,4	-19,1	-18,9	-18,4	1,7
6	-17,0	-18,1	-18,4	-19,2	-19,5	-19,4	-17,8	-20,0	-21,3	-20,0	-19,5	-19,3	3,6
8	-18,0	-18,6	-18,8	-19,9	-20,1	-20,2	-18,0	-20,3	-21,5	-20,2	-19,9	-19,7	3,6
10	-18,0	-17,7	-17,7	-18,0	-18,1	-18,1	-17,8	-18,9	-19,4	-19,1	-19,0	-18,4	1,8
12	-17,0	-18,5	-18,6	-19,6	-19,9	-20,0	-18,0	-20,0	-21,3	-20,1	-19,6	-19,6	3,4
14	-18,0	-18,5	-18,7	-19,3	-19,4	-19,5	-18,2	-19,8	-20,7	-19,8	-19,7	-19,4	2,6
16	-17,0	-17,3	-17,4	-17,6	-17,5	-17,6	-17,7	-18,4	-18,9	-18,9	-18,7	-18,0	1,6
18	-17,0	-18,4	-18,6	-19,7	-20,0	-20,0	-18,0	-19,9	-21,3	-20,1	-19,6	-19,6	3,4
20	-18,0	-18,2	-18,2	-18,8	-18,7	-19,0	-18,1	-19,4	-20,1	-19,4	-19,4	-18,9	2,1
22	-17,0	-18,0	-18,3	-19,0	-19,2	-19,2	-17,9	-20,0	-21,1	-20,0	-19,5	-19,2	3,3
24	-18,0	-18,9	-19,0	-20,0	-20,2	-20,3	-18,3	-20,4	-21,6	-20,4	-20,0	-19,9	3,4
26	-18,0	-17,8	-17,9	-18,1	-18,0	-18,1	-18,1	-18,9	-19,4	-19,2	-19,1	-18,5	1,6
28	-17,0	-18,6	-18,8	-19,9	-20,1	-20,1	-18,2	-20,2	-21,6	-20,4	-19,8	-19,8	3,5
30	-18,0	-18,3	-18,5	-18,9	-18,7	-19,0	-18,3	-19,4	-20,2	-19,6	-19,6	-19,0	2,0
32	-17,0	-17,9	-18,2	-18,8	-18,9	-18,9	-18,0	-19,8	-20,8	-19,9	-19,4	-19,1	2,9
34	-18,0	-18,7	-18,9	-19,9	-20,3	-20,3	-18,4	-20,3	-21,5	-20,5	-20,0	-19,9	3,2
36	-18,0	-18,0	-18,0	-18,3	-18,1	-18,4	-18,3	-18,9	-19,5	-19,2	-19,3	-18,6	1,6
38	-17,0	-18,2	-18,5	-19,5	-19,7	-19,7	-18,1	-20,0	-21,3	-20,1	-19,5	-19,5	3,3
40	-18,0	-18,7	-19,0	-19,7	-19,7	-19,9	-18,5	-20,2	-21,1	-20,2	-19,9	-19,7	2,7
42	-18,0	-17,7	-17,9	-18,0	-17,9	-18,0	-18,2	-18,7	-19,2	-19,2	-19,0	-18,4	1,5
44	-18,0	-18,7	-18,9	-19,9	-20,1	-20,2	-18,4	-20,2	-21,6	-20,4	-19,8	-19,8	3,3
46	-18,0	-18,1	-18,4	-18,8	-18,6	-18,7	-18,4	-19,3	-20,0	-19,6	-19,6	-18,9	1,9
48	-17,0	-18,1	-18,4	-19,1	-19,4	-19,4	-18,3	-20,0	-21,1	-20,2	-19,6	-19,4	3,0
50	-18,0	-18,8	-19,0	-20,0	-20,3	-20,3	-18,5	-20,4	-21,6	-20,5	-20,1	-19,9	3,2
52	-18,0	-17,7	-18,0	-18,3	-18,0	-18,2	-18,3	-19,0	-19,5	-19,2	-19,2	-18,5	1,8
54	-17,0	-18,5	-18,7	-19,8	-20,0	-20,0	-18,3	-19,9	-21,4	-20,2	-19,8	-19,7	3,2
56	-18,0	-18,5	-18,7	-19,3	-19,2	-19,4	-18,5	-19,7	-20,5	-19,8	-19,8	-19,3	2,1
58	-18,0	-17,5	-17,8	-17,9	-17,6	-17,8	-18,1	-18,6	-18,9	-19,1	-19,1	-18,2	1,6
60	-17,0	-18,7	-18,8	-19,8	-20,2	-20,1	-18,4	-20,2	-21,4	-20,4	-19,9	-19,8	3,1
T.PROM	-17,6	-18,2	-18,4	-19,1	-19,2	-19,3	-18,1	-19,7	-20,6	-19,8	-19,5	-19,2	
T.MAX	-17,0	-17,3	-17,4	-17,6	-17,5	-17,6	-17,6	-18,4	-18,9	-18,9	-18,7		
T.MIN	-18,0	-18,9	-19,0	-20,0	-20,3	-20,3	-18,5	-20,4	-21,6	-20,5	-20,1		
DTT	1,0	1,6	1,6	2,4	2,8	2,7	0,9	2,0	2,7	1,6	1,4		

Temperatura ambiental promedio : 23,5 °C Tiempo de calibración del equipo : 60 min

PARÁMETRO	VALOR (°C)	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA (°C)
Máxima Temperatura Medida	-17,3	0,3
Mínima Temperatura Medida	-21,6	0,4
Desviación de Temperatura en el Tiempo	2,8	0,1
Desviación de Temperatura en el Espacio	2,5	0,3
Estabilidad Medida (±)	1,40	0,04
Uniformidad Medida	3,6	0,2

T.PROM : Promedio de la temperatura en una posición de medición durante el tiempo de calibración.

T. prom : Promedio de las temperaturas en las diez posiciones de medición para un instante dado.

T. MAX : Temperatura máxima.

T. MIN : Temperatura mínima.

DTT : Desviación de temperatura en el tiempo.

Observaciones :

- 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
- 2.- 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.
- 3.- La Uniformidad es la máxima diferencia medida de temperatura entre las diferentes posiciones espaciales para un mismo instante de tiempo. La Estabilidad es considerada igual a ± 1/2 máx. DTT.





LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC-013



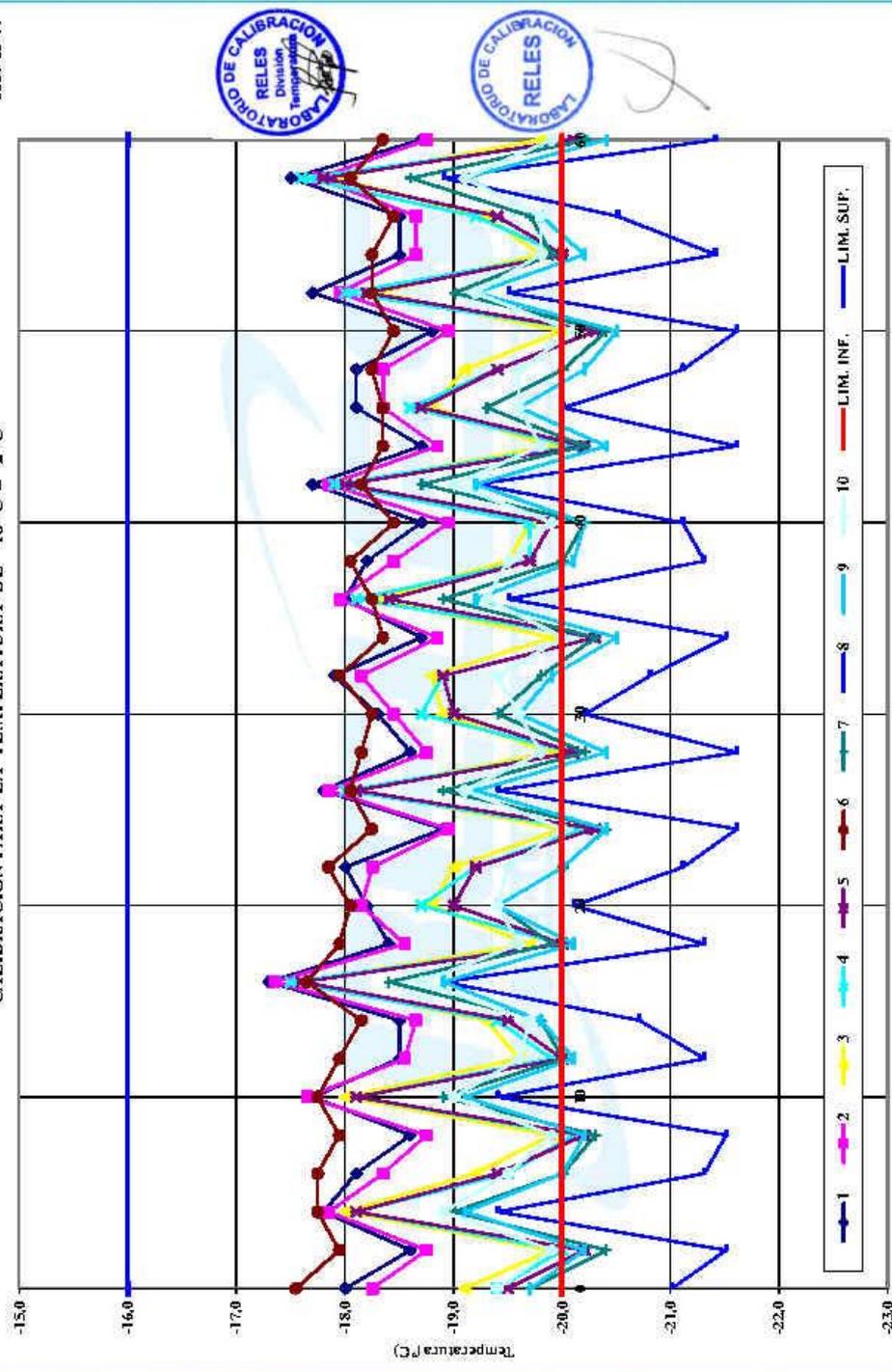
Registro: N°12 - 013

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LCT-A-204-2021
 N° Exp: 210424
 PÁGINA: 6 de 6
 Fecha de emisión: 2021-05-11

MEDIO ISOTERMO : CONGELADORA

Marca : RELES Modelo : 2CVL/08P3 Serie : 2466-15 Código : NO INDICA

CALIBRACIÓN PARA LA TEMPERATURA DE $-18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$



FIN DEL CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

TC-12365-2021

PROFORMA : 5285A Fecha de emisión : 2021 - 09 - 06 Página : 1 de 2

SOLICITANTE : JBO INGENIEROS SOCIEDAD ANONIMA CERRADA
 Dirección : Cal. Valledolid Nro. 149 Mayorazgo 2Ds Etapa Lima - Lima - Ate

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : PRENSA MARSHALL
 Marca : HUMBOLDT
 Modelo : H 1339B.2F
 N° Serie : 2820
 Intervalo de indicación : 5000 kg
 Resolución : 1 kg
 Procedencia : No Indica
 Código de Identificación : JBO -003 - PMR - 01
 Ubicación : Sala De Asfalto
 Fecha de Calibración : 2021 - 09 - 03

LUGAR DE CALIBRACIÓN

Instalaciones de JBO INGENIEROS SOCIEDAD ANONIMA CERRADA

METODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se efectuó por comparación directa utilizando un instrumento patrón calibrado.

CONDICIONES AMBIENTALES

MAGNITUD	INICIAL	FINAL
TEMPERATURA	21,4°C	19,2°C
HUMEDAD RELATIVA	63,0%	71,0%

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes. Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso.

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



Lic. Nicolás Ramos Paucar
 Gerente Técnico
 C.F.P. N° 0316



Certificado : TC-12385-2021

Página : 2 de 2

TRAZABILIDAD

Patrón de Referencia	Patrón de Trabajo	Certificado de Calibración
Patrón de Referencia AEP Transducers	Celda de Carga CLFLEX 3MN 3000 kN	00329 21 F

RESULTADOS DE MEDICIÓN

Indicación del Equipo		Lectura Convencionalmente Verdadera		Error		Incertidumbre
(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)	kg
573	11	573	11	0	0,2	0,6
977	20	979	20	-2	0,0	0,6
1683	34	1688	34	-5	-0,1	0,6
2206	44	2214	44	-8	-0,2	0,6
2649	53	2657	53	-8	-0,2	0,6
3072	61	3082	62	-10	-0,2	0,6
3735	75	3744	75	-9	-0,2	0,6
4175	84	4183	84	-8	-0,2	0,6
4553	91	4567	91	-14	-0,3	0,6
4862	97	4870	97	-8	-0,2	0,6

OBSERVACIONES:

Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva.

La prensa cuenta con una celda Marca: MAVIN, Modelo : NS4-5T S/N: E8701288

INCERTIDUMBRE

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura $k=2$ que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

FIN DEL DOCUMENTO


Anexo 9: Certificados de calidad



REPSOL

REPORTE DE ANÁLISIS DE CEMENTO ASFÁLTICO 120/150

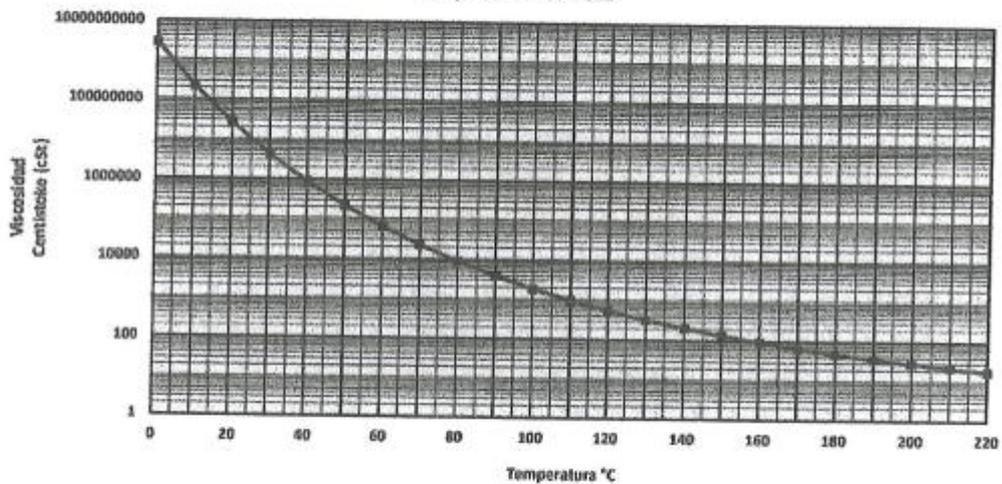
LOTE No. 120/150-001-09-2021

REFINERÍA LA PAMPILLA S.A.A Caranota a Ventanilla km 25 S/N Ventanilla	RECEPCIÓN DE LA MUESTRA 10/09/2021 17:29:10	FECHA DE CERTIFICACIÓN 11/09/2021 10:13:30
PRODUCTO Cemento Asfáltico 120/150	TANQUE 332A	DESTINO DE PRODUCTO Operaciones de Despacho
PROCEDENCIA Almacenamiento	VOLUMEN CERTIFICADO, m³ 787	BUQUE TANQUE
PROPIEDADES	MÉTODO	RESULTADO
	ASTM/OTROS	
PENETRACIÓN		
Penetración a 25 °C, 100 g, 5 s, 1/10 mm	D 5 / AASHTO T 49	134
DUCTILIDAD		
Ductilidad a 25 °C, 5 cm/min, cm	D 113 / AASHTO T 51	> 105
VOLATILIDAD		
Gravedad Específica a 15.6 °C/15.6°C	D 70 / AASHTO T 238	1.0263
Punto de Inflamación, °C	D 92 / AASHTO T 49	391.0
Gravedad API, °API	D 70 / AASHTO T 238	8.8
FLUÍDEZ		
Punto de Ablandamiento, °C	D 36	42.2
Viscosidad cinemática a 100°C, cSt	D 445	1007
Viscosidad cinemática a 135°C, cSt	D 2170 / AASHTO T 201	256
ENSAYOS DE PELÍCULA FINA		
Pérdida por Calentamiento, % m	D 1754 / AASHTO T 179	0.39
Paseación reversa, 100g, 5s, 1/50 mm, % del original	D 5 / AASHTO T 49	89.7
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm	D 113 / AASHTO T 51	> 105
SOLUBILIDAD		
Solubilidad en tricloroetileno, % m	D 2042 / AASHTO T 44	69.50
OTROS		
Índice de Penetración	UNE-EN 12591	-0.8
Ensayo de la Mancha (Mancha-Xileno)	AASHTO T102	20% xileno, negativo
OBSERVACIONES: PRODUCTO CUMPLE CON LAS ESPECIFICACIONES ASTM D948, AASHTO M 20-70 Y NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 321.021		
DISTRIBUCIÓN - Operaciones de Despacho - TyT - Laboratorio	FECHA DE EMISIÓN 11/09/2021	LABORATORIO  Pedro Ramos M. Gerente de Laboratorio



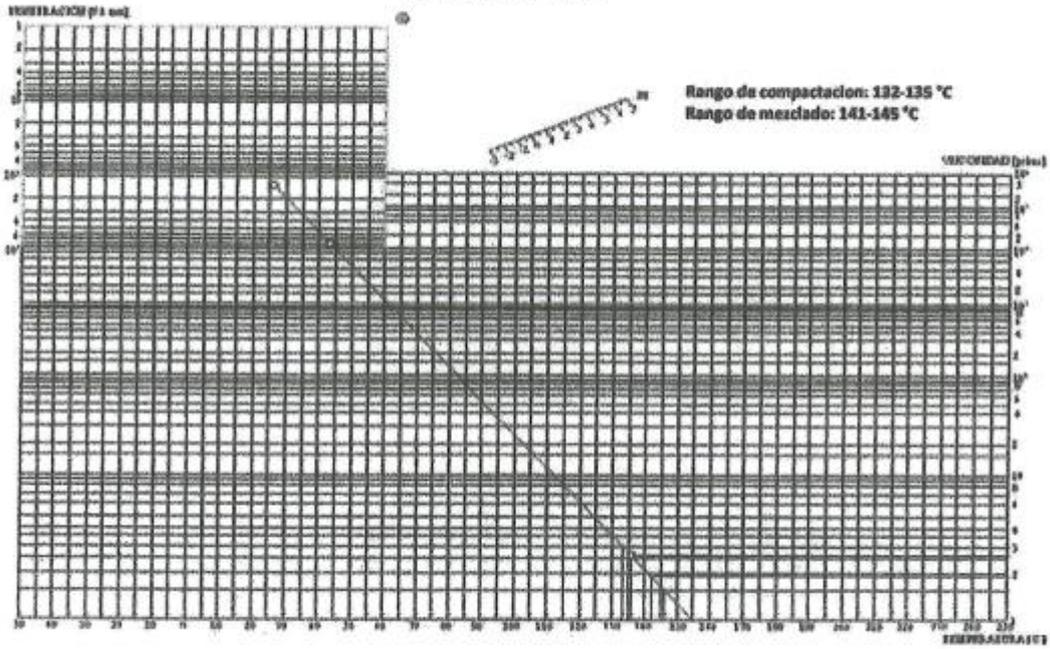
Cemento Asfáltico 120/150

120/150-001-09-2021




Pedro Ramirez MA
Gerente de Laboratorio

Cemento Asfáltico 120/150
120/150-001-09-2021



Pedro Rincón EA
Gerente de Laboratorio

FICHA TECNICA**AR-RED****"RADICÓTE"****ADITIVO TIPO AMINA MEJORADOR DE ADHERENCIA (ACTIVA-PASIVA)
del Par AGREGADO-ASFALTO.**

El Aditivo AR-RED "RADICOTE", es un compuesto orgánico derivado de las amino grasas creado para ser adicionado a materiales bituminosos líquidos, tales como los Cut-Back RC-250 o RC-30 (asfaltos líquidos con destilados del petróleo) a temperaturas de trabajo entre 40 -90 °C Los asfaltos semisólidos (cementos asfálticos), temperaturas de mezcla entre 140-150° C y asfaltos modificados con polímeros, a temperaturas de mezcla entre 160 y 180° C destinados a la construcción de pavimentos, a fin de mejorar el comportamiento de los mismos, frente a las condiciones adversas de clima, en zonas frías y/o cálidas y lluviosas, las presencias de sales en los agregados y en los materiales que conforman las capas granulares del pavimento.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Aspecto	Pasta
Color Gardner	12 - 14
Propiedad Física a 25° C	Pasta
Punto de Fusión	30-50
Punto de Inflamación	>200°C
Gravedad Especifica	0.83 – 0.90
Dosificación	0.4 - 0.5 % del peso del asfalto para un TSR > 80 %
Prueba Mecánica	Ensayo Lottman Modificado AASHTO T-283 (Completo, con congelamiento – 18C° y 60C°calentamiento) Obligatorio según Norma EG-2013 MTC

SOLUBILIDADES

Agua a 25° C	INSOLUBLE
Gasolina a 25° C	SOLUBLE
Alcohol Isopropilico a 25° C	SOLUBLE

DETERMINACIÓN DE AMINAS

Humedad (%)	MAX 1%
Amina Secundaria	POSITIVO
Amina Terciaria	POSITIVO

Nota: Contamos con las certificaciones otorgadas por el Laboratorio de Estudios

Especiales del MTC (Ex - OAT) de los ensayos completos sometidos a congelamiento y calentamiento AASHTO-T 283 según Norma MTC.EG-2013 donde con una dosificación de 0.4% del peso del asfalto con nuestro aditivo , se consigue un TSR > 80 .

Presentación: Cilindros de metal con tapa y suncho con un peso neto de 182 Kg. c/u

FICHA TÉCNICA EVOTHERM – P25 Aditivo para asfalto de Mezcla Tibia (Warm Mix)



DESCRIPCIÓN Y APLICACIONES TÍPICAS

EVOTHERM P25 es una innovadora tecnología de asfalto de mezcla tibia que incluye aditivos para mejorar el revestimiento, los tensoactivos para mejorar la adhesión entre el conglomerado y el ligante y agentes para promover la manipulación y compactación. EVOTHERM P25 se puede usar en la terminal de asfalto o en la planta mezcladora y es útil para producir asfalto de mezcla tibia basado en todos los ingredientes de formulación comunes, incluyendo ligantes de asfalto modificado y no modificados, asfalto con caucho, silicato y conglomerados calcáreos y materiales RAP.

El uso de EVOTHERM P25 permite a los productores de mezcla y contratistas que construyen pavimentos, realizar reducciones de temperatura de 30°C a 40°C en comparación con las mezclas asfálticas en caliente convencionales. Las temperaturas más bajas significan un menor consumo de combustible, menos emisiones por chimenea, menos generación de gases y olor en la planta y el lugar de trabajo. Las temperaturas más bajas también significan menos oxidación del ligante, lo que debería resultar en una mayor resistencia al agrietamiento y una vida útil más larga del pavimento. Las mezclas basadas en la química de EVOTHERM cumplen con las especificaciones Marshall y las especificaciones volumétricas de diseño SHRP. Además, las mezclas tibias EVOTHERM se manipulan como mezclas calientes y ofrecen propiedades de desempeño en el lugar, que igualan o exceden las especificaciones de la mezcla asfáltica en caliente.

Los productos químicos EVOTHERM están diseñados para cumplir con las variadas exigencias de la producción de mezclas de asfalto y operaciones de pavimentado.

PROPIEDADES TÍPICAS

Forma física	Líquido
Densidad	8.32
Gravedad específica	1.00
PH	2.8*
Punto de inflamación, °C	> 130

*Todas las mediciones son a 25°C.

RECOMENDACIONES DE USO

Tasa de la dosis	0.25 -0.5% por peso de cemento asfáltico
Rango de temperatura de la mezcla	> 104°C
Rango de temperatura de compactación	> 66°C

BENEFICIOS

- Fácil de usar.
- Desempeño comprobado.
- Más contenidos RAP sin exceder la especificación de graduación del ligante.
- Cobertura 100% con conglomerado fino y grueso para aplicaciones de clasificación densa y abierta.
- Reduce el consumo de combustibles y las emisiones por chimenea hasta un 50%.
- Reduce la exposición a gases de los trabajadores en las plantas y lugares de trabajo.
- Mejora la compactación para la densidad en el lugar de 30°C a 40°C, una temperatura más baja que las mezclas asfálticas en caliente.
- Actúa como un mejorador de adherencia ya que ofrece una excelente resistencia a la humedad y altos valores TSR.

MANIPULACIÓN

EVOTHERM P25 es un líquido de baja viscosidad de 25°C a 40°C que se mezcla fácilmente con el asfalto líquido. Para pruebas de laboratorio, agitar EVOTHERM P25 simplemente a mano ó con un agitador mecánico. En un entorno de planta ó terminal, EVOTHERM P25 se mide precisamente dentro de los límites de la dosis especificada usando el equipo convencional.

ALMACENAMIENTO

EVOTHERM P25 se almacena comúnmente a temperaturas ambiente de 20°C a 30°C. Exposición prolongada a la atmósfera debería ser evitada ya que puede alterar propiedades del producto, actividad y performance. En presencia del agua, Evotherrm P 25 es medianamente corrosivo al acero al carbón (tal como C1010).

PRESENTACIÓN

Cilindros de 55 galones.

ingevity FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD **EVOTHERM P25** Página: 013

Sección 1. Identificación

Identificador SGA del producto : EVOTHERM P25

Otros nombres de identificación : No disponible.

Datos del proveedor u fabricante : **ingevity Corporation**
3255 Virginia Avenue
Raleigh, Carolina del Sur
27606-3616

www.ingevity.com
email: sds@ingevity.com

Tel: +1 843 740 3100, +1 800 458 4934
(9:00a - 5:00p EST)

En caso de emergencia : +1 800 424 9390 (USA) CHEMTREC

Sección 2. Identificación de los peligros

Estado OSHA/ HCS : Este material no conformedad como peligroso por la Norma de Clasificación de Riesgo de la OSHA (29 CFR 1910.1204).

Clasificación de la sustancia química peligrosa o mezcla : **TÓXICO AGUDO (oral) - Categoría 4**
CORROSIÓN CUTÁNEA - Categoría 1C
LESIONES OCULARES GRAVES - Categoría 1
SENSIBILIZACIÓN ALÉRGICA - Categoría 1

Porcentaje de la mezcla que consiste en ingredientes de toxicidad por inhalación: 75%
Porcentaje de la mezcla que consiste en ingredientes de toxicidad dérmica desconocida: 100%
Porcentaje de la mezcla que consiste en ingredientes de toxicidad por ingestión desconocida: 100%

Señales de las etiquetas de SGA

Pictogramas de peligro :

Palabras de advertencia : **Peligro**

Indicaciones de peligro : **H314** Provoca quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede causar una reacción alérgica.

Consejos de prudencia : **P201** Leer todas las etiquetas de advertencia y todas las fichas de datos de seguridad. **P202** No respirar polvo, niebla, gas, humo, vapor o aerosol. **P273** Evitar la liberación al medio ambiente.

Validado por 12/10/2018. Versión: 1.03

ingevity FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD **EVOTHERM P25** Página: 013

Sección 2. Identificación de los peligros

Intervención/Respuesta : En caso de inhalación: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración. Llamar inmediatamente a un centro de toxicología o a un médico. En caso de ingestión: Llamar inmediatamente a un centro de toxicología o a un médico. Enjuagarse la boca. No provocar el vómito. En caso de contacto con la piel (o el pelo): Quitar inmediatamente toda la ropa contaminada. Enjuagar la piel con agua o jabón. Lavar la ropa contaminada antes de volver a usarla. Llamar inmediatamente a un centro de toxicología o a un médico. En caso de contacto con los ojos: Quitar inmediatamente toda la ropa contaminada antes de volver a usar. En caso de lesión ocular: Lavar los ojos abundantemente durante varios minutos. Quitar los lentes de contacto, cuando estén puestos y pueda hacerse con facilidad. Procurar con el líquido. Llamar inmediatamente a un centro de toxicología o a un médico.

Abasorbenzación : **H410** Dañar la vida acuática.

Eliminación : Eliminar el contenido y recipientes conforme a todas las regulaciones locales, regionales, nacionales e internacionales.

Peligros no clasificados en esta parte : No se conoce ninguno.

Sección 3. Composición / Información sobre los componentes

Sustancias/Mezcla : **Mezcla**

Nombre de ingrediente	%	Número CAS
Metilol hidróxido	275 - 300	Propileno
Ácido fosfórico	235 - 241	Propileno

Si alguna concentración se presenta como un rango, es para proteger la confidencialidad o debido a variación en los lotes. No hay ningún ingrediente adicional presente que, bajo el conocimiento actual del proveedor y en las concentraciones aplicables, sea clasificada como de riesgo para la salud y por lo tanto deba ser reportada en esta sección.

Los límites de exposición laboral, en caso de existir, figuran en la sección 8.

Sección 4. Primeros auxilios

Descripción de las primeras auxilios

Contacto con los ojos : **H314** Provoca quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede causar una reacción alérgica. **H330** Peligroso para la vida acuática.

Por inhalación : **H314** Provoca quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede causar una reacción alérgica. **H330** Peligroso para la vida acuática.

Validado por 12/10/2018. Versión: 1.03

ingevity FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD **EVOTHERM P25** Página: 013

Sección 4. Primeros auxilios

Contacto con la piel : **H314** Provoca quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede causar una reacción alérgica. **H330** Peligroso para la vida acuática.

Ingestión : **H314** Provoca quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede causar una reacción alérgica. **H330** Peligroso para la vida acuática.

Respiración y efectos sobre la inhalación, ingestión o contacto

Efectos agudos potencialmente de la salud : **H314** Provoca quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede causar una reacción alérgica.

Por inhalación : **H314** Provoca quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede causar una reacción alérgica.

Contacto con la piel : **H314** Provoca quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede causar una reacción alérgica.

Ingestión : **H314** Provoca quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede causar una reacción alérgica.

Descripción de las primeras auxilios

Contacto con los ojos : **H314** Provoca quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede causar una reacción alérgica. **H330** Peligroso para la vida acuática.

Por inhalación : **H314** Provoca quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede causar una reacción alérgica. **H330** Peligroso para la vida acuática.

Contacto con la piel : **H314** Provoca quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede causar una reacción alérgica. **H330** Peligroso para la vida acuática.

Ingestión : **H314** Provoca quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede causar una reacción alérgica. **H330** Peligroso para la vida acuática.

Indicación de la necesidad de recibir atención médica inmediata y, en su caso, de transporte especial

Notas para el médico : **H314** Provoca quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede causar una reacción alérgica. **H330** Peligroso para la vida acuática.

Tratamientos específicos : **H314** Provoca quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede causar una reacción alérgica. **H330** Peligroso para la vida acuática.

Precaución del personal de protección auxiliar : **H314** Provoca quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede causar una reacción alérgica. **H330** Peligroso para la vida acuática.

Vea la sección 11 para la información Toxicológica

Validado por 12/10/2018. Versión: 1.03

ingevity FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD **EVOTHERM P25** Página: 013

Sección 5. Medidas contra incendios

Medios de extinción : **H314** Provoca quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede causar una reacción alérgica. **H330** Peligroso para la vida acuática.

Medios de extinción : **H314** Provoca quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede causar una reacción alérgica. **H330** Peligroso para la vida acuática.

Peligros específicos de la sustancia química peligrosa o mezcla : **H314** Provoca quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede causar una reacción alérgica. **H330** Peligroso para la vida acuática.

Productos de descomposición térmica peligrosos : **H314** Provoca quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede causar una reacción alérgica. **H330** Peligroso para la vida acuática.

Medidas especiales que deberán seguir los grupos de combate contra incendios : **H314** Provoca quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede causar una reacción alérgica. **H330** Peligroso para la vida acuática.

Equipo de protección especial para los bomberos : **H314** Provoca quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede causar una reacción alérgica. **H330** Peligroso para la vida acuática.

Sección 6. Medidas que deben tomarse en caso de derrame o fuga accidental

Precauciones ambientales, equipo de protección o procedimientos de emergencia

Para personal de no emergencia : **H314** Provoca quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede causar una reacción alérgica. **H330** Peligroso para la vida acuática.

Para el personal de respuesta o emergencia : **H314** Provoca quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede causar una reacción alérgica. **H330** Peligroso para la vida acuática.

Precauciones relativas al medio ambiente : **H314** Provoca quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede causar una reacción alérgica. **H330** Peligroso para la vida acuática.

Métodos y materiales para la contención y limpieza de derrames o fugas

Derrame pequeño : **H314** Provoca quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede causar una reacción alérgica. **H330** Peligroso para la vida acuática.

Gran derrame : **H314** Provoca quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede causar una reacción alérgica. **H330** Peligroso para la vida acuática.

Validado por 12/10/2018. Versión: 1.03

ingevity **EVOTHERM P25** **Página: 6/13**

Sección 6. Medidas que deben tomarse en caso de derrame o fuga accidental

Eliminación de derrames

Sección 7. Manejo y almacenamiento

Precauciones que se deben tomar para garantizar un manejo seguro

Medidas de protección

- Use el equipo de protección personal adecuado (ver la Sección 8). Las personas con antecedentes de sensibilización cutánea no deben trabajar en ningún proceso en el que se utilice este producto. No introducir en ojos o en la piel o ropa. No respirar las vapores o neblinas. No ingerir. Si durante el uso ocurre el menor grado de irritación en cualquier respirador, gárgaras de ventilación adecuada o use un respirador apropiado. Mantener en el recipiente original o en una alternativa equivalente hecha de material compatible, conservar inmediatamente cuando cese de usarlo. Las envases vacíos requieren etiquetado del producto y pueden ser peligrosos. No volver a usar el envase.

Operaciones sobre el sistema opcional de nivel

- Está prohibido operar, tocar o fumar en los lugares donde se realiza, almacena o usa este producto. Las personas que trabajen con este producto deberán llevar su mano y la cara lejos como, tocar o fumar. Cerrar la tapa correctamente y el equipo de protección antes de entrar a las áreas de contenedor. Ver también la Sección 8 acerca de la información adicional sobre las medidas higiénicas.

Condiciones de almacenamiento seguras, incluida cualquier incompatibilidad

- Conservar de acuerdo con las normas locales. Almacenar en el contenedor original protegido de la luz directa del sol en un área seca, fresca y bien ventilada, lejos de materiales incompatibles (ver Sección 10) y fuentes de ignición. Guardar bajo llave. Mantener el contenedor bien cerrado y sellado hasta el momento de usarlo. Los envases que han sido abiertos deben cerrarse cuidadosamente y mantenerse en posición vertical para evitar derrames. No almacenar en contenedores sin etiquetas. Utilizar un sistema de seguridad adecuado para evitar la contaminación del medio ambiente. Consultar la Sección 10 para obtener información acerca de las restricciones no compatibles previas al manejo o uso.

Sección 8. Controles de exposición / protección personal

Parámetros de control

Límites de exposición laboral

Ninguno.

Controles técnicos apropiados

- Si la operación genera polvo, humo, gas, vapor o neblina, use un sistema de proceso, ventilación local o otros controles de Ingeniería para mantener la exposición del objeto a los contaminantes aceptados por diseño de todas las líneas secundarias e estancadas.

Control de la exposición medioambiental

- Emisiones de los equipos de ventilación o de procesos de lavado deben ser evaluadas para verificar que cumplen con los requisitos de los requisitos de protección del medio ambiente. En algunos casos será necesario el uso de efluentes de lavado, flujos o modificaciones del diseño del equipo del proceso para reducir las emisiones a un nivel aceptable.

Medidas de protección individual

Medidas higiénicas

- Lave las manos, cara y ropa completamente después de manejar productos químicos, antes de comer, fumar y usar el lavabo y el final del período de trabajo. Usar las medidas apropiadas para remover ropa contaminada. La ropa de trabajo contaminada no debe salir del lugar de trabajo. Lavar las ropas contaminadas antes de volver a usarlas. Verifique que las estaciones de lavado de ropa y sistemas de seguridad se encuentran cerca de las estaciones de trabajo.

Validado por 12/10/2018. Versión: 1.03

ingevity **EVOTHERM P25** **Página: 6/13**

Sección 8. Controles de exposición / protección personal

Protección de los ojos y la cara

- Equipo protector ocular que cumpla con las normas apropiadas debe ser usado cuando una evaluación del riesgo indique que es necesario para evitar toda exposición a salicilatos de fliclo, bromato, óxido o polvo. Si existe la posibilidad de contacto con el producto se debe usar el siguiente equipo de protección: goggles y pantalla facial contra las salicilatos de protección ocular. Si existe peligro de inhalación, podría ser necesario el uso de un respirador de cara completa.

Protección de la piel

Protección de las manos

- Guantes impermeables y resistentes a productos químicos que cumplan con las normas apropiadas deben ser usados siempre que se manejen productos químicos si una evaluación del riesgo indica que es necesario. Teniendo en cuenta las permeaciones específicas por el fabricante de los guantes, se debe verificar durante el uso si aún mantienen sus propiedades protectoras. Es posible tener presente que el tiempo de permeación para el material de los guantes puede ser diferente en cada fabricante. En el caso de guantes formados por varios materiales no se podrá estimar con exactitud el período de tiempo de protección de los guantes.

Protección del cuerpo

- Antes de utilizar este producto se debe seleccionar equipo protector personal para el cuerpo basado en la forma de operar y las riesgos involucrados y debe ser aprobado por un especialista.

Otro tipo de protección para la piel

- Antes de manipular este producto se debe elegir el calzón apropiado y cualquier otra medida adicional de protección de la piel basada en la forma que se realiza y los riesgos asociados, para así no entrar en contacto con la exposición de un químico.

Protección de las vías respiratorias

- Con base en el riesgo y el potencial de la exposición, seleccione un respirador que cumpla la norma o la certificación apropiada. Los respiradores se deben usar de acuerdo con un programa de protección respiratoria para asegurar el ajuste adecuado, la capacitación y otros aspectos importantes de uso.

Sección 9. Propiedades físicas y químicas

Aspectos

- Estado físico: Líquido.
- Color: Incoloro/claro.
- Olor: Astringente (Phenol)
- Vertical del olor: No disponible.
- pH: 2.3 (Con: 1% pH) 0050 Inapropiado agua reducida
- Punto de fusión: <18°C (<3.2°F)
- Punto de ebullición: >180°C (>332°F)
- Punto de inflamación: Vaso cerrado: 181°C (357.8°F)
- Tiempo de Combustión: No aplicable.
- Velocidad de Combustión: No aplicable.
- Velocidad de evaporación: No disponible.
- Inflamabilidad (líquido o gas): No disponible.
- Límites máximos y mínimos: No disponible.
- Reactividad: No disponible.
- Presión de vapor: No disponible.
- Densidad de vapor: No disponible.
- Densidad relativa: 0.98
- Solubilidad: Insoluble en los siguientes materiales: agua fría y agua caliente.
- Reactividad en agua: No disponible.

Validado por 12/10/2018. Versión: 1.03

ingevity **EVOTHERM P25** **Página: 7/13**

Sección 9. Propiedades físicas y químicas

- Coefficiente de partición: No disponible.
- Temperatura de ignición espontánea: No disponible.
- Temperatura de descomposición: No disponible.
- TOAA: No disponible.
- Viscosidad: Dinámica (temperatura ambiente): 487 mPa o (487 cP)

Sección 10. Estabilidad y reactividad

Reactividad

- No existen resultados disponibles de ensayos respecto a la reactividad de este producto o sus ingredientes.

Estabilidad química

- El producto es estable.

Posibilidad de reacciones peligrosas

- En condiciones normales de almacenamiento y uso, no ocurre reacción peligrosa.

Condiciones que deben evitarse

- Ningún dato específico.

Materiales incompatibles

- Reactivo o incompatible con los siguientes materiales: materiales oxidantes y oxidantes reducidos.

Productos de descomposición peligrosos

- Bajo condiciones normales de almacenamiento y uso, no se deben producir productos de descomposición peligrosos.

Sección 11. Información toxicológica

Información sobre efectos toxicológicos

Nombre de producto o ingrediente	Resultado	Especie	Dosis	Exposición
Ácido salicílico	DL50 Oral	Rata	2710 mg/kg	-

Nombre de producto o ingrediente	Resultado	Especie	Formación	Exposición	Observación
Ácido salicílico	Oral - Irritante leve	Canino	100 mg/kg/día	100 mg/kg/día	-

Sensibilización

- No disponible.

Mutagenicidad

- No disponible.

Carcinogenicidad

- No disponible.

Toxicidad reproductiva

Validado por 12/10/2018. Versión: 1.03

ingevity **EVOTHERM P25** **Página: 8/13**

Sección 11. Información toxicológica

No disponible.

Toxicidad

No disponible.

Toxicidad específica de Irritación térmica (exposición térmica)

No disponible.

Toxicidad específica de Irritación térmica (exposición repetitiva)

No disponible.

Calidad de evaluación

No disponible.

Información sobre las posibles vías de exposición

- Vías de entrada posibles: Oral, Cutánea, Por Inhalación.

Efectos agudos potenciales en la salud

- Contacto con los ojos: Provoca lesiones oculares graves.
- Por Inhalación: No se conocen efectos significativos o riesgo agudo.
- Contacto con la piel: Provoca quemadura grave. Puede provocar una reacción cutánea alérgica.
- Ingestión: No hay un caso de ingestión.

Relaciones de información con los carcinógenos, mutágenos y reproductivos

- Contacto con los ojos: Los síntomas adversos pueden incluir los siguientes: dolor, irritación, enrojecimiento.
- Por Inhalación: Ningún dato específico.
- Contacto con la piel: Los síntomas adversos pueden incluir los siguientes: dolor o irritación, enrojecimiento, puede presentarse formación de ampollas.
- Ingestión: Los síntomas adversos pueden incluir los siguientes: dolor estomacal.

Efectos crónicos y síntomas así como efectos crónicos asociados por una exposición a corto y largo plazo

Exposición a corto plazo

- Efectos potenciales inmediatos: No disponible.
- Efectos potenciales retardados: No disponible.

Exposición a largo plazo

- Efectos potenciales inmediatos: No disponible.
- Efectos potenciales retardados: No disponible.

Efectos crónicos potenciales en la salud

- No disponible.

General

- Una vez que la persona está sensibilizada, puede ocurrir una reacción alérgica severa si posteriormente se expone incluso a muy bajas dosis.

Validado por 12/10/2018. Versión: 1.03

Ingevity EVOTHERM P25 Página: 8/13

Sección 11. Información toxicológica

Carcinogenicidad: No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.
Mutagenicidad: No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.
Teratogenicidad: No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.
Efectos de desarrollo: No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.
Efectos de fertilidad: No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.

Medidas numéricas de toxicidad tales como estimaciones de toxicidad aguda

Estimaciones de toxicidad aguda

Meta	Valor STA (estimación de toxicidad aguda según OHS)
Oral	500 mg/kg

Sección 12. Información ecotoxicológica

Toxicidad: No disponible.
Persistencia y degradabilidad: No disponible.
Potencial de bioacumulación:

Nombre de producto o ingrediente	LogP _{ow}	PBC	Potencial
Allyl acid phosphate	<0.5	-	low

Requiere de atención: No disponible.
Otros efectos adversos: No se conocen efectos significativos o riesgos críticos.

Sección 13. Información relativa a la eliminación de los productos

Métodos de eliminación: Se debe evitar o minimizar la generación de desechos cuando sea posible. La eliminación de este producto, sus soluciones y cualquier desecho deben cumplir siempre con las regulaciones de la legislación de protección del medio ambiente y eliminación de desechos y todos los requisitos de las autoridades locales. Disponga del material y productos no reciclables por medio de un contratista autorizado para su disposición. Los residuos no se deben tirar por la alcantarilla sin tratar o menos que sean compatibles con los requisitos de todas las autoridades con jurisdicción. Los envases desechados se deben reciclar. Solo se deben contener la información o el etiquetado cuando el reciclaje no sea factible. Elimine los envases del producto y sus recipientes con todos los precauciones posibles. No se debe oxidar cuando se manejan recipientes vacíos que no se hayan limpiado o enjuagado. Los envases vacíos o los recipientes pueden volver a usarse de productos. Evite la dispersión del material derramado, su contacto con el suelo, el medio acuático, los desechos y la atmósfera.

Validez por 12/10/2018. Versión: 1.03

Ingevity EVOTHERM P25 Página: 10/11

Sección 14. Información relativa al transporte

	Clasificación DOT	IMDG	ATA
Número ONU	UN3265	UN3265	UN3265
Designación oficial de transporte	Corrosive liquid, acidic, organic, n.o.s. (Allyl acid phosphate)	CORROSIVE LIQUID, ACIDIC, ORGANIC, N.O.S. (Allyl acid phosphate)	Corrosive liquid, acidic, organic, n.o.s. (Allyl acid phosphate)
Clase(s) asignada(s) al transporte	8	8	8
Grupo de embalaje	II	II	II
Riesgos ambientales	No	No	No
Información adicional	Capacidad limitada de empuje: Excepciones: 154, No a gran: 203, A gran: 241. Limitación de presión: Arma de pistón/ Inyectar: 5 L. Arroyo de agua: 95 L. Presión máxima asociada: 101, 17, 174, 174.	Emergency schedule F-A, 5-R Social: 223, 274	Quantity Exemption: Passenger and Cargo Aircraft: 5 L. Packaging Instructions: 602, Cargo Aircraft Only: 601. Packaging Instructions: 601, Limited Quantities - Passenger Aircraft: 1. Packaging Instructions: 7041. Special provisions: A3, A301

Precauciones especiales para el usuario: Transporte dentro de las instalaciones de usuario; siempre transporte en recipientes cerrados que estén verticales y seguros. Asegurar que los recipientes que transporten el producto conozcan qué hacer en caso de un accidente o derrame.

Transporte a gran escala con arreglo al anexo II de MARPOL y al Código IMDG: No disponible.

Sección 15. Información Reglamentaria

Regulaciones Federales de EUA: TSCA (a) PAF: Allyl acid phosphate. TSCA (a) CDR Exempt/Partial exemption: No determinado. **Inventario de Sustancias de los Estados Unidos (TSCA III):** Todos los componentes están listados o son exentos.

Clean Air Act Section 112 (b) Hazardous Air Pollutants (HAP): No inactivo.
Clean Air Act Section 602 Class I Substances: No inactivo.
Clean Air Act Section 602 Class II Substances: No inactivo.

Validez por 12/10/2018. Versión: 1.03

Ingevity EVOTHERM P25 Página: 11/13

Sección 15. Información Reglamentaria

DEA List I Chemicals (Precursor Chemicals): No inactivo.
DEA List II Chemicals (Essential Chemicals): No inactivo.
SDS 112014: **Composición / Información sobre los componentes:** No se encuentran productos. **SDS 204 RQ:** No aplicable.
SDS 112011: **Clasificación:** TOXICIDAD AGUDA (oral) - Categoría 4. CORROSIÓN CUTÁNEA - Categoría 1C. LESIONES OCULARES GRAVES - Categoría 1. SENSIBILIZACIÓN CUTÁNEA - Categoría 1.

Composición / Información sobre los componentes:

Nombre	%	Clasificación
Modified talc silic acid	Propietario	IRRITACIÓN OCULAR - Categoría 2A. SENSIBILIZACIÓN CUTÁNEA - Categoría 1
Allyl acid phosphate	Propietario	TOXICIDAD AGUDA (oral) - Categoría 4. CORROSIÓN CUTÁNEA - Categoría 1C. LESIONES OCULARES GRAVES - Categoría 1

Reclamaciones estatales: **Massachusetts:** Ninguno de los componentes está listado.
Nueva York: Ninguno de los componentes está listado.
New Jersey: Ninguno de los componentes está listado.
Pennsylvania: Ninguno de los componentes está listado.
California (Prop. 65): Ninguno de los componentes está listado.

Regulaciones internacionales: **Tratados químicos de los Estados I, II y III de la Convención sobre Armas Químicas:** No inactivo.
Protocolo de Montreal (Anexo A, B, C, D): No inactivo.
Convenio de Estocolmo sobre los contaminantes orgánicos persistentes: No inactivo.
Convenio de Rotterdam sobre el Procedimiento de Consentimiento Preinformado Escrito (PIC): No inactivo.
Protocolo de Aarhus de la UNECE sobre POP y Metales pesados: No inactivo.

Listas internacionales: **División Australia:** Todos los componentes están listados o son exentos.
Canada: Todos los componentes están listados o son exentos.
China: Todos los componentes están listados o son exentos.

Validez por 12/10/2018. Versión: 1.03

Ingevity EVOTHERM P25 Página: 12/11

Sección 15. Información Reglamentaria

Japón: Inventario de Sustancias de Japón (EHCs): Todos los componentes están listados o son exentos. Inventario de Sustancias de Japón (SHI): No determinado.
Nueva Zelanda: Todos los componentes están listados o son exentos.
Filipinas: Todos los componentes están listados o son exentos.
República de Corea: Todos los componentes están listados o son exentos.
Taiwán: Todos los componentes están listados o son exentos.
Estados Unidos: Todos los componentes están listados o son exentos.

Sección 16. Otra información incluida las relativas a la preparación y actualización de las hojas de datos de seguridad

Hazardous Material Information System (Estados Unidos)

Salud	1	2	3
Intensidad	0	0	0
Riesgo ambiental	0	0	0

Precaución: Las clasificaciones de HMBSD se basan en una escala de clasificación del 0 al 4, donde 0 representa los peligros o riesgos mínimos y 4 representa los peligros o riesgos significativos. Aunque las clasificaciones de HMBSD y la etiqueta asociada no se registran en las SDS o en los productos que salen de una instalación bajo la sección 24, según 1916.100 de CFR, el preparador podría sufrir por proporcionalidad. Las clasificaciones de HMBSD se deben utilizar con los programas de HMBSD completamente implementados. HMBSD es una marca registrada y una marca de servicio de American Coatings Association, Inc. El sitio de verificación de determinar el código PPE para este material. Para obtener más información sobre las códigos del Equipo de protección personal (Personal Protective Equipment, PPE) de HMBSD, consulte el Manual de Implementación de HMBSD.

National Fire Protection Association (Estados Unidos)

Salud	Intensidad	Riesgo ambiental
Intensidad	Insensible/Inefectivo	Especial

Regreso con permiso del estándar NFPA 704-2001: Identificación de los riesgos de materiales para respuesta ante casos de emergencia (Identification of the Hazards of Materials for Emergency Response) Copyright ©1997, Asociación Nacional de Protección contra Incendios National Fire Protection Association, NFPA, Quincy, MA 02269. Este material regresa no es la postura completa y oficial de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios en el tema al que se hace referencia, la cual está representada solamente por el estándar completo. Copyright ©2001, Asociación Nacional de Protección contra Incendios, Quincy, MA 02269. Este sistema de advertencia está diseñado para ser interpretado y aplicado consistentemente por personas debidamente capacitadas para identificar riesgos de incendio, de reactivo y contra la salud representados por sustancias químicas. El usuario es responsable de determinar el método de aplicación químico no clasificadas recomendadas en los códigos NFPA 40 y NFPA 220, los cuales se utilizan solamente como herramientas. Independientemente de que las sustancias químicas estén o no clasificadas por la NFPA, cualquier persona que utilice los alarmas 704 para clasificar sustancias químicas lo hace bajo su propio riesgo.

Historial: **Fecha de impresión:** 2018-12-10. **Fecha de emisión/Fecha de revisión:** 2018-12-10.

Validez por 12/10/2018. Versión: 1.03

 EVOTHERM P25 Página: 12/13	
Sección 16. Otra información incluidas las relativas a la preparación y actualización de las hojas de datos de seguridad	
Fecha de la edición anterior	: 2018-01-03
Versión	: 1.03
Explicación de Abreviaturas	: <ul style="list-style-type: none"> ETA = Federación de Trabajadores Agosta FIC = Fondo de Incooperación GDA = Gremio Goleminista Argentino IATA = Asociación de Transporte Aéreo Internacional IBC = Convenio Internacional para Productos a Granel IMDG = Código Marítimo Internacional de Mercaderías Peligrosas Log Ship = Logotipo del emblema de navío oceográfico MARPOL = Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques, 1973 con el Protocolo de 1978 ("Marpol" = "polución marítima") ONU = Organización de las Naciones Unidas
Referencias	: No aplica
<input type="radio"/> Justa la información que ha cambiado desde la edición de la versión anterior.	
<input type="radio"/> Antes al hacer: De acuerdo a lo mejor de nuestro conocimiento, la información descrita en este documento es exacta. No obstante, ni el proveedor arriba mencionado o cualquiera de sus subsidiarias asumen responsabilidad alguna en cuanto a la exactitud o integridad de la información descrita en este documento. La determinación final para establecer el uso adecuado de esta material es de responsabilidad exclusiva del usuario. Todos los materiales pueden presentar peligros desconocidos y deben usarse con cautela. Si bien aquí se describen ciertos peligros, no podemos garantizar que éstos sean los únicos que existen.	
<hr/> Validado por 12/07/2018. Versión: 1.03	