



Universidad
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

**Efecto del % finos de la grava y la temperatura
de aplicación de la emulsión asfáltica
en la profundidad de penetración de la
imprimación en bases granuladas de
pavimentación flexibles Huancayo 2017**

Max Efraín Mayta Mendoza

Huancayo, 2018

Tesis para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

AGRADECIMIENTO

Llegando al término de una de mis etapas más lindas de mi vida, como fue el haber sido estudiante universitario, quiero agradecer desde el fondo de mi corazón a las siguientes personas por su invaluable tiempo en el desarrollo de la presente tesis profesional:

A mi querida y hermosa madre qué fue quien confió en mí, en una etapa de juventud difícil para cualquier persona con ganas de triunfar, no sabes la falta que me haces hasta el día de hoy madre.

A mi padre y hermanos quien con el calor de hogar, consejos, esfuerzo y dedicación el tiempo pasa, pero provechosamente y es muy agradable estar con vosotros.

Una mención especial e importante para el Ingeniero Civil Augusto Elías García Corzo, quién más que mi asesor de tesis fue un amigo y mentor para encaminar el desarrollo de la presente tesis profesional.

A los Ingenieros de la Facultad de Ingeniería Civil quienes me brindaron sus conocimientos en todos estos años de estudio, todos ellos con diferentes personalidades, fue un gran reto haber aprobado sus exámenes de pregrado.

A todos ellos con una nostalgia grande y con una alegría en mi rostro les digo:

MUCHAS GRACIAS.

DEDICATORIA

A Jehová Dios por el amanecer del día a día y darme el apoyo necesario en momentos de soledad.

A mi madre que desde el cielo eterno siempre fue y será una luz en mi camino. Este proyecto es una gran meta trazada juntos allá en el lejano año 2008.

A mi padre y hermanos que con su apoyo, consejos y vivencias los años se pasan con grato calor de hogar.

A los ingenieros de la Facultad de Ingeniería Civil que contribuyeron en mi formación profesional para llegar a ser más que un profesional, una persona con sencillez al servicio y desarrollo del país.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCION	xvi
CAPITULO I.	1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	1
1.1.1. Problema general	3
1.1.2. Problemas específicos.....	3
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general.....	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Justificación e importancia.....	4
1.3.1. Justificación práctica.....	4
1.3.2. Justificación metodológica.....	4
1.3.3. Justificación económica.....	5
1.3.4. Justificación ambiental.....	5
1.4. Hipótesis y descripción de variables.....	5
1.4.1. Hipótesis general	5

1.4.2. Hipótesis específicas	6
CAPITULO II	7
CAPITULO III. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes del problema	7
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	7
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	8
2.2. Bases teóricas	9
2.2.1. El Petróleo	9
2.2.2. El Asfalto	10
2.2.3. Emulsión asfáltica.....	10
2.2.4. Imprimación asfáltica	18
2.2.5. Base granular en carretera	19
2.2.6. Estadística Inferencial.....	22
2.3. Definición de términos básicos	29
CAPITULO IV.....	32
CAPITULO V. METODOLOGÍA	32
3.1. Métodos, y alcance de la investigación	32
3.1.1. Método de investigación	32
3.1.2. Tipo de investigación	32
3.1.3. Nivel de investigación	33
3.2. Diseño de la investigación	33
3.3. Población y muestra	33
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	38
3.4.1. Instrumentos de recolección de datos	38
3.4.2. Técnicas de recolección de datos.....	38

3.5. Procedimiento de la metodología	39
3.5.1. Análisis de agregado de cantera Umuto.....	39
3.5.2. Experimental.....	43
3.5.3. Toma de datos.....	50
CAPITULO VI.....	53
CAPITULO VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
4.1. Resultados.....	53
4.1.1. Penetraciones al 5% de agregados finos en la base granular.....	53
4.1.2. Penetraciones al 10% de agregados finos en la base granular	61
4.1.3. Penetraciones al 20% de agregados finos en la base granular	70
4.1.4. Penetraciones al 25% de agregados finos en la base granular	77
4.1.5. Penetraciones al 30% de agregados finos en la base granular	85
4.1.6. Penetraciones al 35% de agregados finos en la base granular	93
4.1.7. Penetraciones al 40% de agregados finos en la base granular	101
4.1.8. Penetraciones al 45% de agregados finos en la base granular	108
4.1.9. Resumen de datos.....	115
CONCLUSIONES.....	118
RECOMENDACIONES	119
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120
ANEXOS	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ensayos principales a las emulsiones asfálticas.	11
Tabla 2: Especificaciones para emulsiones asfálticas catiónicas.....	17
Tabla 3: Especificación granulométrica para base granular	20
Tabla 4: Características del agregado grueso.....	21
Tabla 5: Características del agregado fino para base granular.	21
Tabla 6: Rangos de Correlación.....	28
Tabla 7: Relación % finos de la base granular y temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica.....	35
Tabla 8: Humedad Natural	39
Tabla 9: Cuadro de análisis granulométrico.	40
Tabla 10: Ensayo de Proctor Modificado.....	42
Tabla 11: Proporción de fino y grueso para 1 molde.....	46
Tabla 12: Proporción fino y grueso para el total de moldes para cada porcentaje de fino.	46
Tabla 13: Penetraciones de la emulsión asfáltica al 5% de finos en la base granular.	54
Tabla 14: Datos estadísticos para el 5% de finos en la base granular.	55
Tabla 15: Prueba de normalidad para el 5% de agregados finos.....	55
Tabla 16: Correlación de Pearson para el 5% de finos en la base granular.....	60
Tabla 17: Penetración de la emulsión asfáltica al 10% de finos en base granular.	62
Tabla 18: Datos estadísticos para el 10% de finos de la base granular.	63
Tabla 19: Prueba de normalidad para el 10% de finos de la base granular.	63
Tabla 20: Correlación de Sperman para el 10% de finos en la base granular.	68

Tabla 21: Penetración de la emulsión asfáltica al 20% de finos en base granular.	70
Tabla 22: Datos estadísticos para el 20% de finos de la base granular.	71
Tabla 23: Prueba de normalidad para el 20% de finos en la base granular.	71
Tabla 24: Correlación de Sperman para el 20% de finos en la base granular.	76
Tabla 25: Penetración de la emulsión asfáltica al 25% de finos en base granular.	78
Tabla 26: Datos estadísticos para el 25% de finos en la base granular.	79
Tabla 27: Pruebas de normalidad para el 25% de finos en la base granular	79
Tabla 28: Correlación de Pearson para el 25% de finos en la base granular.	83
Tabla 29: Penetraciones de la emulsión asfáltica al 30% de finos de la base granular.	86
Tabla 30: Datos estadísticos para 30% de finos de la base granular.	87
Tabla 31: Prueba de normalidad para el 30% de finos de la base granular.	87
Tabla 32: Correlación de Sperman para el 30% de finos de la base granular.	91
Tabla 33: Penetraciones de la emulsión asfáltica al 35% de finos en base granular.	94
Tabla 34: Datos estadísticos para el 35% de finos en la base granular.	95
Tabla 35: Prueba de normalidad para el 35% de finos en la base granular.	95
Tabla 36: Correlación de Sperman para el 35% de finos en la base granular.	99
Tabla 37: Penetraciones de la emulsión asfáltica al 40% de finos en base granular.	102
Tabla 38: Datos estadísticos para 40% de finos en la base granular.	103
Tabla 39: Pruebas de normalidad para el 40% de finos de la base granular.	103
Tabla 40: Correlación de Sperman para el 40% de finos en la base granular. ...	106

Tabla 41: Penetraciones de la emulsión asfáltica al 45% de finos en la base granular.	109
Tabla 42: Datos estadísticos para el 45% de finos en la base granular.	110
Tabla 43: Prueba de normalidad para 45% de fino en la base granular.	110
Tabla 44: Correlación de Sperman para el 45% de finos en la base granular. ..	113
Tabla 45: Resumen de temperaturas mínimas para cada porcentaje de finos. .	115
Tabla 46: Resumen de datos con aproximación.	115
Tabla 47: Resumen de datos con aproximación.	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Imprimación asfáltica.....	2
Figura 2: Riego de emulsiones asfálticas	15
Figura 3: Tratamiento usando emulsión asfáltica	16
Figura 4: Estructura de pavimento flexible.	19
Figura 5: Correlación para +1.....	25
Figura 6: Correlación de Pearson y Spearman +1.	25
Figura 7: Correlación cercana a 0.	26
Figura 8: Correlación -1.....	26
Figura 9: Correlación de Pearson y Spearman -1.	27
Figura 10: Mapa Político del Perú- Región Junín.....	36
Figura 11: Ubicación geográfica del distrito de el Tambo-Huancayo.	36
Figura 12: Ubicación de la cantera en Umuto -Distrito de El Tambo.....	37
Figura 13: Cantera en Umuto para materiales granulares.	37
Figura 14: Curva granulométrica.....	41
Figura 15: Curva del óptimo contenido de humedad.....	43
Figura 16: Clasificación del material granular según el tamiz utilizado.	44
Figura 17: Tamizado de material con la malla #16.....	44
Figura 18: Moldes de trabajo (20cmx20cmx1pulg).....	45
Figura 19: Peso del agregado fino y grueso.....	46
Figura 20: Compactado del material a 5% de finos.....	47
Figura 21: 56 moldes según variaciones de agregados finos.	48
Figura 22: Moldes compactados y secados.	48
Figura 23: Medición de la temperatura de la emulsión asfáltica.....	49
Figura 24: Imprimación asfáltica.....	49

Figura 25: Culminación del proceso de imprimado asfáltico.	50
Figura 26: Medición de la altura de penetración del imprimado asfáltico.	51
Figura 27: Penetración al 10% de finos con 50°C de temperatura.....	51
Figura 28: Penetración al 35% de finos con 60°C de temperatura.....	52
Figura 29: Penetración al 30% de finos con 50 °C de temperatura.....	52
Figura 30: Distribución normal para la temperatura de 20°C con 5% de finos.	56
Figura 31: Distribución normal para la temperatura de 25°C al 5% de finos.	56
Figura 32: Distribución normal para la temperatura de 30°C al 5% de finos.	57
Figura 33: Distribución normal para la temperatura de 35°C al 5% de finos.	57
Figura 34: Distribución normal para la temperatura de 40°C al 5% de finos.	58
Figura 35: Distribución normal para la temperatura de 50°C al 5% de finos.	58
Figura 36: Distribución normal para la temperatura de 60°C al 5 % de finos.	59
Figura 37: Penetración vs temperatura de la emulsión asfáltica para el 5% de finos.	60
Figura 38: Penetración al 5% de finos con 35°C de la emulsión asfáltica.....	61
Figura 39: Distribución asimétrica para la temperatura de 20°C al 10% de finos. 64	
Figura 40: Distribución normal para la temperatura de 25°C al 10% de finos.	65
Figura 41: Distribución normal para la temperatura de 30°C al 10% de finos.	65
Figura 42: Distribución asimétrica para la temperatura de 35°C al 10% de finos. 66	
Figura 43: Distribución normal para la temperatura de 40°C al 10% de finos.	66
Figura 44: Distribución normal para la temperatura de 50°C al 10% de finos.	67
Figura 45: Distribución normal para la temperatura de 60°C al 10% de finos.	67
Figura 46: Penetración vs temperatura de la emulsión asfáltica para el 10% de finos.	69
Figura 47: Penetración al 10% de finos con 60°C de temperatura.....	69
Figura 48: Distribución normal para la temperatura de 25°C al 20 % de finos.	72

Figura 49: Distribución normal para la temperatura de 30°C para el 20% de finos.	73
Figura 50: Distribución normal para la temperatura de 35°C al 20% de finos.	73
Figura 51: Distribución normal para la temperatura de 40°C al 20 % de finos.	74
Figura 52: Distribución asimétrica para la temperatura de 50°C al 20% de finos.	74
Figura 53: Distribución normal para la temperatura de 60°C al 20% de finos.	75
Figura 54: Penetración vs temperatura de la emulsión para el 20% de finos.	76
Figura 55: Penetración al 20% finos con 35°C de la emulsión asfáltica.	77
Figura 56: Distribución normal para la temperatura de 25°C al 25 % de finos.	80
Figura 57: Distribución normal para la temperatura de 30°C al 25% de finos.	80
Figura 58: Distribución normal para la temperatura de 35°C al 25% de finos.	81
Figura 59: Distribución normal para la temperatura de 40°C al 25% de finos.	81
Figura 60: Distribución normal para la temperatura de 50°C al 25% de finos.	82
Figura 61: Distribución normal para la temperatura de 60°C al 25% de finos.	82
Figura 62: Penetración vs temperatura de la emulsión asfáltica al 25% de finos.	84
Figura 63: Penetración al 25% de finos con 50°C de la emulsión asfáltica.	85
Figura 64: Distribución normal para la temperatura de 30°C al 30% de finos.	88
Figura 65: Distribución asimétrica para la temperatura de 35°C al 30% de finos.	89
Figura 66: Distribución asimétrica para la temperatura de 40°C al 30% de finos.	89
Figura 67: Distribución asimétrica para la temperatura de 50°C al 30% de finos.	90
Figura 68: Distribución normal para la temperatura de 60°C al 30% de finos.	90
Figura 69: Penetración vs temperatura de la emulsión asfáltica al 30% de finos.	92
Figura 70: Penetración al 30% de finos con 60°C de la emulsión asfáltica.	93
Figura 71: Distribución normal para la temperatura de 30°C al 35% de finos.	96
Figura 72: Distribución asimétrica para la temperatura de 35°C al 35% de finos.	97

Figura 73: Distribución normal para la temperatura de 40°C al 35% de finos.	97
Figura 74: Distribución normal para la temperatura de 50°C al 35% de finos.	98
Figura 75: Distribución normal para la temperatura de 60°C al 35% de finos.	98
Figura 76: Penetración vs temperatura de emulsión asfáltica al 35% de finos. .	100
Figura 77: Penetración al 35% finos con 50°C de la emulsión asfáltica.....	101
Figura 78: Distribución asimétrica para la temperatura de 35°C al 40% de finos.	104
Figura 79: Distribución normal para la temperatura de 40°C al 40% de finos. ...	104
Figura 80: Distribución normal para la temperatura de 50°C al 40% de finos. ...	105
Figura 81: Distribución normal para la temperatura de 60°C al 40% de finos. ...	105
Figura 82: Penetración vs temperatura de emulsión asfáltica al 40% de finos. .	107
Figura 83: Penetración al 40% de finos con 60°C de la emulsión asfáltica.....	108
Figura 84: Distribución asimétrica para la temperatura de 40°C al 45 % de finos.	111
Figura 85: Distribución normal para la temperatura de 50°C al 45% de finos. ...	111
Figura 86: Distribución normal para la temperatura de 60°C al 45 % de finos. ...	112
Figura 87: Penetración vs temperatura de emulsión asfáltica al 45% de finos. .	113
Figura 88: Penetración al 45% finos con 60°C de la emulsión asfáltica.....	114
Figura 89: Resumen de temperaturas mínimas versus % de agregados finos. .	116
Figura 90: Resumen de los datos obtenidos.	117

RESUMEN

Los finos como el limo y la arcilla son perjudiciales en la construcción de carreteras ya que a la larga pueden generar problemas en la estructura del pavimento, ya sea en suelo de fundación (sub rasante), subbase granular, base granular y la carpeta asfáltica. Años anteriores se vienen realizando investigaciones acerca de cómo eliminar los agregados finos perjudiciales.

La presente investigación titulada: “EFECTO DEL % FINOS DE LA GRAVA Y LA TEMPERATURA DE APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA EN LA PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN DE LA IMPRIMACIÓN EN BASES GRANULARES DE PAVIMENTOS FLEXIBLES –HUANCAYO 2017”, trata sobre un estudio aplicado, con un nivel de investigación Correlacional, el cual abarcará qué efecto tiene el agregado fino de la base granular frente a la imprimación asfáltica sobre la misma.

El proyecto de investigación tiene como objetivo determinar el efecto del % de finos de la base granular y la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica en la profundidad de la penetración de la imprimación en bases granulares de pavimentos flexibles.

Para alcanzar el objetivo en primera instancia se analizó el material a ser estudiado, obteniendo sus características iniciales como su granulometría, óptimo contenido de humedad y humedad natural. Para el caso experimental se realizaron 56 moldes de 20cm x 20cm y 1pulg de altura, los cuales tuvieron una variación en porcentaje de agregados finos de la base granular y la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica sobre la misma.

ABSTRACT

Fines such as silt and clay are harmful in road construction because they can eventually cause problems in the structure of the pavement, either in foundation soil (subgrade), granular subbase, granular base and asphalt binder. Previous years, research is being done on how to eliminate damaging fine aggregates.

The present investigation titled: "EFFECT OF THE % FINES OF THE GRAVA AND THE TEMPERATURE OF APPLICATION OF THE ASPHALTIC EMULSION IN THE DEPTH OF PENETRATION OF THE PRINTING IN GRANULAR BASES OF FLEXIBLE PAVEMENTS - HUANCAYO 2017", is about an applied study, with a level of Correlational research, which will include the effect of the fine aggregate of the granular base versus the asphaltic primer on it.

The objective of the research project is to determine the effect of the% of fines of the granular base and the application temperature of the asphaltic emulsion on the depth of the penetration of the primer on granular bases of flexible pavements.

To reach the objective in the first instance, the material to be studied was analyzed, obtaining its initial characteristics as its granulometry, optimum moisture content and natural humidity. For the experimental case, 56 molds of 20cm x 20cm and 1in of height were made, which had a variation in percentage of fine aggregates of the granular base and the application temperature of the asphaltic emulsion on it.

INTRODUCCION

En las últimas décadas el esfuerzo científico se ha orientado al desarrollo sobre temas de construcción, una de ellas es en materiales asfálticos para la construcción de carreteras cuyas especificaciones técnicas cada vez son más exigentes debido a problemas suscitados. El uso de asfalto abarca en muchos casos en construcción, uno de ellos es el empleo de emulsión asfáltica en carreteras, como es el caso de esta investigación el empleo en imprimación asfáltica, esto para que la colocación de la carpeta asfáltica sobre el imprimado sea un proceso exitoso bajo los parámetros de calidad que nos indica el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Del origen de las emulsiones asfálticas se sabe que los primeros ligantes utilizados en las carreteras fueron en 1854 en la Plaza Sallinis en Auch (Gers, Francia), y el 9 de mayo de 1922 el químico inglés Hugh Mackay presentó una patente sobre las emulsiones. En la década de los años setenta hubo un gran desarrollo en el mundo de las emulsiones y hasta la fecha de hoy el desarrollo ha sido sostenido.

En 1991 el Ministerio de Transportes realizó una serie de ensayos, construyendo una serie de tramos como pruebas de campo en las tres regiones del Perú, y los resultados fueron exitosos.

La presente tesis consta de los siguientes capítulos:

Capítulo I, trata sobre el planteamiento del problema, a partir de la situación dada llegamos a la formulación del problema de investigación para poder obtener el problema general, también los problemas específicos, de esta manera obteniendo nuestras variables en estudio.

Capítulo II, trata sobre recopilación de bases teóricas de conceptos básicos y fuentes sobre el tema planteado, como tipos, aplicaciones, especificaciones, usos y método de aplicación.

Capítulo III, abarca la metodología de la investigación (tipo, nivel, método y diseño), además la manera de cómo se alcanzó los objetivos deseados.

Capítulo IV: trata sobre los resultados obtenidos, así como el análisis de los mismos.

Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO I.

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

El deterioro prematuro de los pavimentos o reducción de la vida útil es una realidad que vivimos en todas las ciudades del Perú, este es ocasionado por muchos factores que van desde una mala estimación y diseño de la estructura, errores en el proceso constructivo, hasta un deficiente programa de mantenimiento. Todos estos contribuyen de alguna manera al deterioro vial.

Estos factores influyen decisivamente para el origen de las fallas funcionales y estructurales que se presentan en la estructura del pavimento, las cuales van a ser de diversos tipos como son: piel de cocodrilo, fisuramiento longitudinal, fisuramiento transversal, fisuras de borde, ahuellamiento, corrimientos, exudación, baches y etc. que se van presentando de acuerdo con alguna deficiencia específica presentada en el pavimento.

Las fallas que encontramos los usuarios en los pavimentos de la ciudad de Huancayo originan incomodidad, molestia y retraso en sus actividades diarias. Al observar y percibir el deterioro de los pavimentos sin un plan de mantenimiento por parte de la entidad encargada, los usuarios al final son los que pagan las consecuencias con un aumento en sus tiempos de viaje para llegar a sus centros de estudios, a su trabajo, a sus hogares,

gastos en el mantenimiento de sus vehículos, etc. Es por ello que en la etapa de construcción de las diferentes capas que conforman los pavimentos flexibles se tiene que dar una buena supervisión y hacer cumplir lo estipulado en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones referente a la imprimación asfáltica en bases granulares y la penetración mínima requerida que nos exige en sus especificaciones el cual viene a ser de 5 mm a 7,5 mm en el caso del riego de imprimado con el uso de las emulsiones asfálticas, como se realizó en el presente trabajo de investigación.

En particular el denominado “Riego de Imprimación”, es usado en capas no asfálticas, con el objetivo de generar una superficie de transición con la nueva capa asfáltica, de esta forma el Riego de Liga será colocado sobre una superficie afín que asegure el anclaje con la capa siguiente. Una mala adherencia entre capas disminuye considerablemente la vida útil de la estructura asfáltica si a esto le sumamos la presencia de finos en la base granular que limitan el alcance de la penetración, estaremos frente a un problema importante. En tal sentido con la presente investigación se pretende dar una solución práctica y efectiva que nos permita enfrentar esta problemática.



Figura 1. Imprimación asfáltica.

Fuente: (Prefectura Guayas, 2015)

1.1.1. Problema general

¿De qué manera afecta el % de finos de la grava y la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica en la profundidad de penetración de la imprimación en bases granulares de pavimentos flexibles –HUANCAYO 2017?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿En qué medida afecta el % de finos de la grava en la profundidad de penetración de la imprimación asfáltica en bases granulares de pavimentos flexibles –HUANCAYO 2017?
- ¿Cómo afecta la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica en la profundidad de penetración de la imprimación en bases granulares de pavimentos flexibles –HUANCAYO 2017?
- ¿Cuánto afecta la combinación de % de finos de la grava y la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica en la profundidad de penetración de la imprimación en bases granulares de pavimentos flexibles –HUANCAYO 2017?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar el efecto del % de finos de la grava y la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica en la profundidad de penetración de la imprimación en bases granulares de pavimentos flexibles –HUANCAYO 2017.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto del % de finos de la grava en la profundidad de penetración de la imprimación en bases granulares de pavimentos flexibles – HUANCAYO 2017.

- Determinar el efecto de la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica en la profundidad de penetración de la imprimación en bases granulares de pavimentos flexibles –HUANCAYO 2017.
- Determinar el efecto de la combinación del % de finos de la grava y la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica en la profundidad de penetración de la imprimación en bases granulares de pavimentos flexibles – HUANCAYO 2017.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación práctica

La presente investigación pretende dar una solución a un problema observado en el proceso constructivo de las capas que conforman los pavimentos flexibles en la ciudad de Huancayo, específicamente en el proceso de imprimado el cual está basado en % de agregados finos presentes en la base granular, y lo que se pretende es buscar la temperatura más adecuada de aplicación de la emulsión asfáltica con el fin de lograr la penetración mínima requerida por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones en cuanto a los riegos de imprimación con emulsiones asfálticas.

1.3.2. Justificación metodológica

Para lograr cumplir los objetivos de la presente investigación, se emplearán instrumentos para medir la variable independiente (% de finos en la base granular y temperatura de colocación de la emulsión asfáltica) y su efecto en la variable dependiente (profundidad de penetración de la imprimación asfáltica en la base granular). Los instrumentos aplicados evaluarán la profundidad de penetración de la imprimación asfáltica, buscando que cumplan con las indicaciones de las especificaciones técnicas planteadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

1.3.3. Justificación económica

En el ámbito económico al solucionar el problema de la penetración de la imprimación asfáltica sobre la base granular frente a una variación de agregados finos presentes sobre la misma, se puede mencionar que con los resultados de la investigación las empresas constructoras tendrían conocimiento de la temperatura más adecuada para realizar el calentamiento de la emulsión asfáltica y lograr la penetración requerida por el MTC y con ello se ahorrarían tiempos y costos en este proceso constructivo inevitable.

También podríamos mencionar que se cumpliría la Supervisión de Calidad en cuanto a la penetración y no sería un perjuicio para las Empresas Constructoras ya que no les harían observaciones para que tiendan a quitar toda la base granular si se realiza un mal proceso de riego de imprimación y que dicho trabajo como todo se traduce en dinero y perjuicios penales.

1.3.4. Justificación ambiental

En el tema ambiental se justifica que con el empleo de emulsión asfáltica cumplimos con las especificaciones técnicas indicadas por el Manual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones en cuanto a no emplear productos dañinos para el medio ambiente y no dañar el mismo como se realizó en anteriores años con el uso del asfalto recortado.

1.4. Hipótesis y descripción de variables

1.4.1. Hipótesis general

El % de finos de la grava y la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica afecta en la profundidad de penetración de la imprimación en bases granulares de pavimentos flexibles –HUANCAYO 2017.

1.4.2. Hipótesis específicas

- El % de finos de la grava afecta en la profundidad de penetración de la imprimación en bases granulares de pavimentos flexibles –HUANCAYO 2017.
- La temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica afecta en la profundidad de penetración de la imprimación en bases granulares de pavimentos flexibles –HUANCAYO 2017.
- La combinación de % de finos de la grava y la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica afectan en la profundidad de penetración de la imprimación en bases granulares de pavimentos flexibles –HUANCAYO 2017.

CAPITULO II.

CAPITULO III. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

Existen estudios previos respecto al tema de las emulsiones asfálticas y su importancia en el tiempo de vida útil de los pavimentos, en los que encontramos:

2.1.1. Antecedentes internacionales

(Cornejo Perez, 2014), en su tesis titulada: “Análisis de la optimización del riego de liga en la colocación de carpeta asfáltica en caliente”, realizado en la Universidad de El Salvador. La investigación tuvo como finalidad determinar la cantidad de ligante por metro cuadrado necesario para obtener la máxima resistencia al corte para cada ligante al unir dos carpetas asfálticas en caliente.

La investigación llegó a la siguiente conclusión:

- La dosis óptima de residuo para la emulsión CSS-1h con la unión de carpetas asfálticas densa gruesa con una densa fina fue de 0.15 lt/m², es necesario aplicar 0.25 lt/m² de emulsión asfáltica sin diluir con agua, si se hace tener en cuenta que incrementará la tasa de riego en la cantidad de agua que se adicione de riego de liga.

(Alvarez Calisto, 2007), en su tesis titulada: “Estudio experimental de la resistencia de la adherencia entre capas en la construcción de carpetas asfálticas en caliente”, realizado en la Universidad de Chile. La investigación tuvo como finalidad determinar la influencia de las variables más significativas en la resistencia de adherencia entre las capas de la carpeta asfáltica.

La investigación llegó a la siguiente conclusión:

- Cualquier tipo de contaminación del residuo o de disminución de la temperatura de compactación recomendada, reduce considerablemente el porcentaje de adherencia.

(Ontiveros Rojas, 2013), en su tesis titulada: “Evaluación de la adherencia entre capas de pavimento empleando diferentes emulsiones asfálticas”, realizado en la Universidad Nacional de México. La investigación tuvo como finalidad valorar la adherencia en la interface de distintos sustratos, interponiendo diferentes emulsiones asfálticas de rotura rápida.

La investigación llegó a la siguiente conclusión:

- El sistema 2 (Referencia asfalto: base granular + emulsión asfáltica modificada + capa asfáltica) obtuvo que su carga máxima fue de 433.81 kg, así obteniéndose un trabajo 986.06 kg*mm siendo ésta la mejor que se comportó.

2.1.2. Antecedentes nacionales

(Condor Alfaro, 2015), en su tesis titulada: “Tratamiento Superficial Bicapa Con Emulsión Asfáltica De La Carretera Valle Yacus Provincia De Jauja – Región Junín 2015”, realizado en la Universidad Peruana Los Andes. La investigación tuvo como finalidad determinar si la aplicación de emulsión asfáltica como tratamiento superficial bicapa influye en la conservación de carreteras no pavimentadas.

La investigación llegó a la siguiente conclusión:

- La aplicación de la emulsión asfáltica como tratamiento superficial bicapa influye en un 77%, además cabe señalar la aplicación de una metodología y

diseño adecuado de la emulsión asfáltica como tratamiento superficial bicapa, permite elevar el nivel de serviciabilidad en un 42%.

(Fernandez Larrauri, 2012), en su tesis titulada: “Reciclado en Frio de Pavimentos Flexibles, con el Uso de Emulsiones Asfálticas Catiónicas”, realizado en la Universidad Nacional de Ingeniería. La investigación tuvo como finalidad mostrar que las mezclas recicladas con emulsiones asfálticas catiónicas son una buena alternativa para la rehabilitación de pavimentos.

La investigación llegó a la siguiente conclusión:

- Las mezclas asfálticas recicladas cumplieron con los parámetros de control de calidad establecidos por las especificaciones técnicas.

(Villa Chaman, 2007), en su tesis titulada: “Reciclado In Situ en Frio de Pavimentos Empleando Emulsiones Asfálticas – Aplicación: Colegio FAP Manuel Polo Jiménez, Urb. San Gabino - Santiago de Surco”, realizado en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. La investigación tuvo como finalidad determinar la viabilidad técnico-económica de la técnica de rehabilitación de pavimentos del reciclado en frio empleando emulsiones asfálticas en la rehabilitación de las carreteras peruanas.

La investigación llegó a la siguiente conclusión:

- Se llegó a obtener un ahorro entre el 10% y 20% en comparación de haberla realizado con un método convencional, como es el caso de usar mezcla asfáltica en caliente.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. El Petróleo

El petróleo es un producto de origen fósil, formado por una mezcla compleja de hidrocarburos. Su consistencia es muy viscosa, de color negro y un olor penetrante. Su formación es debido a la acumulación de detritos de organismos vivos, animales y vegetales, que vivían en mares, lagunas, etc., y fueron cubiertos por sedimentos, produciendo una degradación que en principio fue por bacterias anaerobias y luego

aerobias. Cuando se realiza la extracción del crudo de petróleo, éste no tiene aplicación industrial y es necesario someterlo a un proceso químico de destilación fragmentada continua, llamado refino. Este método consiste en el calentamiento del petróleo crudo alrededor de los 360°C, donde se produce la primera destilación y luego el petróleo pasa a la torre de fragmentación.

2.2.2. El Asfalto

El asfalto es un material viscoso, pegajoso, de color negro y de consistencia variable, está constituido por una mezcla de hidrocarburos pesados. Se encuentra en yacimientos naturales o se obtiene por refinación del petróleo y es usado como aglomerante en mezclas asfálticas para la construcción de carreteras. Está presente en el petróleo crudo y está compuesto casi por completo de bitumen, que es un producto pesado de la refinación del petróleo.

2.2.3. Emulsión asfáltica

La emulsión asfáltica viene a ser la inclusión de pequeñas partículas de asfalto que se encuentran sumergidas en una cantidad de agua y que presentan una estabilidad en la mezcla. Para que ocurra dicha combinación y estabilidad es necesario la inclusión de un agente emulsificante, que viene a ser el que rodea a la partícula de asfalto y le genera una carga ya sea positiva o negativa.

Si la carga que adquiere la partícula de asfalto por parte del agente emulsificante viene a ser la carga positiva entonces se le denomina emulsión del tipo catiónica, por el contrario, si la carga que adquiere viene a ser la carga negativa se le denomina emulsión del tipo aniónica.

Dentro de su composición de la emulsión asfáltica, está conformada principalmente por un 50% a 70% de asfalto, un 30% a 45% de agua y para el agente emulsificante un 0.2% a 2.5%.

En el manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones se mencionan los ensayos que se realizan a las emulsiones para la verificación de la calidad de las mismas y la aprobación de los lotes por parte de la

supervisión mediante sus especificaciones técnicas y los certificados de calidad respectivos. Los ensayos que se realizan a las emulsiones son los siguientes:

Tabla 1: Ensayos principales a las emulsiones asfálticas.

Ensayos a la Emulsión Asfáltica	Norma de los EE. UU.	Norma del MTC
Destilación de las Emulsiones Asfálticas	ASTM D 6997	MTC E 401
Agua en Emulsiones Asfálticas	ASTM D 244	MTC E 402
Viscosidad Saybolt de Emulsiones Asfálticas.	ASTM D 244	MTC E403
Sedimentación en las Emulsiones Asfálticas.	ASTM D 244	MTC E 404
Tamizado de las Emulsiones Asfálticas.	ASTMD 6933-08	MTC E 405
Demulsibilidad de las Emulsiones Asfálticas.	ASTM D 6936	MTC E 406
Carga de las Partículas de las Emulsiones Asfálticas	ASTM D 244	MTC E 407
Ph. de las Emulsiones Asfálticas	NLT-195	MTC E 408
Cubrimiento y Resistencia al desplazamiento de las Emulsiones Asfálticas.	ASTM D 244	MTC E 409
Estabilidad de las Emulsiones Asfálticas	ASTM D 6935	MTC E 410
Residuo por evaporación de Emulsiones A. 163°C	ASTM D 6934	MTC E 411
Cubrimiento de agregado con Emulsiones Asfálticas.	ASTM D 6998	MTC E 412
Miscibilidad con agua de las Emulsiones Asafálticas.	ASTM D 6999	MTC E 413

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

2.2.3.1. Tipos de emulsión asfáltica

“Si bien las emulsiones asfálticas son clasificadas generalmente de acuerdo al tipo de surfactante utilizado (según la carga eléctrica que rodea la partícula de asfalto), también se considera una característica importante al caracterizar las emulsiones: la tasa de sedimentación, que cuantifica la rapidez con la cual coalescen las partículas suspendidas de asfalto o cuán rápido se rompe la emulsión por evaporación del agua, y que es afectada por el tipo y concentración de emulsificante y las condiciones atmosféricas. En tal sentido

se emplean los términos RS (Rapid Setting), MS (Medium Setting) y SS (Slow Setting) para designarlos”. (Mercado, y otros, 2008 pág. 8)

Al entrar en contacto la emulsión con el agregado las partículas de asfalto envuelven al agregado mientras que el agua tiende a ser evaporado hacia la atmósfera, es por ese motivo que a las emulsiones no se les considera dañinos para el medio ambiente. Si en la emulsión se le considera un aditivo, éste será para acelerar o disminuir las reacciones de la mezcla como son el curado y la ruptura.

“Las emulsiones de Rotura Rápida (RS) se utilizan principalmente en tratamiento de superficies. Estas emulsiones interactúan rápidamente con el agregado, y revierten la emulsión a asfalto. Este tipo de emulsiones produce películas resistentes y algunos grados (RS-2 y CRS-2) tienen altas viscosidades para prevenir el escurrimiento, y que una vez formada la capa, ésta no se despegue con facilidad. Estas propiedades la hacen ideal para aplicaciones de rociado, tales como en bacheos, sellos arenosos y tratamientos superficiales”. (Mercado, y otros, 2008 pág. 8)

“Las emulsiones modificadas con polímeros (Polymer Modified Grades) son superiores a las de grado convencional, debido a la adición de un polímero. La base asfáltica en estas emulsiones es más adhesiva y elástica que los cementos asfálticos convencionales. Se obtienen buenos resultados en tratamientos de superficies con menos pérdida de agregados, y mejora la resistencia al corrimiento y al agrietamiento a bajas temperaturas”. (Mercado, y otros, 2008 pág. 8)

Como dato adicional podemos mencionar que los polímeros en las mezclas asfálticas incrementan la viscosidad de la carpeta, disminuyen la susceptibilidad térmica, incrementan la elasticidad y la cohesión e incrementan los esfuerzos de tensión y flexión.

“Las emulsiones de Rotura Media (MS) son diseñadas para ser mezcladas con agregados, ya sea en frío o en caliente, y también para el tratamiento de superficies.

Estas emulsiones no se rompen inmediatamente al contacto con el agregado, y por esta razón, algunas pueden ser elaboradas en una planta y la mezcla resultante, transportada al lugar de la pavimentación. Las emulsiones MS han sido usadas con éxito en mezclas de emulsiones de grado abierto, en reciclado de pavimentos y en mezclas en frío en plantas centrales”. (Mercado, y otros, 2008 pág. 8)

“Las emulsiones HF (High Float = de alta flotación) tienen una calidad específica que permite una densa película asfáltica sobre el agregado, sin riesgo de escurrimiento. Esta película gruesa asegura un mejor cubrimiento del agregado y baja susceptibilidad a la humedad.

Las emulsiones HF crean una estructura de gel en el asfalto residual, que reduce la susceptibilidad a la temperatura del producto final. Estas presentan una espesa película de asfalto para mantener alta rigidez en un clima caliente y menor rigidez (más elástico) en climas fríos. Las HF son buenas para sellos baratos (bacheos) donde el cubrimiento del agregado es completo. En las emulsiones HF modificadas con polímeros, el rendimiento de las emulsiones HF es incrementado. El asfalto residual de estas emulsiones provee una mezcla con alta fuerza adherente, además de una buena capacidad para soportar cargas al ser el pavimento un poco más flexible”. (Mercado, y otros, 2008 pág. 9)

“Las emulsiones de Rotura Lenta (SS) son diseñadas para un tiempo máximo de mezcla con los agregados. Su largo tiempo para la manipulación asegura buen cubrimiento con grados densos, de agregados con un alto contenido de finos.

Su aplicación se extiende, además de la pavimentación, a otros usos industriales. Para tales propósitos, la viscosidad de las emulsiones es baja y puede ser reducida aún más con la adición de agua. Si se desea aumentar la

velocidad de rotura, puede ser añadido un pequeño porcentaje de cemento Portland o cal hidratada, durante la producción de la mezcla”. (Mercado, y otros, 2008 pág. 9)

2.2.3.2. Uso de la emulsión asfáltica

“Las emulsiones asfálticas se utilizan en distintas industrias: sellados, recubrimiento de cañerías, sellados de techos y azoteas, agricultura, fijación de médanos, pellets para deposición de residuos industriales y radiactivos, aislaciones, lagunas y reservorios de aguas o efluentes, impermeabilización de canales de riego y por supuesto trabajos viales”. (Mercado, y otros, 2008 pág. 18)

También podríamos mencionar que el uso predominante de las emulsiones asfálticas catiónicas se da en juntas para pavimentos hidráulicos, adhesivos, selladores, impermeabilizantes, recubrimientos de tuberías especiales y para los tratamientos superficiales como son los riegos de imprimación, riegos negros con emulsión diluida, riegos de liga, riegos de sello con arena o gravilla seleccionada, en los morteros asfálticos o los slury seal.

Riego de liga

“Es la aplicación de la emulsión asfáltica sobre un pavimento ya existente y se utiliza para obtener una buena adherencia con la nueva capa asfáltica a construir, ver figura 2. La emulsión comúnmente usada para este trabajo es la emulsión de tipo catiónico de rotura rápida. El objetivo es lograr una capa fina y uniforme de emulsión la cual liberará el asfalto luego de romper. Es importante determinar la cantidad de emulsión a aplicar de acuerdo con el estado de la carpeta existente. Esta cantidad será lo suficiente para lograr una adecuada adherencia entre las capas asfálticas evitando los excesos que podrían provocar exudación del asfalto”. (Mercado, y otros, 2008 pág. 18)



Figura 2: Riego de emulsiones asfálticas

Fuente: (Mercado, y otros, 2008)

Riego de curado

“Este riego se aplica sobre un agregado estabilizado con cemento o cal para evitar una evaporación excesiva y con esto facilitar el fraguado. Las normas internacionales recomiendan la utilización de emulsiones de corte rápida para esta tarea. Este riego permite que el pavimento adquiera un color negro uniforme en toda su superficie, fijando cualquier material suelto (polvo) y sellando pequeñas fisuras”. (Mercado, y otros, 2008 pág. 19)

Riego de antipolvo

“Se realiza en caminos de tierra para fijar el material suelto de su superficie. El objetivo final es obtener una película delgada de asfalto a partir de riegos sucesivos efectuados con una emulsión muy diluida. En caminos de tierra, un automóvil produce 560 toneladas de polvo por km. al año. Además, en estos caminos la tasa de accidentes es dos veces mayor que en otras calzadas”. (Mercado, y otros, 2008 pág. 19)

Tratamiento y sellado

“En este caso, la emulsión se aplica sobre superficie de pavimentos envejecidos (ver figura 3) con el objeto de rejuvenecerla sellando pequeñas grietas y poros superficiales, o bien producir un puente de adherencia con una nueva carpeta asfáltica que la cubrirá. También puede ser utilizada para sellar

(impermeabilizar) la superficie de una carpeta nueva o de un tratamiento superficial de reciente confección”. (Mercado, y otros, 2008 pág. 19)

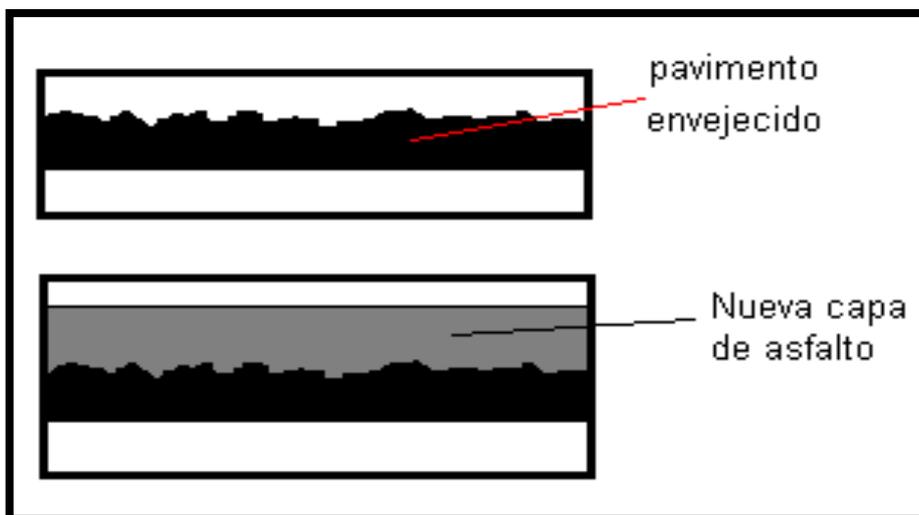


Figura 3: Tratamiento usando emulsión asfáltica

Fuente: (Mercado, y otros, 2008)

2.2.3.3. Especificación Técnica para emulsión asfáltica

El material bituminoso por aplicar en la presente investigación será la emulsión asfáltica tipo catiónica de rompimiento lento, así se cumplió con las especificaciones técnicas del Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones en la sección 427 referente a las emulsiones asfálticas. En la tabla 2 se muestra las especificaciones técnicas para las emulsiones asfálticas tipo catiónicas según las normas ASTM D - 2397 y ASTM D - 3910 referente a las mismas.

Tabla 2: Especificaciones para emulsiones asfálticas catiónicas.

Tipo	Rotura Rápida				Rotura Media				Rotura Lenta		
	CRS-1		CRS-2		CMS-2		CMS-2h		CSS-1		CSS-1h
	min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.	min
Prueba sobre Emulsiones											
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C	-	-	-	-	-	-	-	-	20	100	20
Viscosidad Saybolt Furol a 50°C	20	100	100	400	50	450	50	450	-	-	-
Estabilidad de Almacenamiento, 24h, %(")	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-
Demulsibilidad, 35cm ² , 0.8% Dioctilsulfosuccinato sódico, %	40	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-
Revestimiento y Resistencia al agua											
Revestimiento agregado seco					Bueno		Bueno				
Revestimiento, agregado seco después del rociado					Aceptable		Aceptable				
Revestimiento, agregado húmedo					Aceptable		Aceptable				
Revestimiento, agregado húmedo después del rodado					Aceptable		Aceptable				
Carga de partícula	Positivo		Positivo		Positivo		Positivo		Positivo		Positivo
Prueba de Tamiz %(")	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-
Mezcla con Cemento, %										2	-
Destilación:											
Destilación de aceite, por volumen de emulsión	-	3	-	3	-	12	-	12			
% Residuo	60	-	65	-	65	-	65	-	57	-	
Pruebas sobre el Residuo de destilación:											
Penetración, 25°C, 100 g, 5s	100 ^(a)	250 ^(a)	100 ^(a)	250 ^(a)	100	250	40	90	100	250	40
	50 ^(a)	150 ^(a)	50 ^(a)	150 ^(a)							
Ductibilidad, 25°C, 5cm/min, cm	40		40		40		40		40		40
Solubilidad en Tricloretileno, %	97.5		97.5		97.5		97.5		97.5		97.5

Nota:

(*) CQS – 1H, emulsión que debe cumplir los requisitos considerados en la Norma D - 3910.

CQS – 1h, usado para sistemas de mortero asfáltico.

(**) Este requerimiento de prueba en muestras representativas se exige.

(a) En función a las condiciones climáticas del proyecto se definirá uno de los grados indicados (50-150 o 100-250)

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

2.2.4. Imprimación asfáltica

El riego de imprimación consiste en la aplicación de un material asfáltico, en forma de película, sobre la superficie de la subrasante o de un material granular no tratado (sub-base o grava de río), o sobre una base granular no tratada (piedra chancada, grava triturada o escoria de acería).

La imprimación asfáltica se realiza con un material bituminoso sobre una superficie granular preparada, esto con la finalidad de recibir una nueva capa asfáltica o evitar la disgregación de la superficie granular, lo recomendable para este riego son las emulsiones asfálticas tipo catiónicas.

2.2.4.1. Funciones

Esta aplicación puede perseguir uno o más de los propósitos siguientes:

- Impermeabilizar la superficie.
- Cerrar los espacios capilares.
- Revertir y pegar sobre la superficie las partículas sueltas.
- Endurecer la superficie.
- Facilitar el mantenimiento.
- Promover la adherencia entre la superficie sobre la cual se coloca y la primera capa de mezcla asfáltica sobre ella colocada.

De todas estas funciones, en una operación continua de pavimentación, la más importante es la de promover la adherencia entre las capas.

2.2.4.2. Tipo y cantidad de material a ser aplicado

- El tipo y cantidad de material asfáltico a aplicar depende principalmente de la textura y porosidad del material sobre el cual es aplicado.
- Las especificaciones técnicas descritas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones indican una cantidad que varía entre 0.70 y 1.5 lt/m².

- Lógicamente las superficies más densas y cerradas necesitarán menor cantidad de aplicación, pues absorberán menos cantidad que las superficies gruesas y abiertas.
- El tiempo requerido para lograr una penetración óptima de la imprimación asfáltica debe ser por lo menos unas 24 horas sobre una superficie de base granular.
- La emulsión que se empleó fue la Emulsión Catiónica de Rotura Lenta CSS-1h, CRL-1h, cuya ficha técnica de calidad se observa en el Anexo 3.

2.2.5. Base granular en carretera

Es un material granular grueso, el cual, dentro de la estructura de pavimentos, se encuentra entre el asfalto o el concreto y la subbase granular. Esta también puede ser de mezcla asfáltica o con tratamientos según diseño.

Esta base está constituida por materiales granulares que pueden ser obtenidos de forma natural o procesados y que pueden contener en algunos casos unos estabilizadores o ligantes. Deberá de pasar los requerimientos del análisis granulométrico con su serie de tamices respectivos para ser considerada base granular y se entiende que tendrá que tener la aprobación de la supervisión para ser colocada en el proyecto vial. En la figura 4 se observa las capas que conforman el pavimento flexible con inclusión de la base granular en mención.

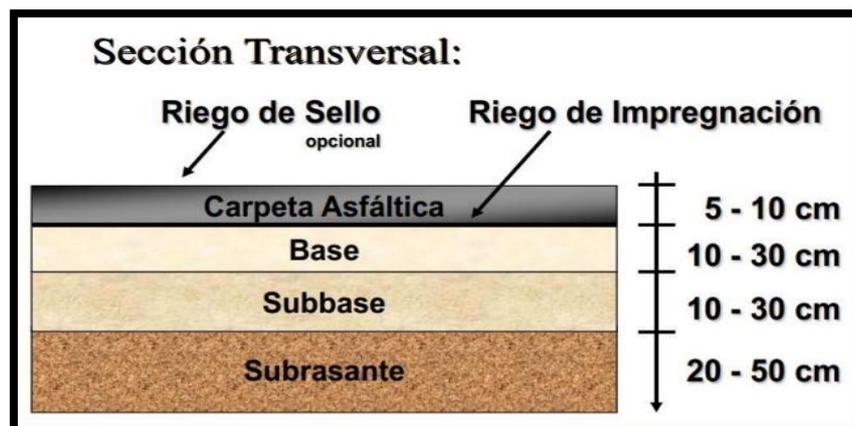


Figura 4: Estructura de pavimento flexible.

Fuente: (SlideShare, 2012)

2.2.5.1. Características granulométricas de la base granular

Los materiales por utilizar deberán cumplir uno de los requisitos granulométricos indicados en la tabla 3, planteado por el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones y según la norma ASTM D 1241 referente a los requerimientos para bases granulares.

El uso para zonas mayores a los 3000 m.s.n.m. es del tipo A como hace mención el manual del MTC.

Tabla 3: Especificación granulométrica para base granular

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75 – 95	100	100
9.5 mm (3/8")	30 – 65	40 – 75	50 – 85	60 – 100
4.75 mm (Nº 4)	25 – 55	30 – 60	35 – 65	50 – 85
2.0 mm (Nº 10)	15 – 40	20 – 45	25 – 50	40 – 70
4.25 um (Nº 40)	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
75 um (Nº 200)	2 – 8	5 – 15	5 -15	8 – 15

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

2.2.5.2. Características geométricas de la base granular

Las características que debe de cumplir el agregado grueso de base granular se detalla en la tabla 4 planteado por el manual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones y según las normas que se muestran en la misma. Las normas ASTM D - 422 y la norma peruana del MTC E - 107 refieren que el agregado grueso es el material retenido en el tamiz Nº4 según el análisis granulométrico que se realiza al material. Este agregado grueso podrá provenir de fuentes naturales, procesados o la combinación de ambos.

Tabla 4: Características del agregado grueso.

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimientos	
				Altitud	
				< Menor de 3000 msnm	> 3000 msnm
Partículas con una cara fracturada	MTC E 210	D 5821	.-	80% mín.	80% mín.
Partículas con dos caras fracturadas	MTC E 210	D 5821	.-	40% mín.	50% mín.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	40% máx.	40% máx.
Partículas Chatas y Alargadas (1)	.-	D 4791	.-	15% máx.	15% máx.
Sales Solubles Totales	MTC E 219	D 1888	.-	0.5% máx.	0.5% máx.
Durabilidad al Sulfato de magnesio	MTC E 209	C 88	T 104	.-	18% máx.

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

Asimismo, se detallan las especificaciones técnicas para el agregado fino para bases granulares en la tabla 5. Las normas ASTM D 422 y la norma peruana del MTC E 107 refieren que el agregado fino es el material pasante el tamiz N°4 según el análisis granulométrico que se realiza al material.

Este agregado fino podrá provenir de fuentes naturales, procesados o la combinación de ambos.

Tabla 5: Características del agregado fino para base granular.

Ensayo	Norma	Requerimientos	
		< 3 000 m.s.n.m.	> 3 000 m.s.n.m.
Índice Plástico	MTC E 111	4% máx.	2% máx.
Equivalente de arena	MTC E 114	35% mín.	45% mín.
Sales solubles	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	---	15%

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

2.2.6. Estadística Inferencial

La estadística inferencial busca determinar conclusiones de una población a partir de los datos obtenidos de una muestra representativa, la cantidad no debe de ser muy pequeña y la calidad debe ser el reflejo de las características de la población.

A partir de la estadística inferencial podemos determinar dos tipos de prueba, la estimación y las pruebas de hipótesis. En la estimación podemos obtener una estimación puntual (media, proporción y varianza) o por intervalo (intervalo de confianza). En la prueba de hipótesis se analiza la aceptación de la hipótesis planteada como la hipótesis nula e hipótesis alterna.

2.2.6.1. Prueba de Distribución Normal

La distribución normal o distribución de Gauss representa la forma en la que se distribuyen en la naturaleza los diversos valores numéricos de las variables continuas.

Un caso específico de ajuste a una distribución teórica es la correspondiente a la distribución normal. Este contraste se realiza para comprobar si se verifica la hipótesis de la prueba de distribución normal necesaria para que el resultado de algunos análisis sea fiable.

Para comprobar la hipótesis nula de que la muestra ha sido extraída de una población con distribución de probabilidad normal se debe de realizar un estudio gráfico y/o analítico.

PRUEBA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV

La prueba Kolmogorov-Smirnov kolmogorov se aplica para contrastar la hipótesis de normalidad de la población, el estadístico de prueba es la máxima diferencia:

$$D = \text{máx}|Fn(x) - Fo(x)|$$

Donde:

$F_n(x)$ = La función de distribución muestral.

$F_0(x)$ = La función teórica o correspondiente a la población normal especificada en la hipótesis nula.

La distribución del estadístico de Kolmogorov-Smirnov es independiente de la distribución poblacional especificada en la hipótesis nula y los valores críticos de este estadístico están tabulados. Si la distribución postulada es la normal y se estiman sus parámetros, los valores críticos se obtienen aplicando la corrección de significación propuesta por Lilliefors.

PRUEBA DE SHAPIRO-WILK

Cuando la muestra es como máximo de tamaño 50 se puede contrastar la normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk. Para efectuarla se calcula la media y la varianza muestral, S^2 , y se ordenan las observaciones de menor a mayor. A continuación, se calculan las diferencias entre: el primero y el último; el segundo y el penúltimo; el tercero y el antepenúltimo, etc. y se corrigen con unos coeficientes tabulados por Shapiro y Wilk. El estadístico de prueba es:

$$W = \frac{D^2}{nS^2}$$

Donde:

D = La suma de las diferencias corregidas.

W = Prueba de Shapiro – Wilk.

n = número de datos.

S^2 = Varianza muestral.

Se rechazará la hipótesis nula de normalidad si el estadístico W es menor que el valor crítico proporcionado por la tabla elaborada por los autores para el tamaño muestral y el nivel de significación dado.

2.2.6.2. Correlación

El coeficiente de correlación mide el grado en que dos variables tienden a cambiar al mismo tiempo. El coeficiente describe tanto la fuerza como la dirección de la relación.

Correlación del momento del producto de Pearson

La correlación de Pearson evalúa la relación lineal entre dos variables continuas. Una relación es lineal cuando un cambio en una variable se asocia con un cambio proporcional en la otra variable.

Por ejemplo, usted puede usar una correlación de Pearson para evaluar si los aumentos de temperatura en sus instalaciones de producción están asociados con una disminución en el espesor de las capas de chocolate.

Correlación del orden de los rangos de Spearman

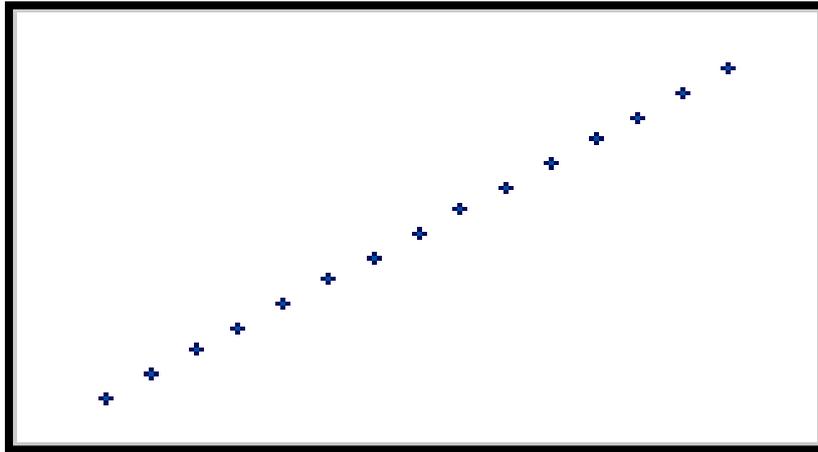
La correlación de Spearman evalúa la relación monótona entre dos variables continuas u ordinales. En una relación monótona, las variables tienden a cambiar al mismo tiempo, pero no necesariamente a un ritmo constante. El coeficiente de correlación de Spearman se basa en los valores jerarquizados de cada variable y no en los datos sin procesar.

La correlación de Spearman suele utilizarse para evaluar relaciones en las que intervienen variables ordinales. Por ejemplo, usted puede usar una correlación de Spearman para evaluar si el orden en que los empleados completan un ejercicio de prueba se relaciona con el número de meses que han estado trabajando en la empresa.

Siempre es una buena idea examinar la relación entre las variables con una gráfica de dispersión. Los coeficientes de correlación solo miden relaciones lineales (Pearson) o monótonas (Spearman). Son posibles otras relaciones.

Comparación de los coeficientes de Pearson y Spearman

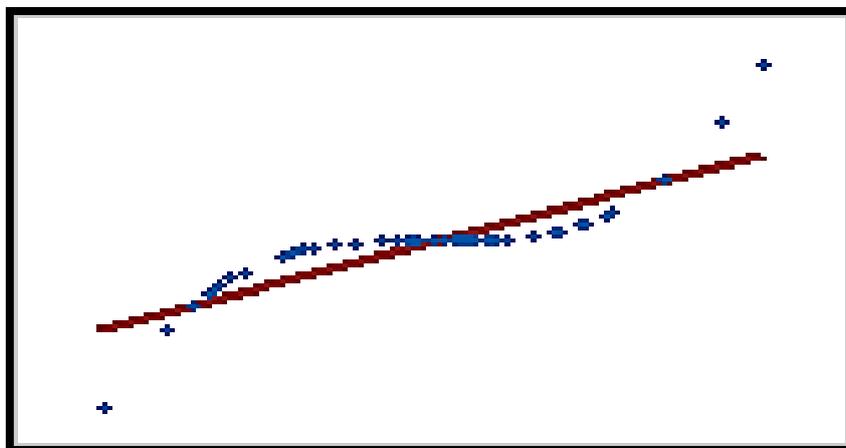
El valor de los coeficientes de correlación de Pearson y Spearman puede variar de -1 a $+1$. Para que el coeficiente de correlación de Pearson sea $+1$, cuando una variable aumenta, la otra variable aumenta en una cantidad consistente. Esta relación forma una línea perfecta. El coeficiente de correlación de Spearman también es $+1$ en este caso. (ver figura 5)



Pearson = $+1$, Spearman = $+1$

Figura 5: Correlación para $+1$

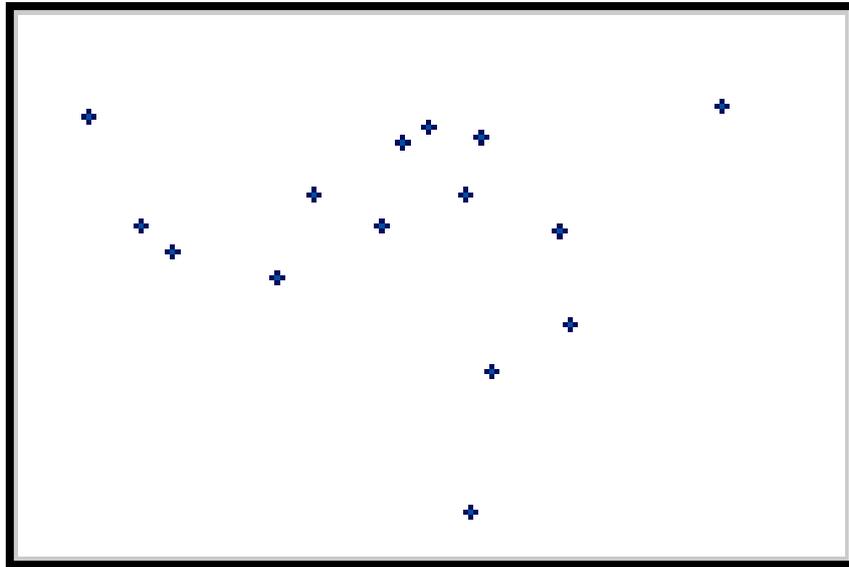
Si la relación es que una variable aumenta cuando la otra aumenta, pero la cantidad no es consistente, el coeficiente de correlación de Pearson es positivo pero menor que $+1$. El coeficiente de Spearman sigue siendo igual a $+1$ en este caso. (ver figura 6)



Pearson = $+0.851$, Spearman = $+1$

Figura 6: Correlación de Pearson y Spearman $+1$.

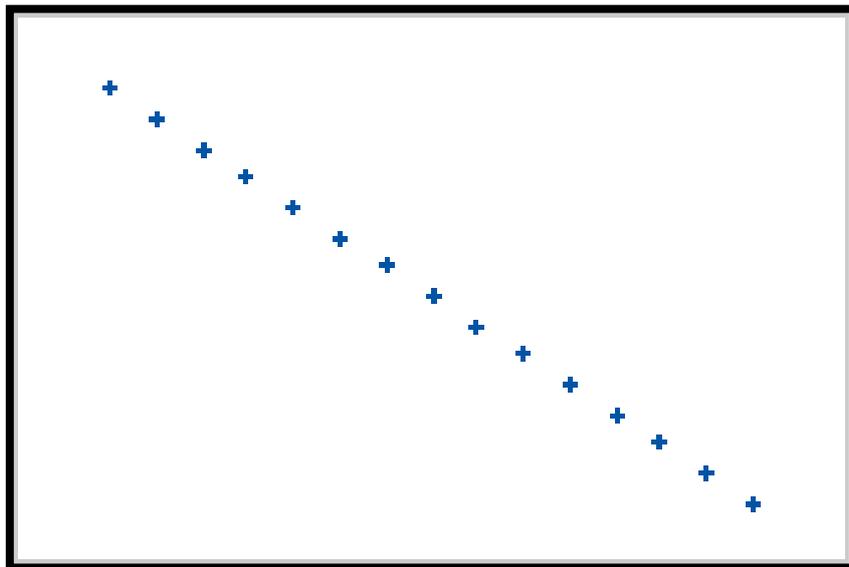
Cuando una relación es aleatoria o no existe, entonces ambos coeficientes de correlación son casi cero. (ver figura 7)



Pearson = -0.093, Spearman = -0.093

Figura 7: Correlación cercana a 0.

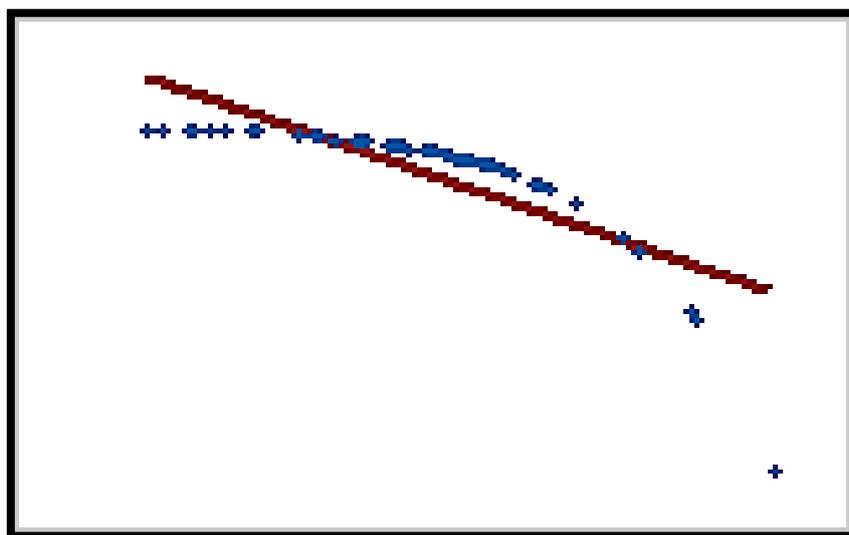
Si la relación es una línea perfecta para una relación decreciente, entonces ambos coeficientes de correlación son -1. (ver figura 8)



Pearson = -1, Spearman = -1

Figura 8: Correlación -1.

Si la relación es que una variable disminuye cuando la otra aumenta, pero la cantidad no es consistente, entonces el coeficiente de correlación de Pearson es negativo, pero mayor que -1 . El coeficiente de Spearman sigue siendo igual a -1 en este caso. (ver figura 9)



Pearson = -0.799 , Spearman = -1

Figura 9: Correlación de Pearson y Spearman -1 .

Los valores de correlación de -1 o 1 implican una relación lineal exacta, como la existente entre el radio y la circunferencia de un círculo. Sin embargo, el valor real de los valores de correlación está en cuantificar las relaciones que son menos que perfectas.

El descubrir que dos variables están correlacionadas suele ser útil para un análisis de regresión que intenta describir más detalladamente este tipo de relación.

Para observar el grado de correlación entre dos variables se detalla la misma en la tabla 6.

Tabla 6: Rangos de Correlación.

ITEM	PROYECTO
-0.91 a -1.00	Correlación negativa perfecta
-0.76 a -0.90	Correlación negativa muy fuerte
-0.51 a -0.75	Correlación negativa considerable
-0.11 a -0.50	Correlación negativa media
-0.01 a -0.70	Correlación negativa débil
0.00	No existe correlación
+0.01 a +0.10	Correlación positiva débil
+0.11 a +0.50	Correlación positiva media
+0.51 a +0.75	Correlación positiva considerable
+0.76 a +0.90	Correlación positiva muy fuerte
+0.90 a +1.00	Correlación positiva perfecta

Fuente: (Monografías, 2017)

2.3. Definición de términos básicos

Ahuellamiento

Depresión longitudinal continua a lo largo del rodamiento del tránsito. Depresión de la superficie asfáltica que se manifiesta según los diferentes niveles de severidad y esto se origina debido a una mala compactación de las capas de la estructura del pavimento o una deficiente mezcla asfáltica. En el nivel de severidad alta la profundidad de la depresión es mayor de 2.5 cm. (Humpiri Pineda, 2015)

Asfalto Cortado

El asfalto cortado o diluido es fabricado a partir de un cemento asfáltico en solventes derivados del petróleo. Se emplea en riegos de imprimación simples o reforzadas de bases granulares, pero en la actualidad genera problemas ambientales.

Bache

Desintegración de la carpeta asfáltica y que afecta la estructura de las capas del pavimento, esto debido al nivel alto de la desintegración de las fisuras piel de cocodrilo. El agua en las fisuras ha ocasionado una desintegración juntamente con las cargas de tránsito sobre el pavimento sin un adecuado mantenimiento vial.

Deterioro

Deficiencia presentada en el pavimento ya sea por el prolongado tiempo de servicio sin un adecuado mantenimiento vial, y que se presenta con alguna falla funcional o estructural en el pavimento.

Emulsión Asfáltica

Dispersión de un líquido en otro, no miscibles entre sí, en forma de partículas microscópicas. En el caso de una emulsión asfáltica, los glóbulos microscópicos de asfalto estarán dispersos en agua jabonosa.

Emulsión de Rotura lenta

Están diseñadas para máxima estabilidad de mezclado. Se utilizan con agregados de gradación densa y alto contenido de finos. Poseen largos periodos de trabajabilidad para asegurar una buena mezcla con los agregados.

Emulsión de Rotura Media

Diseñadas para mezclarse con agregados gruesos y no rompen inmediatamente al entrar en contacto con el árido. Se utilizan en mezclas que permanecen trabajables por algunos minutos, las cuales deben realizarse en plantas, ya sean móviles o fijas. Los grados CRM poseen altas viscosidades para prevenir escurrimientos.

Emulsión de Rotura rápida

Estas emulsiones están diseñadas para reaccionar rápidamente con el árido revirtiendo su estado de emulsión al de asfalto, formando una película relativamente gruesa. Estas emulsiones se aplican normalmente mediante riego, presentando una excelente performance en diferentes zonas geográficas a distintas altitudes y climas.

Exudación

Afloramiento del material bituminoso sobre la superficie del pavimento, esto debido a un exceso de asfalto en las mezclas asfálticas y/o sellos bituminosos.

Granulometría

Medición y graduación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas. Según la curva granulométrica obtenida se puede determinar qué tipo de material es, pudiendo encontrar material fino o grueso.

Imprimación Asfáltica

La imprimación asfáltica es la aplicación de un material bituminoso sobre una superficie granular debidamente preparada, esto con la finalidad de recibir una nueva capa asfáltica o de evitar la disgregación de la superficie. Los riegos de imprimación son ideales con emulsiones asfálticas por un tema ambiental.

Mantenimiento Vial

Es el mantenimiento rutinario y periódico que se le da a un pavimento, esto con la finalidad de mantener y/o preservar sus características de diseño para el buen confort y serviciabilidad para los usuarios.

Pavimento

Nombre que se da a una superficie que sirve para la circulación de los vehículos, compuesto de diferentes materiales de construcción como son asfalto, concreto o una mezcla de ambos como son los mixtos y que están formados de diferentes capas según el pavimento a construir.

Riego de Liga

Consiste en la aplicación de un material asfáltico sobre una capa de pavimento, con objeto de lograr una buena adherencia con otra capa de mezcla asfáltica que se construya por encima del mismo.

Viscosidad

La viscosidad se refiere a la resistencia a las deformaciones por tensiones cortantes o tensiones de tracción. También se puede mencionar que es la resistencia que ofrece un material para fluir por un conducto.

CAPITULO IV.

CAPITULO V. METODOLOGÍA

3.1. Métodos, y alcance de la investigación

3.1.1. Método de investigación

Según (Tamayo, 2003), “El método científico involucra el conocimiento científico y la investigación científica, este método es un proceso para descubrir las condiciones en que se detallan hechos específicos, que se caracteriza por ser tentativo, verificable, de razonamiento riguroso y observación empírica”.

La investigación realizada observó los problemas en la penetración de la imprimación como fueron las cantidades de agregados finos presentes en la base granular que impidieron una adecuada penetración de la imprimación asfáltica sobre la misma. El método que se empleó en el trabajo de investigación fue el Método **Científico**.

3.1.2. Tipo de investigación

Según (Tan Malaga, y otros, 2008 pág. 147), “La investigación aplicada ha enfocado la atención sobre solución de teorías cual concierne solo a un grupo en particular mas no generaliza, se refiere a resultados inmediatos y busca perfeccionar a los individuos implicados en el proceso de investigación”.

La investigación buscó dar solución a la teoría planteada acerca de qué manera influye la temperatura de la emulsión asfáltica y el % de finos de la base granular frente a la penetración de la imprimación asfáltica en bases granulares de pavimentos flexibles en la ciudad de Huancayo, por lo mencionado el tipo de investigación fue la Investigación Aplicada.

3.1.3. Nivel de investigación

Según (Valderrama Mendoza, 2002 pág. 168), menciona que: “Este tipo de estudio tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que existe entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular”.

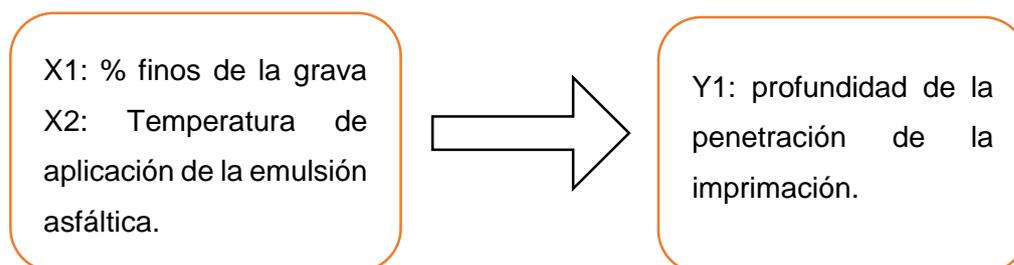
El estudio pretende ver la relación o el grado de asociación entre el % de agregados finos, la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica y la penetración de la imprimación, por lo tanto, el nivel es **Correlacional**.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de investigación es **Experimental** con post prueba únicamente y grupo de control.

Variable independiente: X

Variable dependiente: Y



3.3. Población y muestra

Se desea investigar el efecto del % de agregados finos de la grava y la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica en la profundidad de penetración de la imprimación en bases granulares de pavimentos flexibles –Huancayo 2017.

Población objetivo

Mi universo poblacional fueron todas las dosificaciones y aplicación de imprimación asfáltica sobre bases granulares en la ciudad de Huancayo.

Los criterios de inclusión o exclusión para la delimitación poblacional son las siguientes:

- a. Espacial:** se consideran los procedimientos de imprimación realizados en la ciudad de Huancayo, aplicados sobre bases granulares con presencia de % de agregados finos variables.
- b. Tipo de emulsión:** Emulsión asfáltica de Rompimiento Lento.
- c. Marco muestral:** Las muestras fueron conformadas por material granular con porcentaje de agregados finos pasante la malla #16: 5%, 10%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40% y 45% y temperaturas de aplicación de la emulsión asfáltica con 20°C, 25°C, 30°C, 35°C, 40°C, 50°C y 60°C.

NOTA: En el caso de porcentaje de agregados finos, por cada 5% de agregado fino pasante la malla #16 es 1% de agregado fino pasante la malla #200 el cual es limo o arcilla. Se trabajó así por un tema de facilidad en la obtención de la cantidad de agregados finos para el experimento.
- d. Técnica de muestreo:** No probabilístico, intencional.
- e. Tamaño de muestras:** 56 moldes, los moldes fueron de 20 cm x 20 cm x 2.54cm (1 pulg) de altura, estas dimensiones fueron suficientes para la medición de la profundidad de la imprimación asfáltica.

En la tabla 7 se muestra la distribución que se planteó para la conformación de muestras de la variación de los agregados finos de la base granular y la temperatura de la emulsión asfáltica esto con el fin de tener un orden en el experimento.

Tabla 7: Relación % finos de la base granular y temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica.

% finos Pasante malla #16	% finos Pasante malla #200	Temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica						
		20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	50°C	60°C
5%	1%	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	50°C	60°C
10%	2%	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	50°C	60°C
20%	4%	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	50°C	60°C
25%	5%	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	50°C	60°C
30%	6%	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	50°C	60°C
35%	7%	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	50°C	60°C
40%	8%	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	50°C	60°C
45%	9%	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	50°C	60°C

Fuente: Propia

La cantera de la que se obtuvo el material para base granular en estudio fue la cantera de Umuto, que se encuentra en el distrito de El Tambo en la provincia de Huancayo de la región Junín.

De la cantera de Umuto toman el material tanto para bases y sub bases granulares de los diferentes pavimentos que se construyen en la provincia de Huancayo, y es por lo que se trabajó con dicho material granular.

En la figura 10, figura 11 y figura 12 se muestran los mapas respectivos sobre la ubicación tanto a nivel regional, provincial y distrital de la cantera en estudio y su respectiva localización.

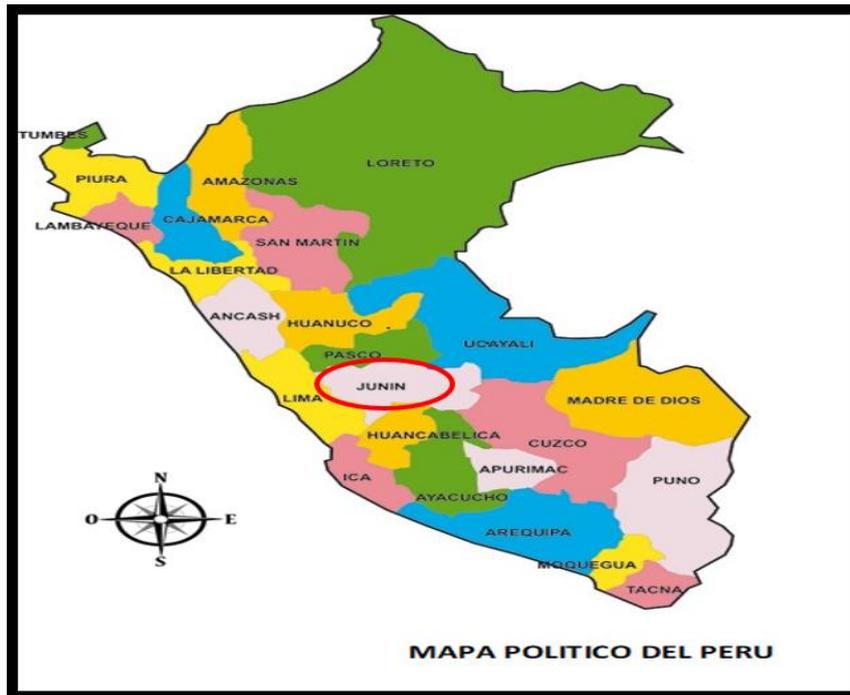


Figura 10: Mapa Político del Perú- Región Junín.

Fuente: Propia



Figura 11: Ubicación geográfica del distrito de el Tambo-Huancayo.

Fuente: Propia.



Figura 12: Ubicación de la cantera en Umuto -Distrito de El Tambo.

Fuente: Propia

En la figura 13 se muestra las excavaciones que se han realizado a la Cantera de Umuto en el distrito de El Tambo. Se observa los volúmenes de material listos para pasar por el tamiz respectivo y luego ser trasladados a los diferentes puntos de construcción de las capas de los pavimentos como son las bases y subbases.



Figura 13: Cantera en Umuto para materiales granulares.

Fuente Propia

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos utilizados en la presente investigación fueron:

Equipo de cómputo, equipos de laboratorio para realizar los ensayos al material en estudio tanto para el análisis granulométrico, ensayo Proctor y el ensayo CBR. Para el calentamiento de la emulsión asfáltica se utilizó un termómetro y por último para constatar la altura de penetración de la emulsión se utilizó una herramienta como fue el vernier.

3.4.2. Técnicas de recolección de datos

Las técnicas que se realizaron en la investigación se detallan paso a paso:

- Se recolectó el material en estudio de la cantera Umuto ubicada en el distrito de El Tambo, provincia de Huancayo.
- Se secó a todo el material granular en una estufa.
- Se realizó el ensayo de Proctor Modificado, granulometría e índice de plasticidad al material extraído de cantera.
- Se realizaron los 56 moldes con sus datos ya establecidos y variando el % de finos de la base granular.
- Se ejecutó el experimento, el cual consistió en aplicar uniformemente la emulsión asfáltica a diferentes temperaturas sobre la base granular.
- Se midió la altura de penetración de cada molde teniendo en cuenta la relación % de fino y temperatura de la emulsión asfáltica.
- Con los datos obtenidos se buscó la existencia de correlación entre la penetración de la imprimación asfáltica y la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica mediante el Coeficiente de Pearson y de Spearman.
- Se obtuvieron los gráficos respectivos para cada temperatura de aplicación según cada porcentaje de agregados finos, se obtuvieron las temperaturas mínimas a las que la penetración del imprimado es aceptable.

- Se realizó un resumen de las ecuaciones obtenidas para cada temperatura mínima de aplicación y un gráfico general con todas las líneas de tendencia respectivas.

3.5. Procedimiento de la metodología

3.5.1. Análisis de agregado de cantera Umuto

Se optó por trabajar con la cantera de Umuto debido a que las carreteras ejecutadas y en ejecución toman el material de la cantera para las capas que conforman el pavimento como son la base y subbase granular.

Se evaluó las características naturales del agregado obtenido en campo, como fueron la granulometría, porcentaje de humedad natural, límites de consistencia, ensayo de Proctor Modificado y ensayo de CBR. (ver anexo 2).

A continuación, se muestran los ensayos principales realizados al material, y también en los anexos respectivos se detallan sus respectivos cuadros y gráficos calculados.

a. Porcentaje de humedad natural

La humedad nos permite observar el porcentaje de agua presente en el material granular al momento de su extracción de la cantera en estudio, que en este caso fue de la cantera de Umuto.

Tabla 8: Humedad Natural

ENSAYO N°	1
Nro. DE TARA	T-16
PESO TARA + SUELO HUMEDO gr.	1188.90
PESO TARA + SUELO SECO gr.	1173.90
PESO DE LA TARA gr.	188.90
PESO DEL AGUA gr.	15.00
PESO SUELO SECO gr.	985.00
HUMEDAD %	1.52
HUMEDAD NATURAL %	1.5

Fuente: Propia.

b. Ensayo de granulometría

En la tabla 9 se observa el ensayo granulométrico para poder determinar el tipo de material en estudio, esto según la norma ASTM D 422 tanto para agregados finos y agregados gruesos que pasan la serie de tamices respectivos.

Tabla 9: Cuadro de análisis granulométrico.

TAMIZ	PESO	% RETEND.	% RETEND.	% QUE	% QUE	% QUE
	RETEND.	PARCIAL	ACUMUL.	PASA	PASA MAX	PASA MIN
4"	0.000	0.0		100.0	100.0	100.0
3"	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
2 1/2"	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
2"	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1 1/2"	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
3/8"	1960.000	49.0	49.0	51.0	65.0	30.0
Nº 4	122.500	3.1	52.1	47.9	55.0	25.0
Nº 8	523.600	13.1	65.2	34.8	47.5	20.0
Nº 10	165.600	4.1	69.3	30.7	40.0	15.0
Nº 16	246.300	6.2	75.5	24.6	33.3	12.7
Nº 20	241.700	6.0	81.5	18.5	26.7	10.3
Nº 40	138.200	3.5	84.9	15.1	20.0	8.0
Nº 200	402.000	10.1	95.0	5.00	8.00	2.00
< Nº 200	200.100	5.0	100.0	0.00		

Fuente: Propia

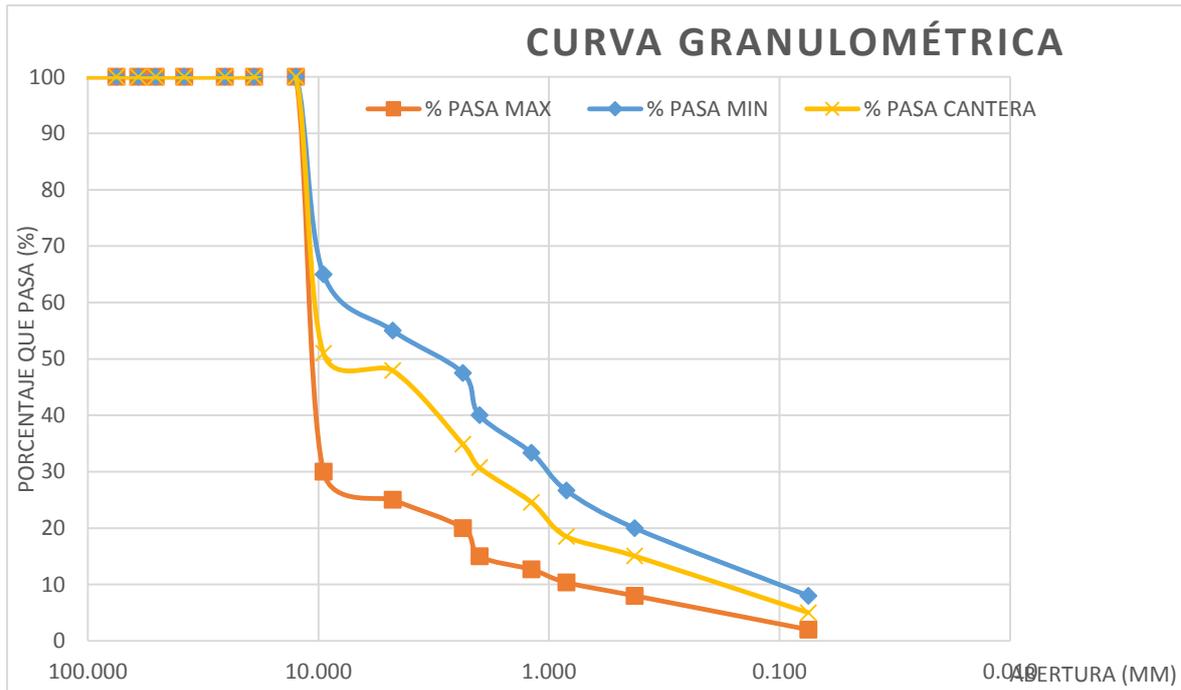


Figura 14: Curva granulométrica.

Fuente: Propia

En la figura 14 se observa el análisis granulométrico del material en estudio. El material cumple con el uso de gradación “A” ideal para bases granulares en lugares mayor a 3000 msnm como se indica en las especificaciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

En el análisis granulométrico y según la clasificación de suelos propuesta por el sistema SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) el material se clasifica como un GM y según la clasificación del AASHTO (La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes) el material es un A-1-a(0) que vendría a ser una grava limosa el cual es una mezcla de grava, arena y limo.

c. Ensayo de Proctor modificado

En la tabla 10 se muestra el ensayo referente a la Compactación de Suelos en Laboratorio, este ensayo nos permitió determinar la humedad óptima o el contenido de agua óptimo para el material granular y alcanzar la compactación deseada mediante una energía de compactación realizada a la muestra.

El método de ensayo que se realizó fue el “método C”, que considera unos 56 golpes en unas 5 capas después de haber pasado el tamiz respectivo de $\frac{3}{4}$ “, tal como nos menciona las normas peruanas como son el MTC E 115, NTP 339.141 y la norma americana ASTM D 1557 sobre el ensayo de compactación de suelos en laboratorio.

Tabla 10: Ensayo de Proctor Modificado

		Método de compactación C			
		Numero de golpes 56			
		Numero de capas 5			
CALCULO DE DENSIDAD HÚMEDA		1	2	3	4
Peso suelo húmedo. + molde	g	7555	7608	7450	7315
Peso del molde	g	2740	2740	2740	2740
Volumen del molde	cc	2124	2124	2124	2124
Peso suelo húmedo	g	4815	4868	4710	4575
Densidad suelo húmedo	g/cc	2.267	2.292	2.218	2.154
CALCULO DE HUMEDAD					
Capsula Nº		6	1	4	3
Peso del suelo húmedo.+ capsula	g	64.5	41.3	64.1	85.5
Peso del suelo seco+capsula	g	60.8	39.8	62.2	84.1
Peso del agua	g	3.7	1.6	1.9	1.4
Peso de la capsula	g	14.2	14.0	14.0	14.3
Peso del suelo seco	g	46.6	25.8	48.2	69.8
Contenido de humedad	%	7.99	6.02	4.00	2.00
Promedio de cont. de humedad	%	8.0	6.0	4.0	2.0
CALCULO DE DENSIDAD SECA					
Densidad seca del suelo	g/cc	2.099	2.162	2.132	2.112

Fuente: Propia

La densidad máxima obtenida es de 2.162 (gr/cm³) el cual se encuentra a una humedad óptima del 6%. Este dato se tomó en cuenta al realizar el experimento. Asimismo, en la figura 15 se observa la curva donde se ubica el contenido de humedad óptimo.

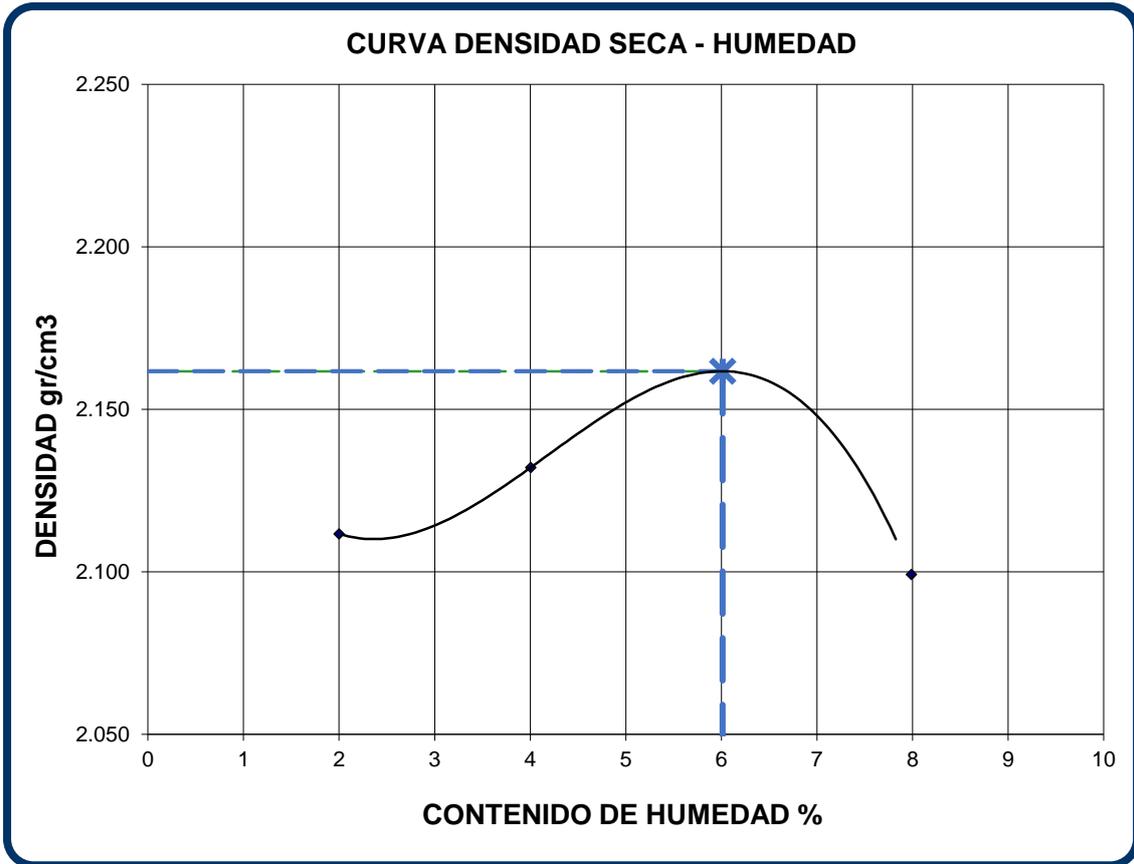


Figura 15: Curva del óptimo contenido de humedad.

Fuente: Propia

3.5.2. Experimental

El trabajo experimental se realizó en diferentes etapas, las cuales se detalla a continuación:

PRIMERA ETAPA: TAMIZADO Y CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL

La investigación buscó la penetración de la emulsión asfáltica en la base granular, esta se encontró en diferentes situaciones como es la variación en % de agregados finos (pasante la malla #16 y luego pasante la malla # 200).

Por facilidad en el trabajo se optó por trabajar con el material pasante de la malla #16, este material se clasificó como agregado fino y el material retenido en la malla #16 se clasificó como agregado grueso (ver figura 16).

GRUESO
(retenido en
el tamiz
#16)

Cada 5% del material pasante la malla #16 tiene 1% de material pasante la malla #200.

FINO
(pasante el
tamiz #16)

Figura 16: Clasificación del material granular según el tamiz utilizado.

Fuente: Propia

En la figura 17 se observa el tamizado del material granular en las bandejas respectivas con el uso del tamiz # 16.



Figura 17: Tamizado de material con la malla #16.

Fuente: Propia

SEGUNDA ETAPA: CONSTRUCCIÓN DE MOLDES

Para el caso de la emulsión, se trabajó a diferentes temperaturas variando desde una temperatura con 20°C, 25°C, 30°C, 35°C, 40°C, 50°C hasta los 60°C. Se fabricaron moldes rectangulares de 0.20m x 0.20m x 1" de altura, se realizaron un total de 56 moldes como se observa en la figura 18. El empleo del molde con esas dimensiones

es debido a que solo se busca la penetración de la emulsión asfáltica de 5mm a 7.5 mm como mínimo y es por ello que se consideró suficiente la altura de 1”.



Figura 18: Moldes de trabajo (20cmx20cmx1pulg)

Fuente: Propia

TERCERA ETAPA: PROPORCIONES DE MATERIAL SEGÚN % DE VARIACION DE AGREGADOS FINOS

A partir de las dimensiones del molde de 0.20m x 0.20m x 1pulg (0.0254m) y con el óptimo contenido de humedad para llegar a la densidad máxima de 2.1 gr/cm³ se obtuvo un peso compactado de 2133.6 gramos. Luego para tener un peso suelto para llenar todo el volumen del molde se tuvo en cuenta un factor de esponjamiento de 1.30 con lo cual se obtuvo 2773.68 gramos, y por comodidad y seguridad del trabajo se realizó con 2800 gramos.

Separado los materiales a partir del tamiz #16 se empezó a sacar las proporciones necesarias de agregado fino y agregado grueso teniendo en cuenta la variación planteada en el tema de investigación (ver tabla 9 y 10).

Tabla 11: Proporción de fino y grueso para 1 molde

AGREGADOS	5%	10%	20%	25%	30%	35%	40%	45%
FINO (gr)	140	280	560	700	840	980	1120	1260
GRUESO (gr)	2660	2520	2240	2100	1960	1820	1680	1540

Fuente: Propia.

Tabla 12: Proporción fino y grueso para el total de moldes para cada porcentaje de fino.

AGREGADOS	5%	10%	20%	25%	30%	35%	40%	45%
FINO (gr)	980	1960	3920	4900	5880	6860	7840	8820
GRUESO (gr)	18620	17640	15680	14700	13720	12740	11760	10780

Fuente: Propia.

En la figura 17 se muestra la respectiva mezcla de los agregados fino y grueso del material según las proporciones requeridas.



Figura 19: Peso del agregado fino y grueso.

Fuente: Propia

CUARTA ETAPA: COMPACTACIÓN Y SECADO DE LOS MOLDES

Para la compactación se agregó el porcentaje de agua que nos indicó el ensayo de Proctor Modificado que vino a ser el 6% del peso total. Teniendo la mezcla de agregado fino, agregado grueso y agua se procedió a colocar el material en cada molde para luego compactarlo (ver figura 20).



Figura 20: Compactado del material a 5% de finos.

Fuente: Propia.

Para el caso de la compactación se empleó una barra de acero de un peso de 10kg, que nos dio la facilidad de compactar en el molde y se tuvo en cuenta la energía de compactación requerida por el martillo de compactador según la Norma del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. El manual de ensayos de materiales en la sección MTC -E -115 detalla una energía de compactación requerida de 2700 KN.m/m^3 .

Para llegar al 100% de la compactación en los moldes se trató de asemejar la cantidad de golpes y la altura de caída del martillo compactador del ensayo de Proctor Modificado con la cantidad de golpes realizados a cada uno de los moldes rectangulares y la respectiva caída desde una altura determinada según la ecuación de la Energía de Compactación. Se detallan las características que se realizaron para llegar a la energía de compactación requerida por el ensayo de Proctor Modificado para un molde en común:

- Peso del molde (W) = 10 Kg \rightarrow 0.098067 KN
- Numero de capas (N) = 1 capa
- Numero de golpes (n) = 94 golpes
- Altura de caída del molde (H) = 0.30 m

- Volumen del suelo compactado (V_c) = 0.001016 m³

$$E_c = \frac{N * n * W * H}{V_c} = \frac{1 * 94 * 0.098067 * 0.30}{0.001016} = 2721.94 \text{ KN} * \text{m/m}^3$$

Se demuestra en el resultado que la energía ejercida en los moldes cumplió la compactación requerida por las especificaciones técnicas del MTC.



Figura 21: 56 moldes según variaciones de agregados finos.

Fuente: Propia.

Obtenidos los moldes compactados (ver figura 22), se procedió a dejar secarlos para poder colocar la emulsión asfáltica.



Figura 22: Moldes compactados y secados.

Fuente. Propia.

QUINTA ETAPA: COLOCACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA A DIFERENTES TEMPERATURAS

La emulsión asfáltica que se empleó fue la Emulsión Catiónica de Rompimiento Lento cuya dosificación fue de 2.14 lt/m², con esta dosificación se procedió con el ensayo de imprimación. Luego de secados los moldes se tomó la temperatura de la emulsión asfáltica tal como se encontraba en el cilindro, obtenido como resultado una temperatura de 20.6°C como se observa en la figura 23. Se adicionó la emulsión asfáltica a los moldes ya secados buscando la igualdad de proporción para cada molde ver figura 24.



Figura 23: Medición de la temperatura de la emulsión asfáltica.

Fuente: Propia.



Figura 24: Imprimación asfáltica.

Fuente: Propia.

Para los siguientes moldes se calentó la emulsión asfáltica a las temperaturas de 25°C, 30°C, 35°C, 40°C, 50°C y 60°C. En la figura 25 se observa ya culminado los 56 moldes de acuerdo a % de agregados finos y variación de la temperatura de la emulsión asfáltica.



Figura 25: Culminación del proceso de imprimado asfáltico.

Fuente: Propia.

3.5.3. Toma de datos

SEXTA ETAPA: MEDICIÓN DE LA PENETRACIÓN DE LA IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA

Después de 3 días de realizado la imprimación se realizó la toma de datos mediante el apoyo de un vernier para observar la penetración de la emulsión asfáltica en la base granular, lo mencionado se puede observar en la figura 26.



Figura 26: Medición de la altura de penetración del imprimado asfáltico.

Fuente: Propia.

En la figura 27 se puede observar la altura de 8.5 mm de penetración. En total se realizaron 1322 lecturas de la penetración del imprimado asfáltico. Se abarcó en la mayor cantidad de puntos en el molde para que los datos obtenidos sean mayormente representativos.



Figura 27: Penetración al 10% de finos con 50°C de temperatura.

Fuente: Propia.

En la figura 28 y figura 29 se muestran las penetraciones del imprimado realizado al 30% y 35 % de agregados finos con 50°C y 60°C de temperatura de la emulsión asfáltica respectivamente.



Figura 28: Penetración al 35% de finos con 60°C de temperatura.

Fuente: Propia.



Figura 29: Penetración al 30% de finos con 50 °C de temperatura.

Fuente: Propia.

CAPITULO VI.

CAPITULO VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Penetraciones al 5% de agregados finos en la base granular

En la tabla 13 de la página siguiente se observan los resultados de las penetraciones de la imprimación asfáltica al 5% de agregados finos pasante la malla #16, que viene a ser 1% pasante la malla #200.

Tabla 13: Penetraciones de la emulsión asfáltica al 5% de finos en la base granular.

PENETRACIÓN (mm) PARA EL 5% DE FINOS							
ITEM	60°C	50°C	40°C	35°C	30°C	25°C	20°C
1	13.00	8.00	6.00	7.80	7.50	7.00	4.62
2	14.00	9.00	8.72	7.84	8.00	7.80	5.88
3	14.00	9.00	9.00	8.00	8.40	8.60	6.00
4	14.00	10.00	9.10	8.64	8.50	8.80	6.40
5	15.00	10.10	9.80	8.80	8.60	8.80	6.40
6	15.50	11.00	10.50	9.00	8.60	8.90	6.80
7	16.00	11.50	11.00	9.64	8.90	9.50	6.82
8	16.00	12.00	11.80	9.86	9.10	9.80	7.00
9	16.40	12.00	12.60	10.00	9.18	9.80	7.46
10	17.60	13.00	12.86	10.40	9.54	11.00	7.50
11	17.80	15.00	12.88	10.50	9.64	11.00	7.66
12	18.00	15.00	13.00	10.60	9.80	11.20	7.84
13	18.00	16.00	13.90	11.00	10.20	11.20	8.00
14	18.00	16.00	14.00	11.00	10.48	11.60	8.00
15	18.60	16.40	14.50	11.50	10.54	12.00	8.00
16	19.00	16.84	14.60	11.90	10.60	12.00	8.22
17	19.00	18.00	14.80	12.00	11.00	12.00	8.40
18	19.22	18.60	15.00	12.00	11.50	12.20	8.40
19	19.40	19.80	16.00	12.40	12.00	12.40	8.64
20	20.00	20.00	16.54	13.00	12.20	12.50	9.60
21	20.00	20.00	16.80	14.60	12.40	13.00	9.80
22	20.00	20.90	17.00	15.70	12.72	13.40	9.80
23	20.20	21.00	17.90	16.00	13.13	14.00	10.00
24	22.80	23.00	18.22	16.00	13.96	14.40	10.20
25	23.00	23.78	18.56	16.60	14.00	14.57	10.54
26	24.00	23.90	18.74	17.00	14.60	14.58	10.80
27	25.40		19.80	18.00	15.00	15.00	11.00
28	25.60		20.00	18.00		16.00	12.60

Fuente: Propia

En la tabla 14 se observan los parámetros estadísticos obtenidos a partir de medidas de las penetraciones. Se analizó para cada temperatura de aplicación donde se obtuvieron los parámetros estadísticos como la media, mediana, varianza, desviación estándar, etc.

Tabla 14: Datos estadísticos para el 5% de finos en la base granular.

PARÁMETROS		TEMPERATURA						
		60°C	50°C	40°C	35°C	30°C	25°C	20°C
Media		18.470	15.760	14.200	12.280	10.750	11.570	8.340
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	17.060	13.790	12.670	10.990	9.870	10.600	7.580
	Límite superior	19.880	17.740	15.730	13.580	11.640	12.550	9.110
Mediana		18.000	16.000	14.550	11.700	10.370	11.800	8.110
Varianza		12.260	23.940	14.310	10.300	4.830	5.820	3.580
Desviación estándar		3.500	4.890	3.780	3.210	2.200	2.410	1.890
Mínimo		13.000	8,00	6,00	7,80	7,50	7,00	4.620
Máximo		25.600	23,90	20,00	18,00	15,00	16,00	12.600
Error Estándar		0.687	0.960	0.742	0.629	0.431	0.473	0.371

Fuente: Propia.

Se analizó los datos obtenidos observando si siguen una tendencia hacia una distribución normal para cada tipo de temperatura; se utilizó el programa estadístico SPSS. (ver tabla 15)

Tabla 15: Prueba de normalidad para el 5% de agregados finos.

Pruebas de normalidad						
TEMPERATURA	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
60°C	,139	26	,200*	,949	26	,214
50°C	,125	26	,200*	,950	26	,233
40°C	,092	26	,200*	,965	26	,490
35°C	,151	26	,130	,926	26	,062
30°C	,129	26	,200*	,941	26	,139
25°C	0,098	26	,200*	,972	26	,688
20°C	0,103	26	,200*	,982	26	,907

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

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Propia.

Para el caso de 5% de agregados finos se analizó con la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk, debido a que se obtuvieron cantidades menores a los 50 datos para cada tipo de temperatura. En la tabla 15 se observa que el nivel de significancia (sig) es mayor a .05 en todos los casos, con lo cual se puede indicar que existió una distribución normal de datos para todas las temperaturas de aplicación.

En la figura 30 se observa la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el valor del nivel de significancia es $0.907 > 0.050$, donde se deduce que existe una distribución normal para la temperatura de 20°C de la emulsión asfáltica.

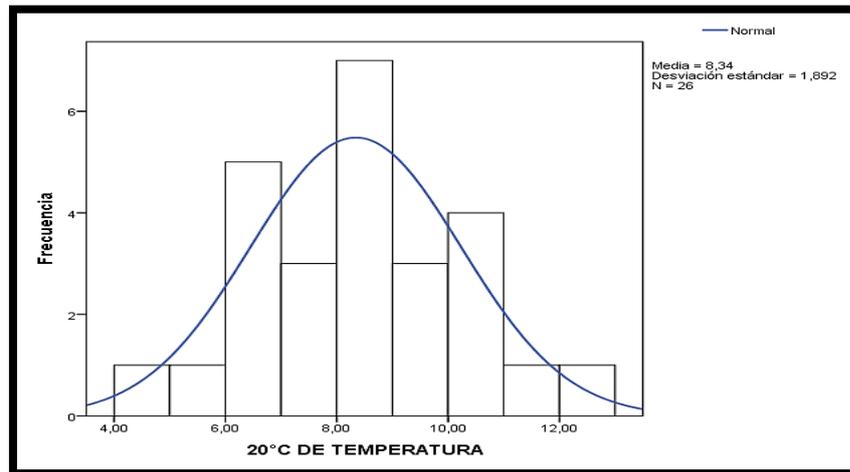


Figura 30: Distribución normal para la temperatura de 20°C con 5% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 31 se observa la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el valor del nivel de significancia es $0.688 > 0.050$, donde se deduce que existe una distribución normal para la temperatura de 25°C de la emulsión asfáltica.

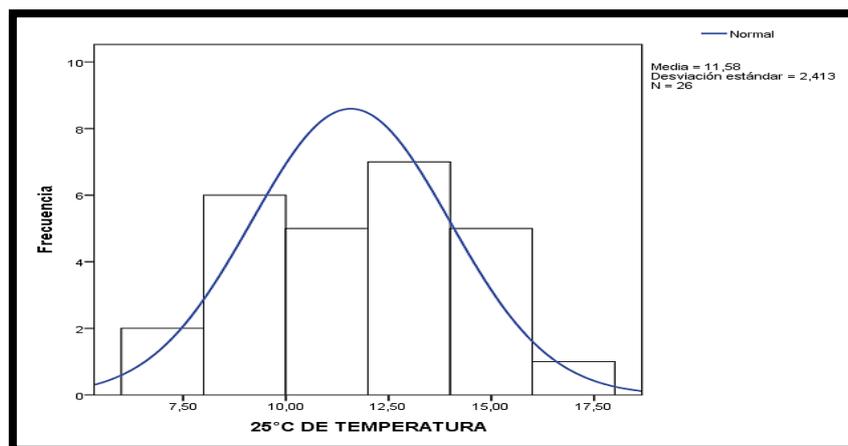


Figura 31: Distribución normal para la temperatura de 25°C al 5% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 32 se observa la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el valor del nivel de significancia (sig.) es $0.139 > 0.050$, donde se deduce que existe una distribución normal para la temperatura de 30°C de la emulsión asfáltica.

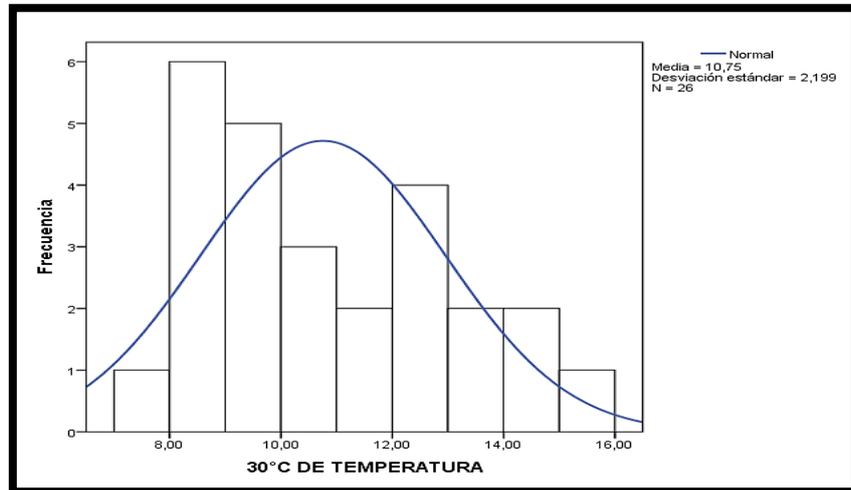


Figura 32: Distribución normal para la temperatura de 30°C al 5% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 33 se observa la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el valor del nivel de significancia es $0.062 > 0.050$, donde se deduce que existe una distribución normal para la temperatura de 35°C de la emulsión asfáltica.

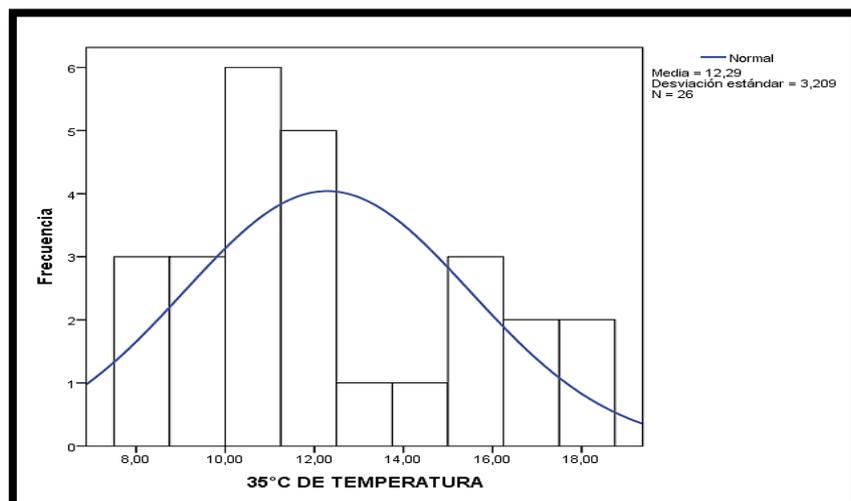


Figura 33: Distribución normal para la temperatura de 35°C al 5% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 34 se observa la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el valor del nivel de significancia es $0.490 > 0.050$, donde se deduce que existe una distribución normal para la temperatura de 40°C de la emulsión asfáltica.

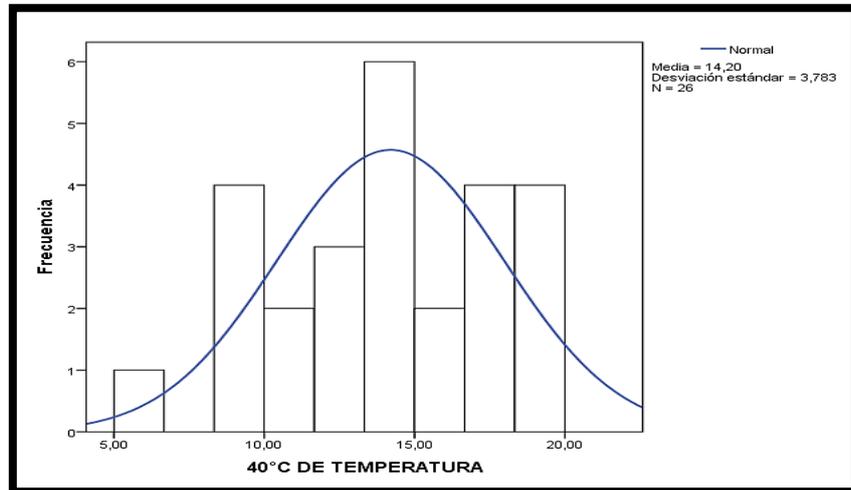


Figura 34: Distribución normal para la temperatura de 40°C al 5% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 35 se observa la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el nivel de significancia es $0.233 > 0.050$, donde se deduce que existe una distribución normal para la temperatura de 50°C de la emulsión asfáltica.

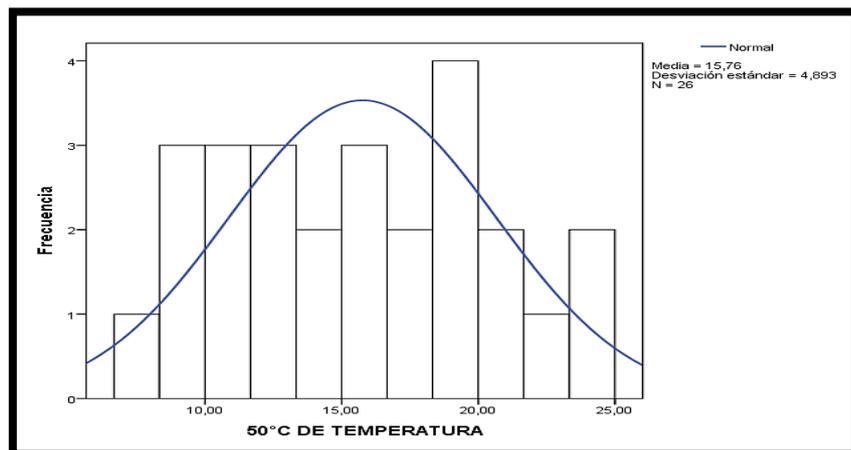


Figura 35: Distribución normal para la temperatura de 50°C al 5% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 36 se observa la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el nivel de significancia es $0.214 > 0.050$, donde se deduce que existe una distribución normal para el caso de 60°C de la emulsión asfáltica.

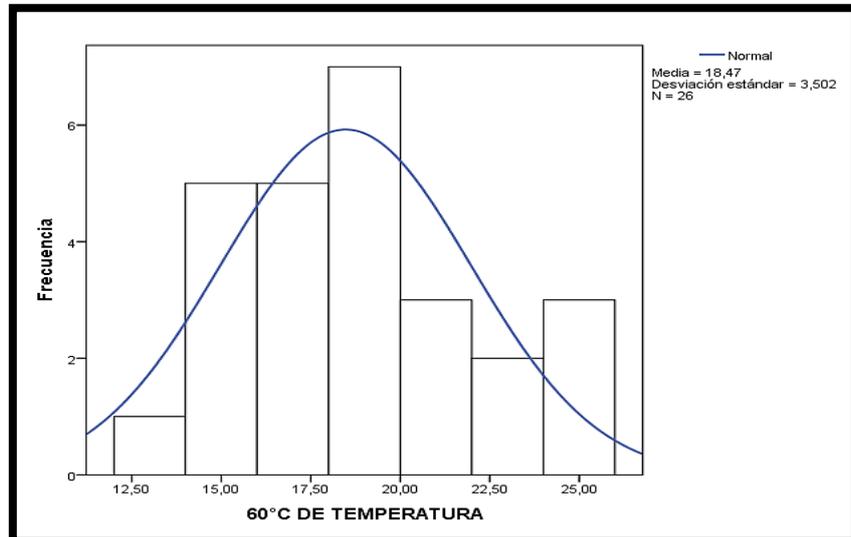


Figura 36: Distribución normal para la temperatura de 60°C al 5 % de finos.

Fuente: Propia.

Determinando la distribución normal de los datos, esto nos indicó si los datos fueron paramétricos o no paramétricos y con ello poder analizar la correlación entre las variables como son la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica y la profundidad de penetración de la emulsión. Para este caso se empleará el coeficiente de correlación de Pearson por ser un grupo de datos paramétricos.

Luego planteamos las siguientes hipótesis para el 5% de finos en la base granular:

Ho: $r = 0$ (No existe correlación entre la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica y la profundidad de penetración de la imprimación)

Hi: $r \neq 0$ (Existe correlación entre la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica y la profundidad de penetración de la imprimación)

Nivel de significancia: 0.05

Tabla 16: Correlación de Pearson para el 5% de finos en la base granular.

NIVEL DE CORRELACIÓN		TEMPERATURA	PENETRACION
TEMPERATURA	Correlación de Pearson	1	-,685**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	197	197
PENETRACION	Correlación de Pearson	-,685**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	197	197

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Propia.

En la tabla 16 se observa el análisis del coeficiente de correlación de Pearson, donde el nivel de significancia es 0.000 cuyo valor es menor al 0.05 ya establecido, entonces se concluye que se acepta la hipótesis alterna donde indica que existe la respectiva correlación entre las variables como son temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica y la profundidad de penetración. Además, $r = -0.685$ que indica que existe correlación alta pero inversamente lineal.

En la figura 37 se muestra la curva de penetración para el 5% de finos en la base granular. Se tomó en cuenta el R^2 que genera la línea tendencia, el mayor fue el elegido, en este caso el R^2 cúbico teniendo un valor de ajuste de 0.486.

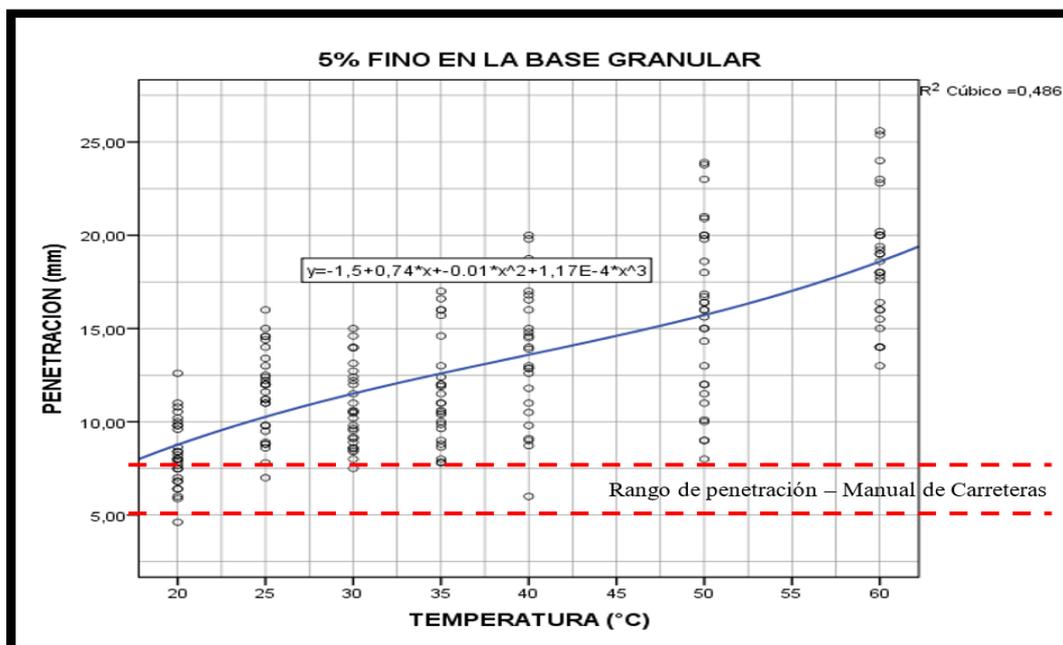


Figura 37: Penetración vs temperatura de la emulsión asfáltica para el 5% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 37 también se observa que la penetración de la emulsión asfáltica incrementa al tener mayor temperatura, donde para dicha relación se obtuvo la ecuación 1 donde se puede determinar la penetración a partir de la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica:

$$Y = -1.5 + 0.74X - 0.01X^2 + 1.17 * 10^{-4} * X^3 \dots\dots\dots (1)$$

En la figura 38 se observa que la imprimación asfáltica superó el rango de penetración que indica el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el cual viene a ser de 5mm a 7.5mm. En este caso la penetración será aceptable desde los 20°C hasta los 60°C para el caso del 5% de agregados finos pasante la malla #16.



Figura 38: Penetración al 5% de finos con 35°C de la emulsión asfáltica.

Fuente: Propia.

4.1.2. Penetraciones al 10% de agregados finos en la base granular

En la tabla 17 se observan los resultados de las penetraciones de la imprimación asfáltica al 10% de agregados finos pasante la malla #16, que viene a ser 2% de finos pasante la malla #200.

Tabla 17: Penetración de la emulsión asfáltica al 10% de finos en base granular.

PENETRACIÓN (mm) PARA EL 10% DE FINOS							
ITEM	60°C	50°C	40°C	35°C	30°C	25°C	20°C
1	8.90	7.80	6.00	5.84	5.40	4.00	2.00
2	10.80	8.00	8.07	6.40	5.64	4.02	2.40
3	11.00	8.40	8.22	6.76	6.24	4.20	2.44
4	11.20	8.86	8.40	6.84	6.24	4.24	2.50
5	11.80	8.90	8.40	7.00	6.38	4.26	2.57
6	11.88	9.40	8.47	7.40	6.42	4.64	2.64
7	12.00	9.60	8.60	7.70	6.42	4.76	2.64
8	12.20	9.80	8.72	7.80	6.46	4.84	2.65
9	12.34	9.84	8.74	7.80	6.54	5.04	2.77
10	12.62	9.86	8.80	7.84	6.64	5.20	2.84
11	12.90	10.00	9.00	7.86	6.80	5.24	3.00
12	13.00	10.00	9.10	8.00	6.80	5.24	3.00
13	13.80	10.46	9.24	8.00	6.97	5.64	3.04
14	13.88	10.60	9.25	8.00	7.08	5.64	3.20
15	14.00	10.62	9.35	8.00	7.10	5.84	3.22
16	14.20	11.00	9.36	8.40	7.15	5.84	3.24
17	14.32	11.00	9.80	8.42	7.20	5.86	3.28
18	14.40	11.00	10.00	8.50	7.22	6.00	3.47
19	14.60	11.22	10.29	8.64	7.28	6.03	3.57
20	14.72	11.40	10.37	9.00	7.42	6.08	3.64
21	14.80	11.80	10.50	9.08	7.43	6.08	3.88
22	14.80	12.00	10.59	9.12	7.57	6.18	3.94
23	14.98	12.00	11.00	9.50	7.64	6.24	4.02
24	15.00	12.00	11.40	9.90	7.96	6.54	4.24
25	15.00	13.00	11.90	10.60	7.98	6.76	4.26
26	15.17	14.00	12.00	10.70	8.04	6.80	4.58
27	15.18	14.00	12.40	11.00	8.21	6.94	4.62
28	15.20	14.00	12.86	11.60	8.40	7.18	5.24
29	15.36	14.00	12.88	13.00	8.60	7.20	5.64
30	15.62	14.22	13.00	14.00		7.22	5.64
31	15.70	14.74	14.00			7.24	5.84
32	16.40	15.00	14.50			7.64	
33	16.70	15.00	14.60				
34	17.16	15.80	16.54				
35	17.40	16.50	16.80				

En la tabla 18 se observan los parámetros estadísticos obtenidos a partir de las mediciones a las penetraciones de la imprimación asfáltica. Como se observa en la tabla 18 se analizó para cada temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica, donde se obtuvo los parámetros estadísticos como la media, mediana, varianza, desviación estándar, etc.

Tabla 18: Datos estadísticos para el 10% de finos de la base granular.

PARÁMETROS		TEMPERATURA						
		60°C	50°C	40°C	35°C	30°C	25°C	20°C
Media		13.97	11.60	10.66	8.56	7.08	5.77	3.55
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	13.30	10.79	9.80	8.02	6.78	5.39	3.17
	Límite superior	14.64	12.40	11.52	9.11	7.38	6.15	3.93
Mediana		14.40	11.00	10.00	8.20	7.10	5.85	3.24
Varianza		3.77	5.51	6.31	2.15	0.62	1.11	1.08
Desviación estándar		1.94	2.35	2.51	1.47	0.79	1.05	1.04
Mínimo		8.90	7.80	6.00	5.84	5.40	4.00	2.00
Máximo		17.40	16.50	16.80	11.60	8.60	7.64	5.84
Error Estándar		0.33	0.40	0.42	0.27	0.15	0.19	0.19

Fuente: Propia.

Se analizó los datos obtenidos con la prueba de la distribución normal para cada temperatura de aplicación. Se utilizó el programa estadístico SPSS. (ver tabla 19).

Tabla 19: Prueba de normalidad para el 10% de finos de la base granular.

Pruebas de Normalidad						
TEMPERATURA	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
60°C	,142	29	,140	,966	29	,461
50°C	,151	29	,088	,958	29	,301
40°C	,166	29	,040	,934	29	,072
35°C	,177	29	,020	,907	29	,015
30°C	,076	29	,200 [*]	,984	29	,920
25°C	,126	29	,200 [*]	,945	29	,139
20°C	,182	29	,015	,907	29	,015

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

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Propia.

Para este caso se analizó con la prueba de normalidad de Shapiro - Wilk debido a que se emplea esta prueba cuando se tiene una cantidad menor a los 50 datos y para cada temperatura de aplicación cumplió con la condición anterior. En la tabla 18 se observa que el nivel de significancia (sig.) para los casos de 25°C, 30°C, 40°C, 50°C y 60°C son mayores al 0.05, el cual indica que existe una distribución normal para dichos casos y para las otras temperaturas de 20°C y 35°C los niveles de significancia son menores que 0.05, en el que se deduce que no existe una distribución normal de datos. Como en este caso del 10% de finos en la base granular la mayoría no cumple con la prueba de la distribución normal, se analizó la correlación con el coeficiente no paramétrico de Spearman.

En la figura 39 se muestra la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son asimétricos. Estadísticamente el nivel de significancia (sig.) es $0.015 < 0.050$, donde se deduce que no existe una distribución normal para el caso de 20°C de la emulsión asfáltica.

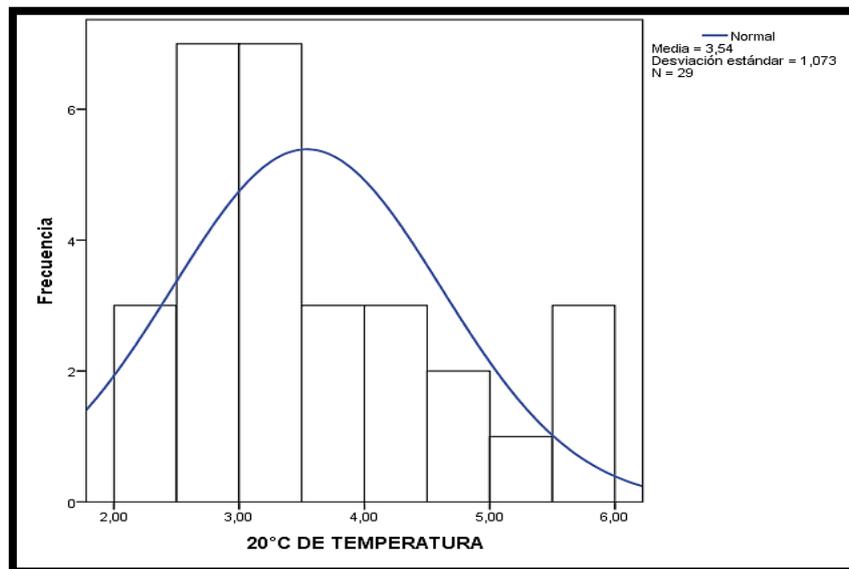


Figura 39: Distribución asimétrica para la temperatura de 20°C al 10% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 40 se muestra la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el valor del nivel de significancia (sig.) es $0.139 > 0.050$, donde se deduce que existe una distribución normal para el caso de 25°C de la emulsión asfáltica.

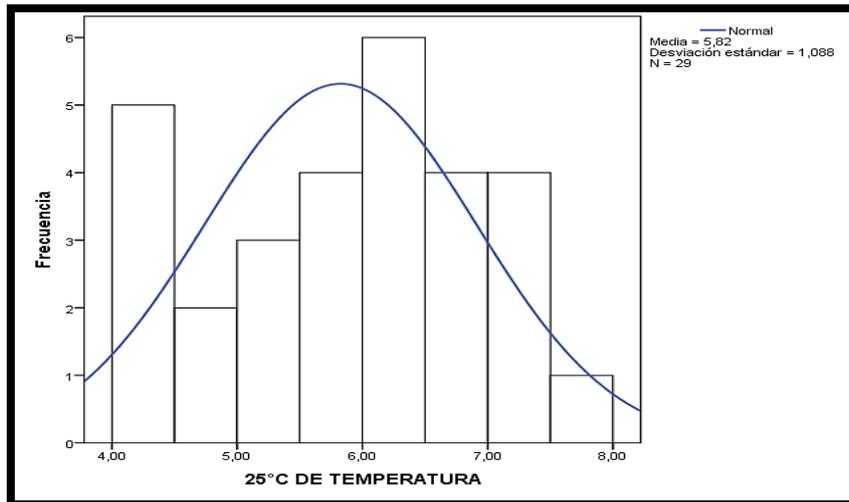


Figura 40: Distribución normal para la temperatura de 25°C al 10% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 41 se muestra la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el valor del nivel de significancia (sig.) es $0.920 > 0.050$, donde se deduce que existe una distribución normal para el caso de 30°C de la emulsión asfáltica.

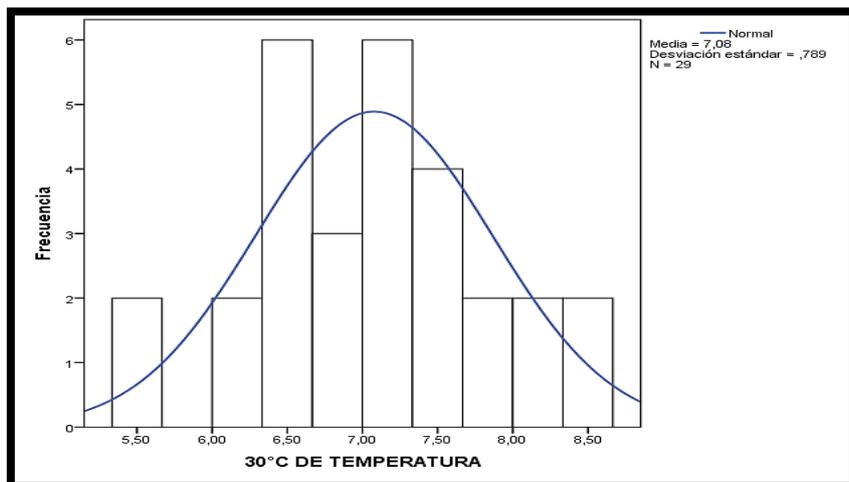


Figura 41: Distribución normal para la temperatura de 30°C al 10% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 42 se muestra la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son asimétricos. Estadísticamente el valor del nivel de significancia (sig.) es $0.015 < 0.050$, donde se deduce que no existe una distribución normal para el caso de 35°C de la emulsión asfáltica.

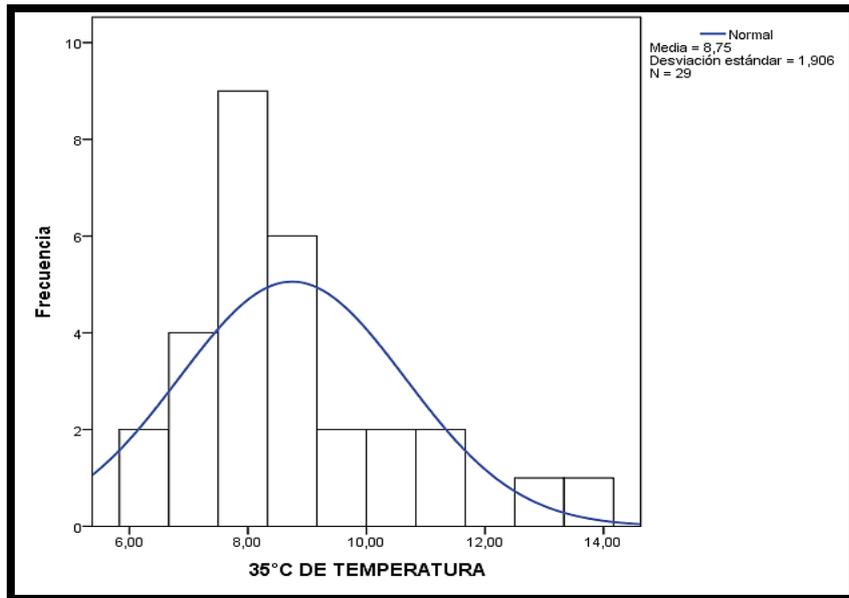


Figura 42: Distribución asimétrica para la temperatura de 35°C al 10% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 43 se observa la curva de normalidad, en el cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el valor del nivel de significancia (sig.) es $0.072 > 0.050$, donde se deduce que existe una distribución normal para el caso de 40°C de la emulsión asfáltica.

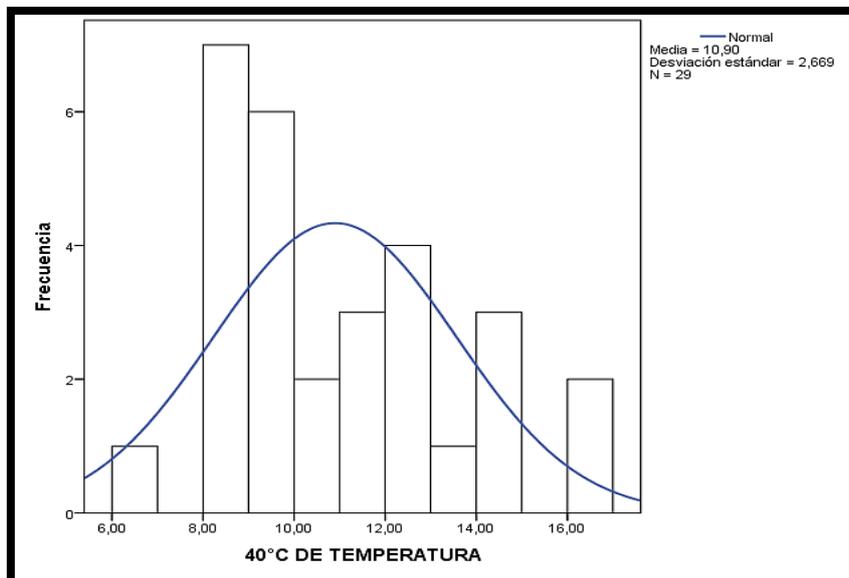


Figura 43: Distribución normal para la temperatura de 40°C al 10% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 44 se observa la curva de normalidad, en el cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el valor del nivel de significancia (sig.) es $0.301 > 0.050$, donde podemos mencionar que existe una distribución normal para el caso de 50°C de la emulsión asfáltica.

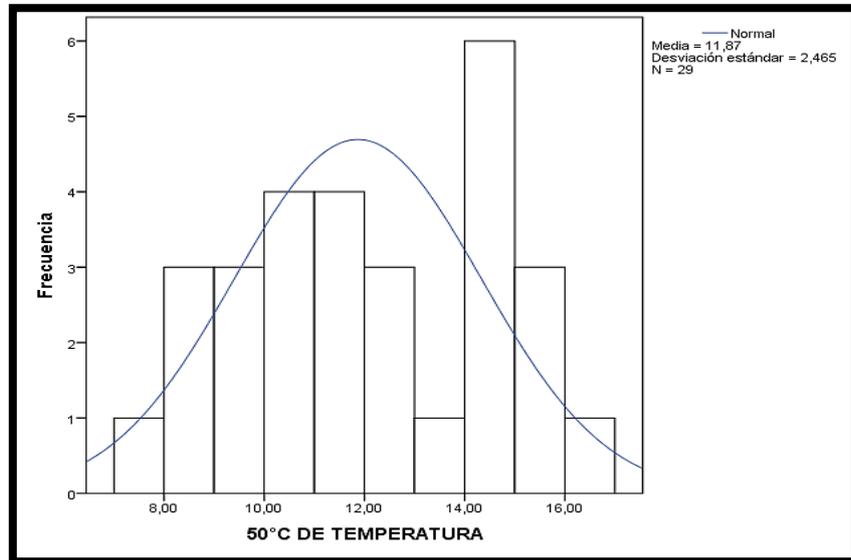


Figura 44: Distribución normal para la temperatura de 50°C al 10% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 45 se observa la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el valor del nivel de significancia (sig.) es $0.461 > 0.050$, donde se deduce que existe una distribución normal para el caso de 60°C de la emulsión asfáltica.

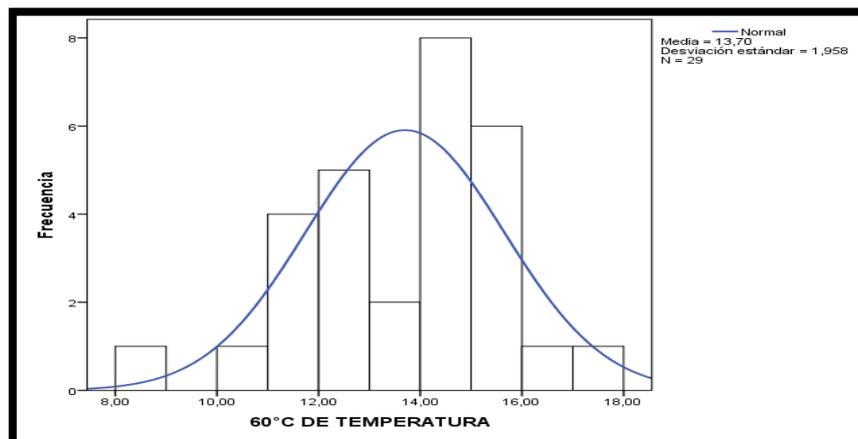


Figura 45: Distribución normal para la temperatura de 60°C al 10% de finos.

Fuente: Propia.

Realizando la determinación de la distribución normal de los datos podemos indicar si los datos son paramétricos o no paramétricos. Se analizó la correlación entre la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica y la profundidad de penetración de la imprimación, para ello se empleó el coeficiente de correlación de Spearman por ser un grupo de datos no paramétricos. Se plantean las hipótesis para el caso del 10% de finos en la base granular:

Ho: $r = 0$ (No existe correlación entre la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica y la profundidad de penetración de la imprimación)

Hi: $r \neq 0$ (Existe correlación entre la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica y la profundidad de penetración de la imprimación)

Nivel de significancia: 0.05

Tabla 20: Correlación de Spearman para el 10% de finos en la base granular.

NIVEL DE CORRELACIÓN			TEMPERATURA	PENETRACION
Rho de Spearman	TEMPERATURA	Coeficiente de correlación	1,000	-,910**
		Sig. (bilateral)	.	,000
		N	227	227
	PENETRACION	Coeficiente de correlación	-,910**	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	.
		N	227	227

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Propia.

En la tabla 20 se muestra el análisis con el coeficiente de correlación de Spearman donde se observa que el valor del nivel de significancia es 0.000 el cual es menor al 0.05. Por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna donde menciona que existe correlación entre las variables en mención, además $\rho = -0.910$ en el cual podemos indicar que existe una correlación negativa muy fuerte.

La figura 46 se muestra la curva de penetración para el 10% de finos en la base granular en donde se tomó en cuenta el R^2 que genera la línea de tendencia. El mayor fue el elegido en este caso el R^2 cubico.

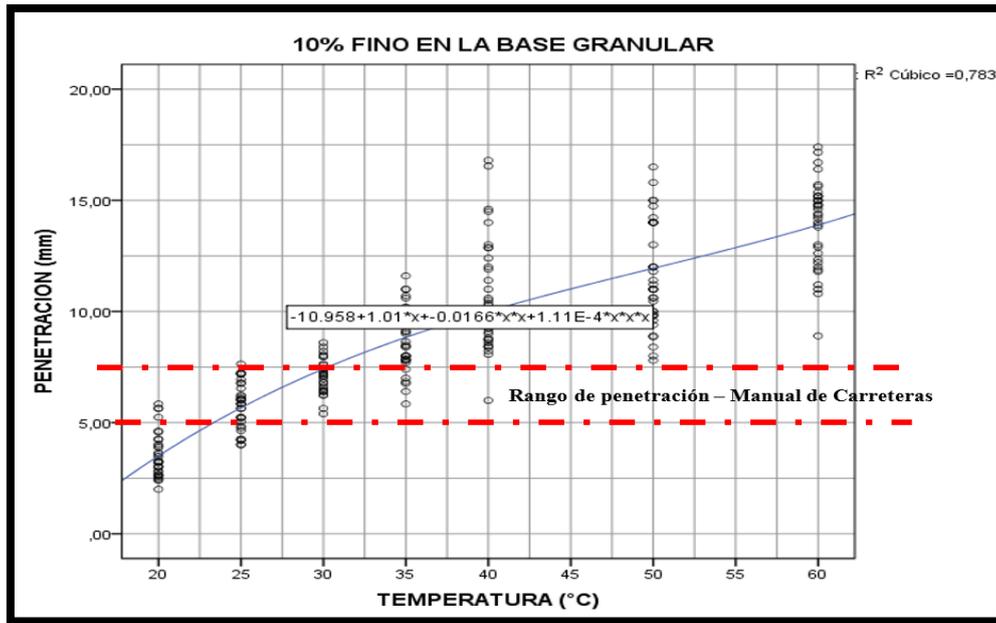


Figura 46: Penetración vs temperatura de la emulsión asfáltica para el 10% de finos.
Fuente: Propia.

En la figura 46 se observa que la penetración de la emulsión asfáltica se incrementa al tener mayor temperatura, donde para las relaciones se obtuvo la ecuación 2, con la cual se determina la penetración a partir de la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica.

$$Y = -10.958 + 1.01X - 0.0166X^2 + 1.11 * 10^{-4} * X^3 \dots\dots\dots (2)$$

En la figura 47 se puede apreciar que la imprimación asfáltica superó el rango de penetración que exige el manual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones el cual es 5mm a 7.5mm, en este caso la penetración será aceptable desde los 23.67°C hasta los 60°C.

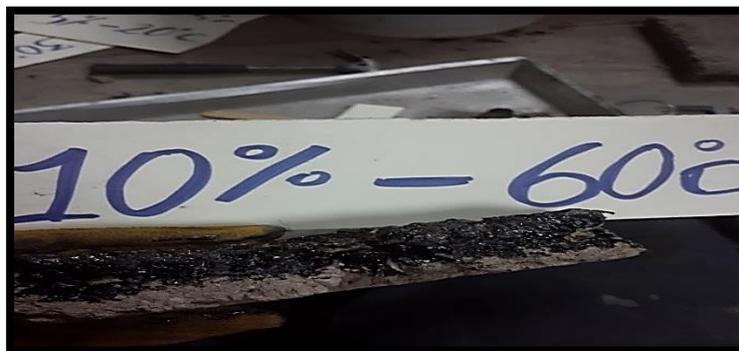


Figura 47: Penetración al 10% de finos con 60°C de temperatura.
Fuente: Propia.

4.1.3. Penetraciones al 20% de agregados finos en la base granular

En la tabla 21 se observan los datos de las penetraciones de la imprimación con emulsión asfáltica al 20% de agregados finos pasante la malla #16, que viene a ser 4% de finos pasante la malla # 200.

Tabla 21: Penetración de la emulsión asfáltica al 20% de finos en base granular.

PENETRACIÓN (mm) PARA EL 20% DE FINOS							
DATOS	60°C	50°C	40°C	35°C	30°C	25°C	20°C
1	5.80	5.48	6.01	4.87	3.81	1.01	NO EXISTE PENETRACIÓN
2	6.40	5.88	6.02	5.02	3.84	1.06	
3	6.42	5.98	6.07	5.06	3.85	1.08	
4	6.58	6.50	6.17	5.07	3.92	1.14	
5	7.00	6.54	6.24	5.22	3.96	1.18	
6	7.80	6.57	6.28	5.26	3.96	1.20	
7	7.80	6.84	6.34	5.26	3.98	1.21	
8	7.84	6.85	6.34	5.30	4.09	1.27	
9	8.04	6.87	6.35	5.37	4.10	1.33	
10	8.22	7.14	6.42	5.42	4.20	1.73	
11	8.26	7.24	6.54	5.44	4.21	1.80	
12	8.36	7.44	6.57	5.45	4.38	1.82	
13	8.40	7.70	6.58	5.47	4.43	1.97	
14	8.40	7.78	6.66	5.51	4.45	2.00	
15	8.40	8.02	6.72	5.55	4.51	2.02	
16	8.54	8.20	6.81	5.55	4.52	2.06	
17	8.64	8.24	6.81	5.59	4.56	2.17	
18	8.64	8.34	6.81	5.65	4.64	2.18	
19	9.40	8.50	6.98	5.74	4.71	2.24	
20	9.64	8.54	7.07	5.79	4.76	2.37	
21	9.82	8.54	7.11	5.86	4.79	2.38	
22	9.84	8.57	7.12	5.94	4.83	2.40	
23	10.05	8.60	7.12	5.96	4.91	2.59	
24	10.24	8.64	7.15	5.96	4.98	2.62	
25	10.54	8.70	7.22	6.08	4.99	2.63	
26	10.80	8.70	7.30	6.08	5.00	2.64	
27	11.00	8.88	7.31	6.15	5.01	2.72	
28	11.00	9.08	7.44	6.18	5.06	2.82	
29	11.68	9.20	7.49	6.22	5.16	3.12	
30	12.06	9.24	7.52	6.23	5.18	3.13	
31	12.08	9.26	7.54	6.24	5.26	3.22	
32	12.60	9.40	7.60	6.24	5.26	3.24	

Fuente: Propia.

En la tabla 22 se muestran los parámetros estadísticos obtenidos a partir de las medidas de las penetraciones realizadas. Se analizó para cada temperatura de aplicación, donde se obtuvo los parámetros estadísticos como la media, mediana, varianza, desviación estándar, etc.

Tabla 22: Datos estadísticos para el 20% de finos de la base granular.

PARÁMETROS		TEMPERATURA						NINGUNA
		60°C	50°C	40°C	35°C	30°C	25°C	
Media		9.07	7.86	6.80	5.65	4.54	2.07	
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	8.43	7.46	6.63	5.50	4.37	1.82	
	Límite superior	9.72	8.26	6.98	5.80	4.71	2.33	
Mediana		8.59	8.22	6.81	5.57	4.54	2.12	
Varianza		3.19	1.23	0.24	0.17	0.22	0.49	
Desviación estándar		1.79	1.11	0.49	0.41	0.47	0.70	
Mínimo		5.80	5.48	6.01	4.87	3.81	1.01	
Máximo		12.60	9.40	7.60	6.24	5.26	3.24	
Error Estándar		0.315	0.195	0.087	0.072	0.083	0.123	

Fuente: Propia.

Se analizó los datos obtenidos con la prueba de la normalidad para cada temperatura de aplicación. Se utilizó el programa estadístico SPSS. (ver tabla 23).

Tabla 23: Prueba de normalidad para el 20% de finos en la base granular.

Pruebas de Normalidad						
TEMPERATURA	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
60°C	,158	32	,041	,967	32	,424
50°C	,156	32	,045	,932	32	,046
40°C	,112	32	,200*	,948	32	,125
35°C	,106	32	,200*	,947	32	,116
30°C	,107	32	,200*	,934	32	,050
25°C	,137	32	,132	,938	32	,065

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

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Propia.

Para este caso se analizó con la prueba de normalidad de Shapiro - Wilk debido a que se emplea esta prueba cuando se tiene una cantidad menor a los 50 datos, y en este caso cada temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica cumple con la condición anterior. En la tabla 23 se observa que el nivel de significancia (sig.) para los casos de 25°C, 30°C, 35°C, 40°C, 60°C son mayores al 0.05, el cual nos indica que existe una distribución normal y para el caso de 50°C es menor que el 0.05, el cual nos indica que existe una distribución asimétrica de datos. Como en este caso todos no cumplen con la prueba de distribución normal se analizará la correlación con el coeficiente de no paramétrico de Spearman.

En la figura 48 se muestra la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el valor del nivel de significancia (sig.) es de 0.065 > 0.050. Por lo tanto, existe una distribución normal para el caso de 25°C de la emulsión asfáltica.

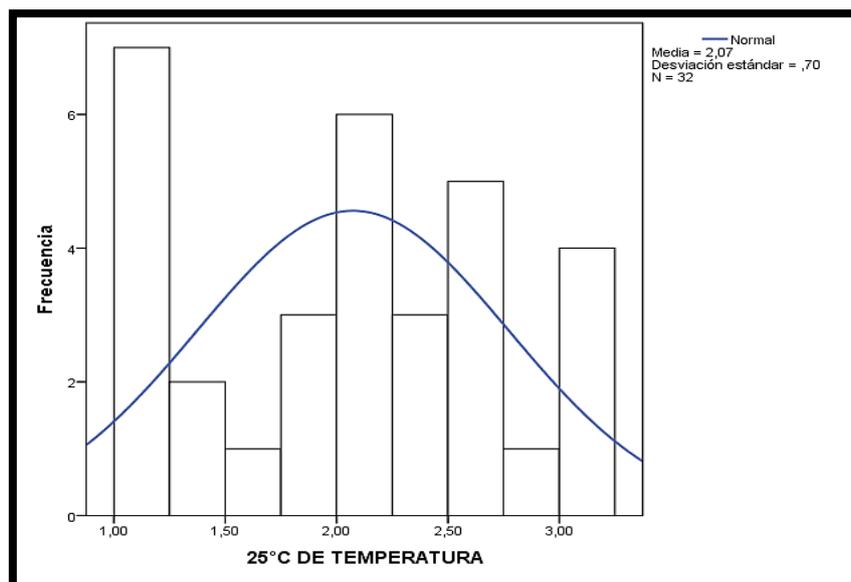


Figura 48: Distribución normal para la temperatura de 25°C al 20 % de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 49 se observa la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el valor del nivel de significancia (sig.) es de 0.050 \geq 0.050. Por lo tanto, existe una distribución normal para el caso de 30°C de la emulsión asfáltica.

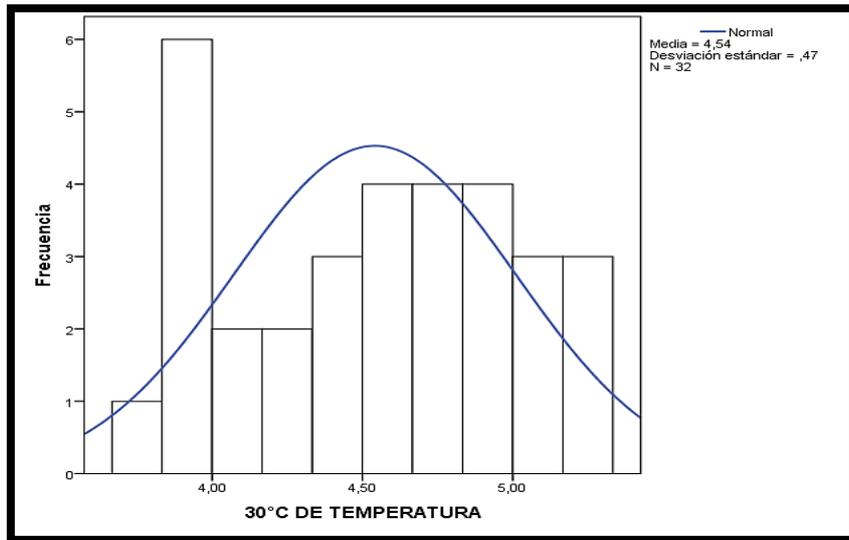


Figura 49: Distribución normal para la temperatura de 30°C para el 20% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 50 se muestra la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el valor del nivel de significancia (sig.) es de 0.116 > 0.050. Por lo tanto, existe una distribución normal para el caso de 35°C de la emulsión asfáltica.

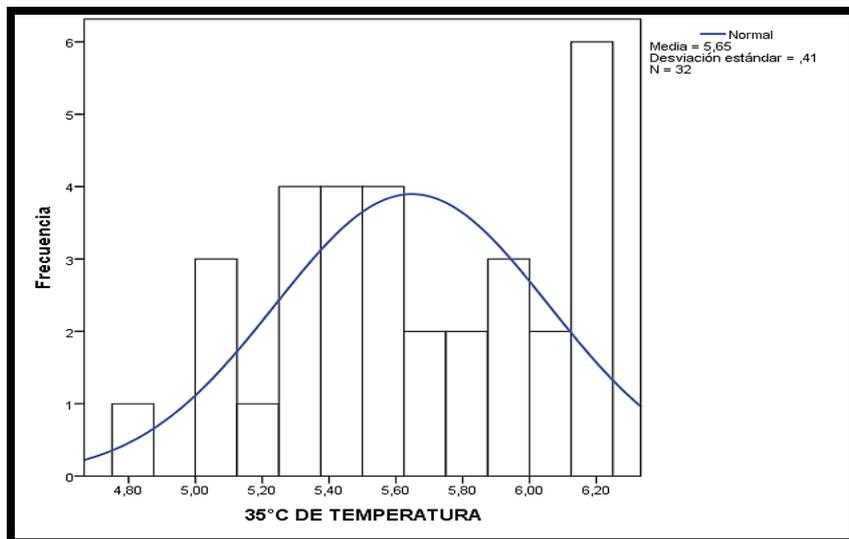


Figura 50: Distribución normal para la temperatura de 35°C al 20% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 51 se muestra la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el valor del nivel de significancia (sig.) es $0.125 > 0.050$. Por lo tanto, existe una distribución normal para el caso de 40°C de la emulsión asfáltica.

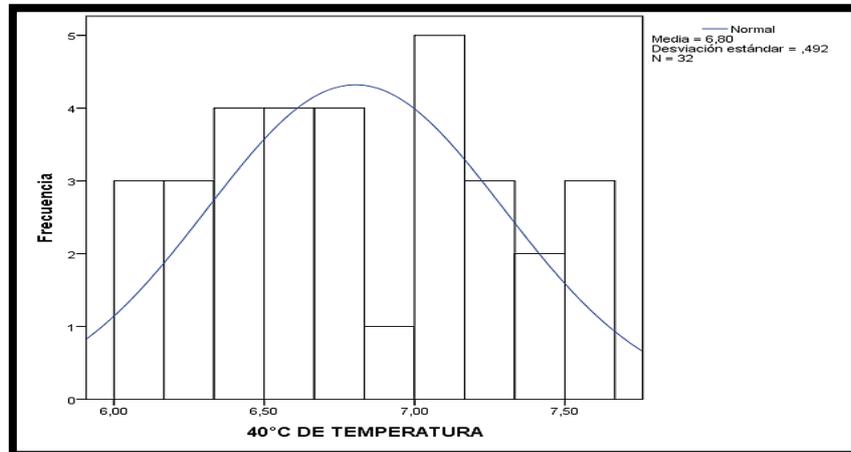


Figura 51: Distribución normal para la temperatura de 40°C al 20 % de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 52 se muestra la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son asimétricos. Estadísticamente el valor del nivel de significancia (sig.) es $0.046 < 0.050$. Por lo tanto, existe una distribución normal para el caso de 50°C de la emulsión asfáltica.

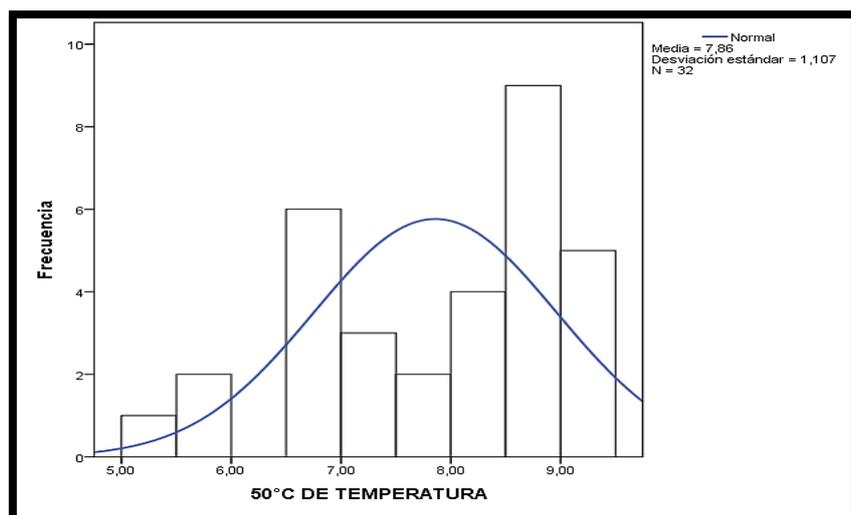


Figura 52: Distribución asimétrica para la temperatura de 50°C al 20% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 53 se muestra la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el valor del nivel de significancia (sig.) es $0.424 > 0.050$. Por lo tanto, existe una distribución normal para el caso de 60°C de la emulsión asfáltica.

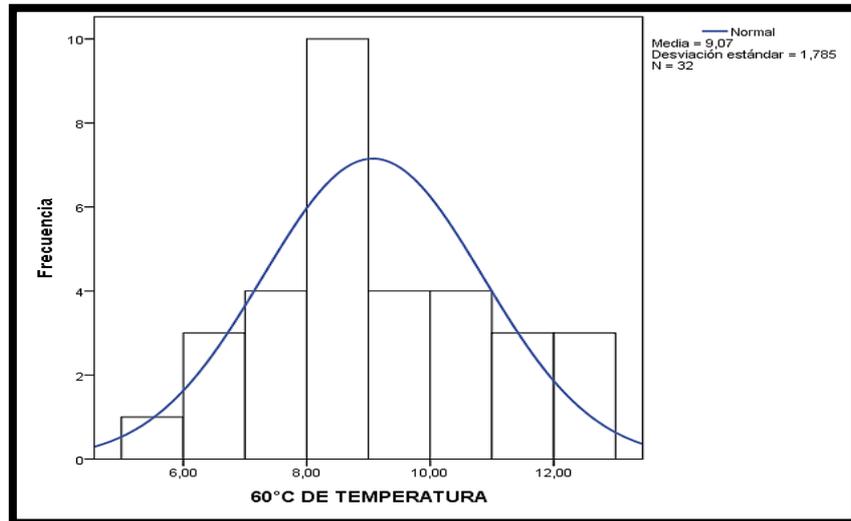


Figura 53: Distribución normal para la temperatura de 60°C al 20% de finos.

Fuente: Propia.

Realizando la determinación de la distribución normal de los datos, esto nos indica si los datos son paramétricos o no paramétricos. Se analizó la correlación entre las variables como son la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica y la profundidad de penetración de la imprimación. Se empleó el coeficiente de correlación de Spearman por tener un grupo de datos no paramétricos. Se plantean las siguientes hipótesis para el 20% de finos en la base granular:

H₀: $r = 0$ (No existe correlación entre la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica y la profundidad de penetración de la imprimación)

H_i: $r \neq 0$ (Existe correlación entre la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica y la profundidad de penetración de la imprimación)

Nivel de significancia: 0.05

Tabla 24: Correlación de Spearman para el 20% de finos en la base granular.

NIVEL DE CORRELACIÓN		TEMPERATURA	PENETRACION
Rho de Spearman	TEMPERATURA	Coefficiente de correlación	1,000
		Sig. (bilateral)	.000
		N	192
	PENETRACION	Coefficiente de correlación	-,934**
		Sig. (bilateral)	0,000
		N	192

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Propia.

En la tabla 24 se observa el análisis con el coeficiente de correlación de Spearman donde se muestra que el valor del nivel de significancia es 0.000 el cual es menor al 0.05 ya establecido. Por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna donde menciona que existe correlación entre las variables en mención. Además, rho = -0.934 el cual indica que existe una correlación negativa inversa muy fuerte.

En la figura 54 se detalla la curva de penetración para el caso del 20% de finos en la base granular, donde se tomó en cuenta el R² que genera la línea tendencia. El mayor fue el elegido en este caso R² cubico.

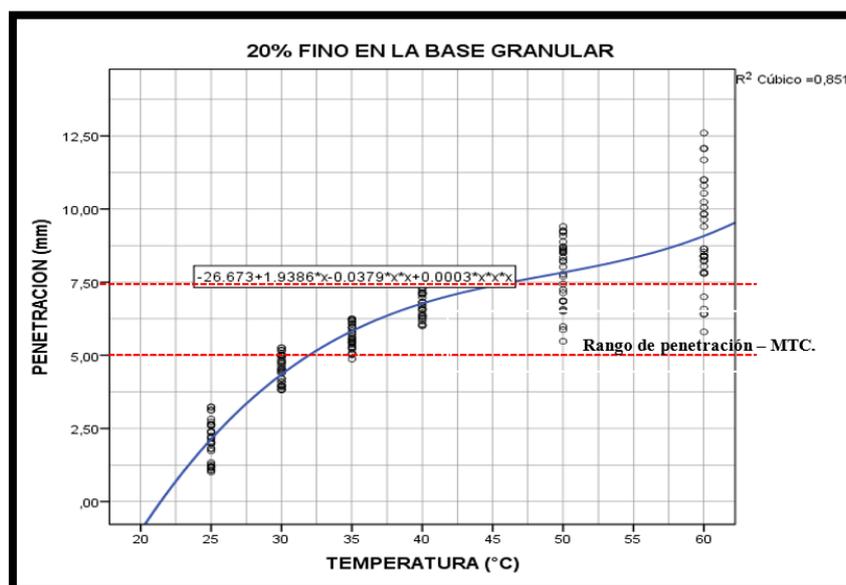


Figura 54: Penetración vs temperatura de la emulsión para el 20% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 54 se observa que la penetración de la emulsión asfáltica se incrementa al tener mayor temperatura, donde para dicha relación se obtuvo la ecuación 3 en donde se determina la penetración a partir de la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica.

$$Y = -26.673 + 1.9386X - 0.0379X^2 + 0.000259 * X^3 \dots\dots\dots (3)$$

En la figura 55 se observa la penetración para el 20% de agregados finos con 35°C de la emulsión asfáltica. Se aprecia que se superó el rango de penetración indicado por el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

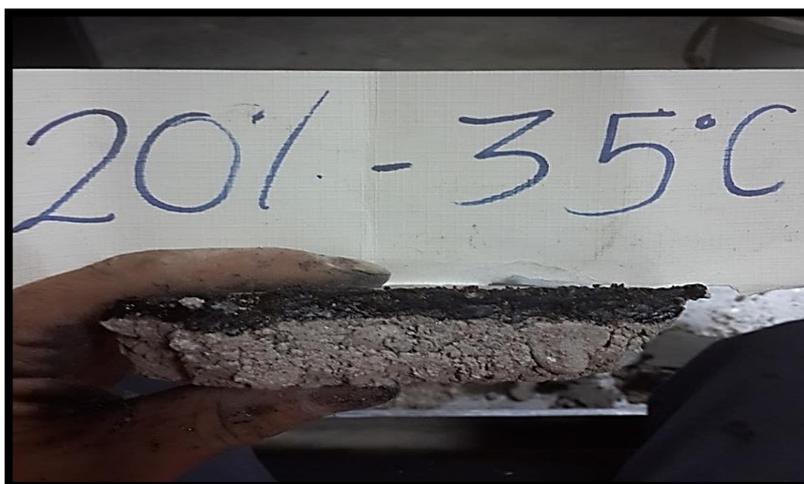


Figura 55: Penetración al 20% finos con 35°C de la emulsión asfáltica.

Fuente: Propia.

4.1.4. Penetraciones al 25% de agregados finos en la base granular

En la tabla 25 se muestran los resultados de las penetraciones realizadas para el caso de 25% de agregados finos pasante la malla # 16, que viene a ser el 5% de finos pasante la malla #200.

Tabla 25: Penetración de la emulsión asfáltica al 25% de finos en base granular.

PENETRACIÓN (mm) PARA EL 25% DE FINOS							
ITEM	60°C	50°C	40°C	35°C	30°C	25°C	20°C
1	7.81	7.60	6.22	4.00	2.60	1.00	NO EXISTE PENETRACIÓN
2	7.98	7.63	6.27	4.04	2.64	1.11	
3	8.19	7.72	6.31	4.07	3.00	1.11	
4	8.32	7.73	6.32	4.11	3.01	1.14	
5	8.37	7.82	6.36	4.22	3.09	1.31	
6	8.40	7.86	6.41	4.30	3.11	1.35	
7	8.54	7.88	6.41	4.32	3.26	1.36	
8	8.57	7.89	6.43	4.54	3.30	1.39	
9	8.74	7.97	6.49	4.63	3.35	1.40	
10	8.86	8.01	6.50	4.86	3.40	1.43	
11	8.99	8.14	6.55	4.92	3.50	1.45	
12	9.14	8.20	6.58	4.93	3.50	1.52	
13	9.24	8.21	6.60	4.93	3.57	1.57	
14	9.36	8.21	6.62	4.94	3.57	1.68	
15	9.37	8.22	6.64	4.98	3.59	1.79	
16	9.48	8.26	6.67	5.00	3.76	1.88	
17	9.49	8.39	6.68	5.06	3.77	1.93	
18	9.56	8.40	6.71	5.14	3.80	1.94	
19	9.63	8.40	6.73	5.22	3.84	2.00	
20	9.66	8.40	6.76	5.22	3.94	2.01	
21	9.67	8.48	6.77	5.25	3.98	2.02	
22	9.69	8.51	7.00	5.29	4.00	2.04	
23	9.70	8.55	7.04	5.40	4.05	2.24	
24	10.00	8.61	7.05	5.46	4.15	2.27	
25	10.11	8.80	7.05	5.47	4.20	2.33	
26	10.16	8.83	7.07	5.55	4.47	2.47	
27	10.30	8.91	7.12	5.55	4.50	2.56	
28	10.38	9.04	7.13	5.73	4.52	2.56	
29	10.40	9.07	7.20	5.76	4.57	2.56	
30	10.50	9.18	7.20	5.80	4.60	2.58	

Fuente: Propia.

En la tabla 26 se muestran los parámetros estadísticos obtenidos a partir de las penetraciones realizadas para cada temperatura de aplicación. Se obtuvo los datos estadísticos como la media, mediana, varianza, desviación estándar, entre otros.

Tabla 26: Datos estadísticos para el 25% de finos en la base granular.

PARÁMETROS		TEMPERATURA						
		60°C	50°C	40°C	35°C	30°C	25°C	20°C
Media		9.29	8.30	6.70	4.96	3.70	1.80	NINGUNO
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	9.00	8.13	6.58	4.75	3.48	1.62	
	Límite superior	9.57	8.46	6.81	5.16	3.90	1.99	
Mediana		9.43	8.24	6.66	4.99	3.68	1.84	
Varianza		0.59	0.20	0.09	0.30	0.31	0.25	
Desviación estándar		0.77	0.44	0.30	0.55	0.56	0.50	
Mínimo		7.81	7.60	6.22	4.00	2.60	1.00	
Máximo		10.50	9.18	7.20	5.80	4.60	2.58	
Error Estándar		0.14	0.081	0.055	0.099	0.101	0.09	

Fuente: Propia.

Se analizó los datos obtenidos con los tipos de prueba de normalidad para observar el tipo de distribución para cada temperatura, para ello se utilizó el programa estadístico SPSS. (ver tabla 27).

Tabla 27: Pruebas de normalidad para el 25% de finos en la base granular

Pruebas de Normalidad						
TEMPERATURA	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
60°C	,105	30	,200*	0,959	30	,299
50°C	,087	30	,200*	0,963	30	,372
40°C	,142	30	,129	0,932	30	,056
35°C	,140	30	,137	0,940	30	,089
30°C	,086	30	,200*	0,970	30	,537
25°C	,127	30	,200*	0,938	30	,079

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

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Propia.

Para este caso de agregados finos se analizó con la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk, debido a que se emplea esta prueba cuando se tiene una cantidad menor a los 50 datos. Cada temperatura de aplicación cumple con la condición anterior. En la tabla 27 se observa que los valores del nivel de significancia (sig.)

para todas las temperaturas de aplicación son mayores al 0.05, lo que nos indica que existe una distribución normal para todo el grupo de datos.

En la figura 56 se muestra la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el nivel de significancia (sig.) es $0.079 > 0.050$, donde se deduce que existe una distribución normal para el caso de 25°C de la emulsión asfáltica.

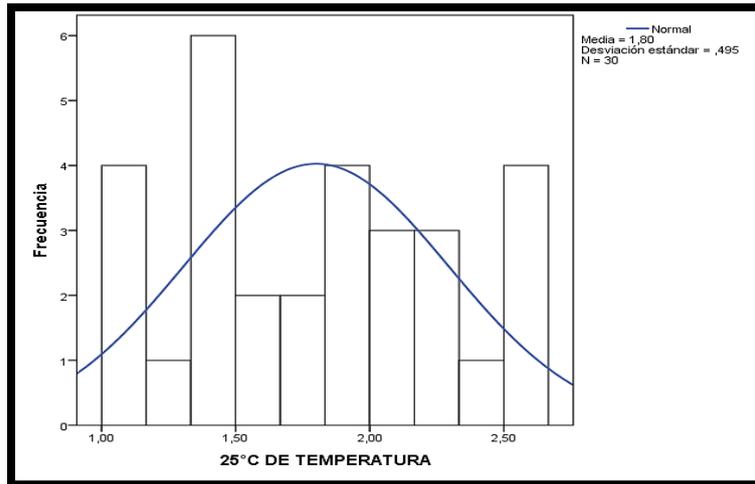


Figura 56: Distribución normal para la temperatura de 25°C al 25 % de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 57 se muestra la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el valor nivel de significancia (sig.) es $0.537 > 0.050$, donde se deduce que existe una distribución normal para el caso de 30°C de la emulsión asfáltica.

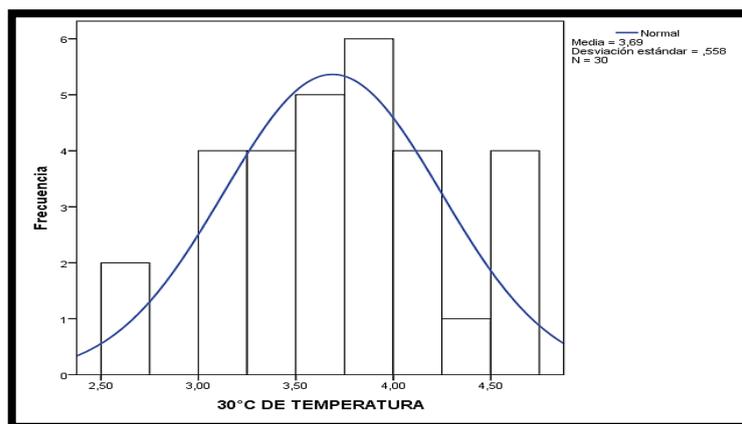


Figura 57: Distribución normal para la temperatura de 30°C al 25% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 58 se muestra la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el valor del nivel de significancia (sig.) es $0.089 > 0.050$; donde se deduce que existe una distribución normal para el caso de 35°C de la emulsión asfáltica.

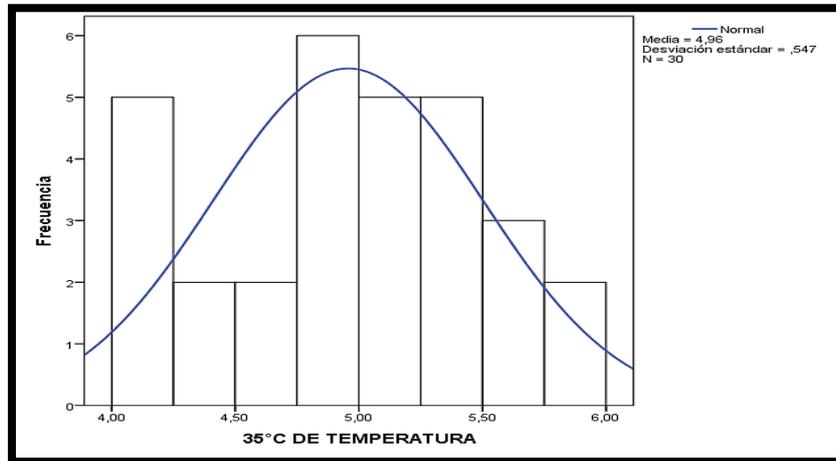


Figura 58: Distribución normal para la temperatura de 35°C al 25% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 59 se observa la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el valor del nivel de significancia (sig.) es $0.056 > 0.050$, donde se deduce que existe una distribución normal para el caso de 40°C de la emulsión asfáltica.

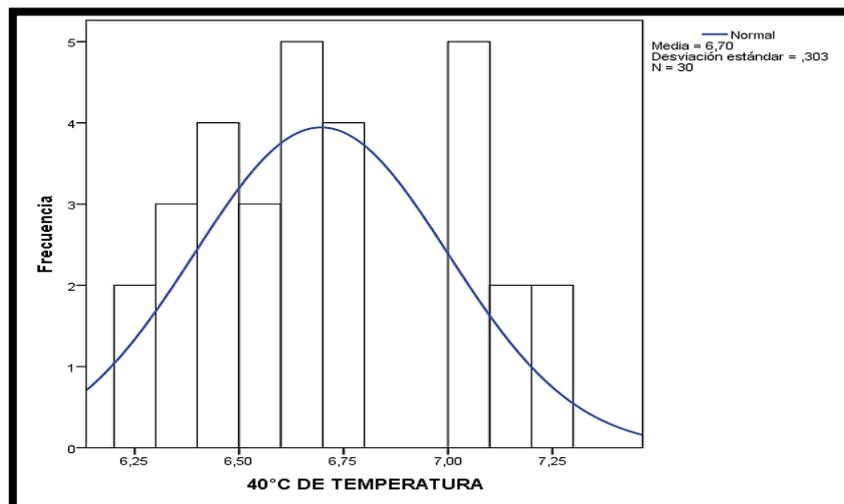


Figura 59: Distribución normal para la temperatura de 40°C al 25% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 60 se observa la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el valor del nivel de significancia (sig.) es $0.372 > 0.050$, donde se deduce que existe una distribución normal para el caso de 50°C de la emulsión asfáltica.

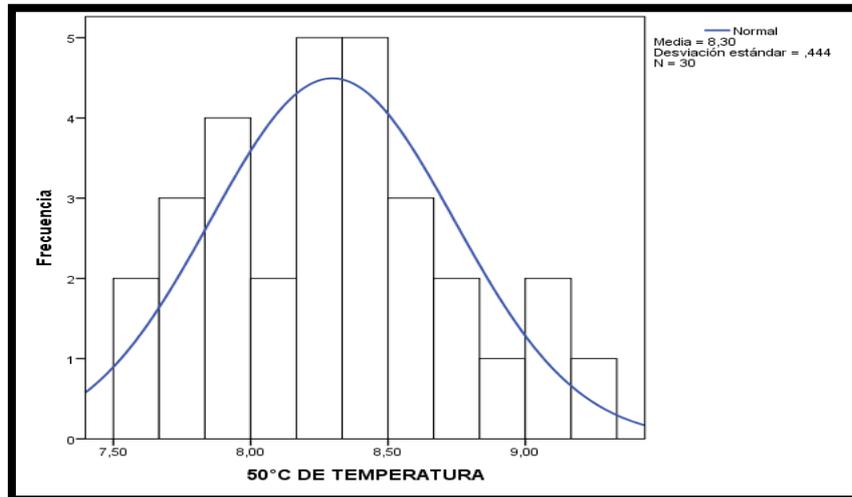


Figura 60: Distribución normal para la temperatura de 50°C al 25% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 61 se muestra la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el nivel de significancia (sig.) es de $0.299 > 0.050$, donde se deduce que existe una distribución normal para el caso de 60°C de la emulsión asfáltica.

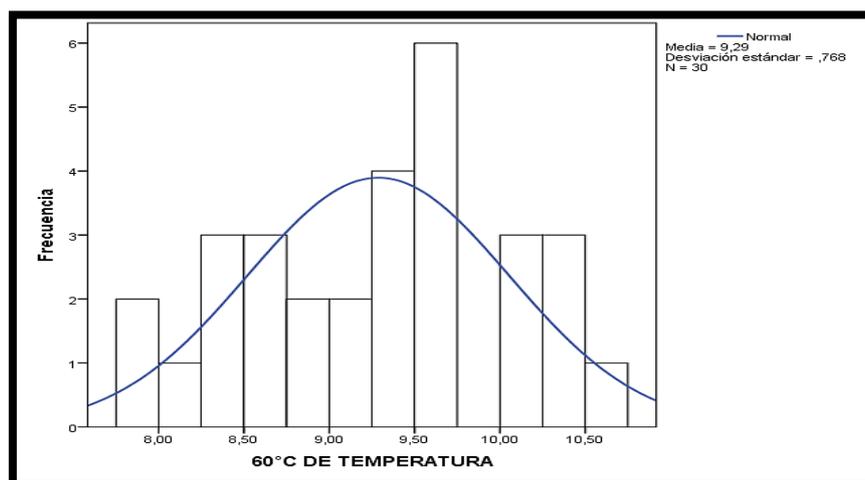


Figura 61: Distribución normal para la temperatura de 60°C al 25% de finos.

Fuente: Propia.

Realizando la determinación de la distribución normal de los datos podemos indicar si son paramétricos o no paramétricos. Se analizó la correlación entre los datos de la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica y la profundidad de penetración de la imprimación. Para ello se empleó el coeficiente de correlación de Pearson por ser un grupo de datos paramétricos. Se plantean las siguientes hipótesis para el 25% de finos en la base granular:

Ho: $r = 0$ (No existe correlación entre la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica y la profundidad de penetración de la imprimación).

Hi: $r \neq 0$ (Existe correlación entre la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica y la profundidad de penetración de la imprimación).

Nivel de significancia: 0.05

Tabla 28: Correlación de Pearson para el 25% de finos en la base granular.

NIVEL DE CORRELACIÓN		TEMPERATURA	PENETRACION
TEMPERATURA	Correlación de Pearson	1	-,975**
	Sig. (bilateral)		0,000
	N	180	180
PENETRACION	Correlación de Pearson	-,975**	1
	Sig. (bilateral)	0,000	
	N	180	180

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Propia.

En la tabla 28 se muestra el análisis con el coeficiente de correlación de Pearson donde se observa que el nivel de significancia es 0.000 el cual es menor al 0.05 ya establecido, entonces se deduce que se acepta la hipótesis alterna donde indica que existe correlación entre las variables en mención. además, $r = -0.975$ el cual indica que existe una correlación alta pero inversamente lineal.

En la figura 62 se muestra la curva de penetración para el 25% de finos en la base granular, donde se tomó en cuenta el R^2 que genera la línea tendencia, el mayor fue el elegido en este caso R^2 cubico.

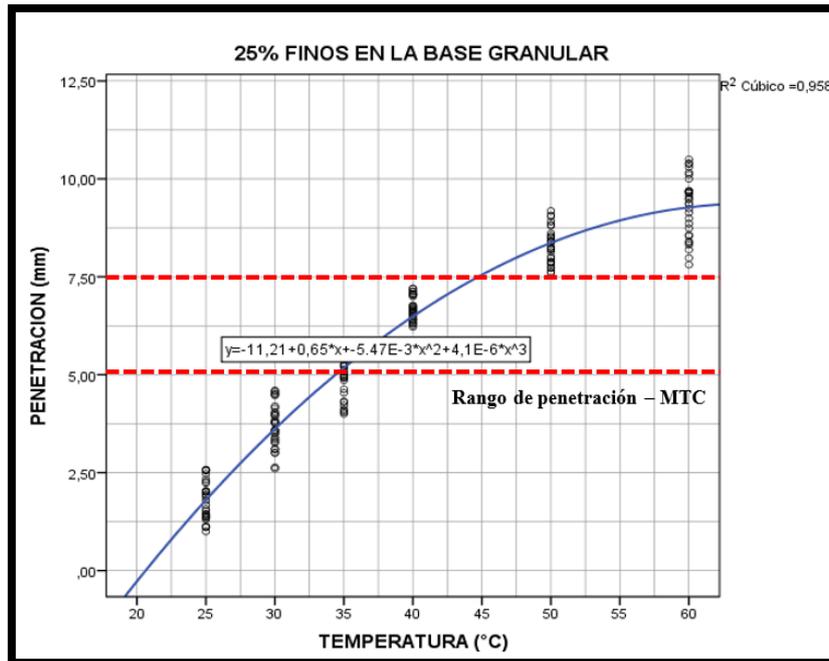


Figura 62: Penetración vs temperatura de la emulsión asfáltica al 25% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 62 se observa que la penetración de la emulsión asfáltica incrementa al tener mayor temperatura, donde para dicha relación se obtuvo la ecuación 4 en la que se puede determinar la penetración a partir de la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica.

$$Y = -11.21 + 0.65X - 5.47 * 10^{-3} * X^2 + 4.1 * 10^{-6} * X^3 \dots\dots\dots (4)$$

En la figura 63 se observa que la imprimación asfáltica superó el rango de penetración que indica el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el cual es desde 5 mm a 7.5 mm; en este caso la penetración será aceptable desde una temperatura de 34.954°C hasta los 60°C.

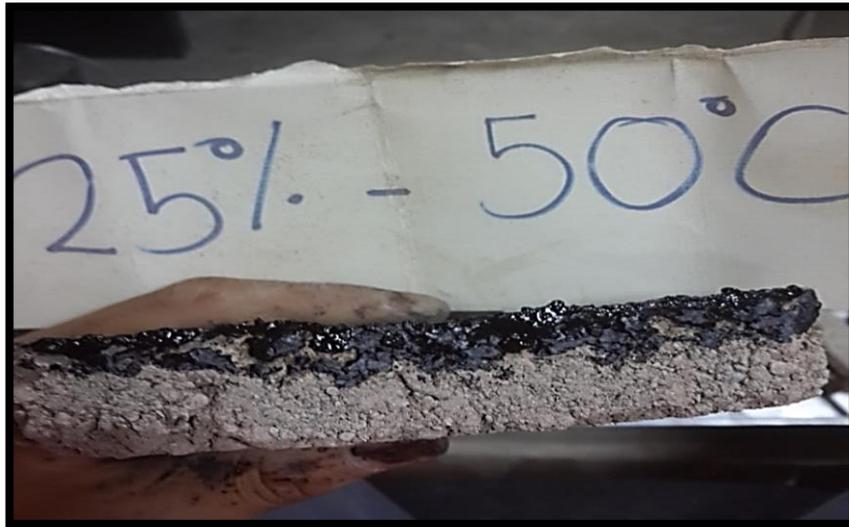


Figura 63: Penetración al 25% de finos con 50°C de la emulsión asfáltica.

Fuente: Propia.

4.1.5. Penetraciones al 30% de agregados finos en la base granular

En la tabla 29 de la página siguiente se observan los resultados de las penetraciones para el caso de 30% de agregados finos pasante la malla # 16, que viene a ser 6% de finos pasante la malla # 200.

Tabla 29: Penetraciones de la emulsión asfáltica al 30% de finos de la base granular.

PENETRACIÓN (mm) PARA EL 30% DE FINOS							
ITEM	60°C	50°C	40°C	35°C	30°C	25°C	20°C
1	6.81	4.96	3.88	2.80	1.01	NO EXISTE PENETRACIÓN	NO EXISTE PENETRACIÓN
2	6.89	4.98	4.00	2.83	1.25		
3	7.00	5.00	4.18	2.88	1.31		
4	7.01	5.02	4.20	2.92	1.40		
5	7.11	5.04	4.20	2.94	1.42		
6	7.14	5.10	4.27	2.96	1.50		
7	7.17	5.17	4.32	2.96	1.50		
8	7.20	5.20	4.35	3.12	1.50		
9	7.23	5.24	4.36	3.14	1.56		
10	7.27	5.27	4.40	3.18	1.68		
11	7.38	5.28	4.41	3.24	1.72		
12	7.42	5.31	4.60	3.35	1.80		
13	7.46	5.40	4.70	3.38	1.80		
14	7.48	5.40	4.70	3.43	1.91		
15	7.68	5.41	4.82	3.45	1.93		
16	7.70	5.53	4.83	3.48	2.05		
17	7.71	5.65	4.85	3.60	2.10		
18	7.76	5.78	4.87	3.61	2.18		
19	7.77	5.89	4.90	3.67	2.32		
20	7.90	5.91	4.96	3.68	2.35		
21	7.94	5.98	5.02	3.72	2.43		
22	8.00	6.04	5.16	3.73	2.44		
23	8.03	6.18	5.22	3.79	2.46		
24	8.06	6.28	5.40	3.85	2.46		
25	8.11	6.28	5.54	3.88	2.47		
26	8.13	6.50	5.55	4.02	2.51		
27	8.16	6.54	5.58	4.07	2.53		
28	8.18	6.77	5.60	4.08	2.58		
29	8.19	6.86	5.62	4.10	2.64		
30	8.21	6.88	5.63	4.11	2.67		
31	8.27	6.98	5.68	4.16	2.80		
32	8.35	7.13	5.70	4.16	2.84		
33	8.37	7.25	5.75	4.16	2.89		
34	8.40	7.26	5.84	4.24	3.00		

Fuente: Propia.

En la tabla 30 se observan los parámetros estadísticos obtenidos a partir de las mediciones de las penetraciones realizadas. Se analizó para cada temperatura de colocación donde se obtuvo los parámetros como la media, mediana, varianza, desviación estándar, etc.

Tabla 30: Datos estadísticos para 30% de finos de la base granular.

PARÁMETROS		TEMPERATURA						
		60°C	50°C	40°C	35°C	30°C	25°C	20°C
Media		7.70	5.87	4.91	3.55	2.10	NINGÚN	NINGÚN
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	7.52	5.61	4.71	3.40	1.90		
	Límite superior	7.86	6.13	5.12	3.71	2.28		
Mediana		7.74	5.72	4.86	3.61	2.14		
Varianza		0.23	0.56	0.35	0.21	0.30		
Desviación estándar		0.48	0.75	0.60	0.46	0.55		
Mínimo		6.81	4.96	3.88	2.80	1.01		
Máximo		8.40	7.26	5.84	4.24	3.00		
Error Estándar		0.083	0.128	0.101	0.079	0.094		

Fuente: Propia.

Se analizó los datos con las pruebas de normalidad para observar el tipo de distribución de cada temperatura de aplicación. Para ello se utilizó con el programa estadístico SPSS. (ver tabla 31).

Tabla 31: Prueba de normalidad para el 30% de finos de la base granular.

Pruebas de Normalidad						
TEMPERATURA	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
60°C	,121	34	,200*	,937	34	,051
50°C	,171	34	,013	,906	34	,007
40°C	,150	34	,051	,933	34	,038
35°C	,111	34	,200*	,931	34	,034
30°C	,146	34	,064	,953	34	,155

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

a. Corrección de significación de Lilliefors.

Fuente: Propia.

Para este caso se analizó con la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk, debido a que se emplea esta prueba cuando se tiene una cantidad menor a los 50 datos. Todas las temperaturas de aplicación cumplen con la condición anterior. En la tabla 31 se observa que el nivel de significancia (sig.) para los casos de 30°C y 60°C son

mayores al 0.05, el cual indica que existe una distribución normal para dichos casos y para los casos de 35°C, 40°C y 50°C los niveles de significancia son menores que el 0.05, el cual indica que existe una distribución asimétrica de datos. Como en este caso del 30% de agregados finos de la base granular todos los datos no cumplen el tipo de distribución normal, se analizó la correlación con el coeficiente no paramétrico de Spearman.

En la figura 64 se muestra la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el nivel de significancia (sig.) es $0.155 > 0.050$, donde se deduce que existe una distribución normal para el caso de 30°C de la emulsión asfáltica.

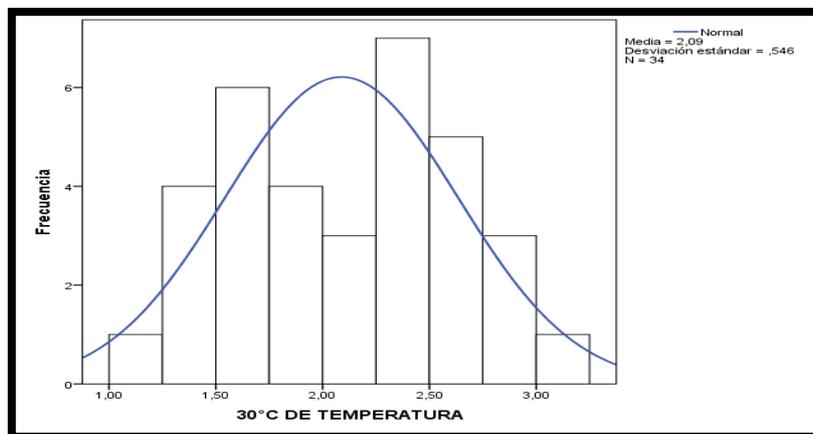


Figura 64: Distribución normal para la temperatura de 30°C al 30% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 65 se observa la prueba de normalidad, en el cual nos muestra que los datos son asimétricos. Estadísticamente el nivel de significancia (sig.) es $0.034 < 0.050$, donde podemos mencionar que existe una distribución asimétrica para el caso de 35°C de la emulsión asfáltica.

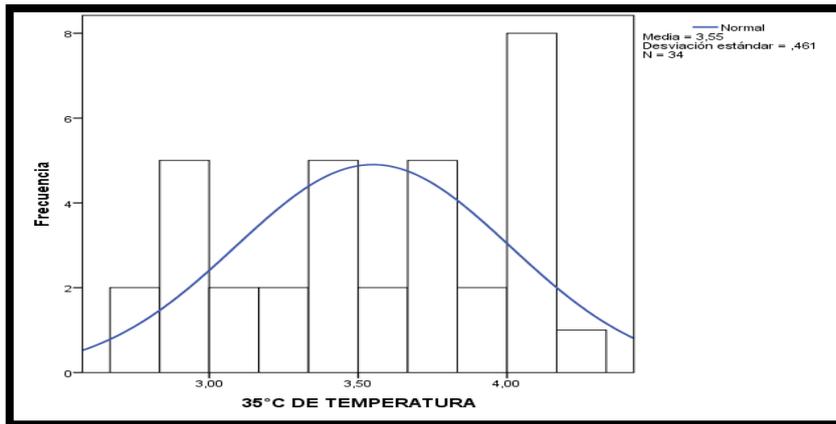


Figura 65: Distribución asimétrica para la temperatura de 35°C al 30% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 66 se muestra la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son asimétricos. Estadísticamente el nivel de significancia (sig.) es $0.038 < 0.050$, donde podemos mencionar que existe una distribución asimétrica para el caso de 40°C de la emulsión asfáltica.

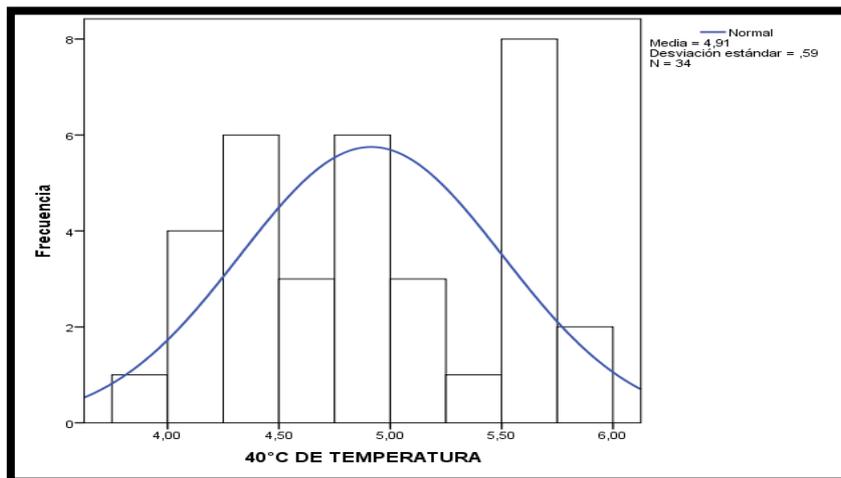


Figura 66: Distribución asimétrica para la temperatura de 40°C al 30% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 67 se observa la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son asimétricos. Estadísticamente el nivel de significancia (sig.) es $0.007 < 0.050$, donde se deduce que existe una distribución asimétrica para el caso de 50°C de la emulsión asfáltica.

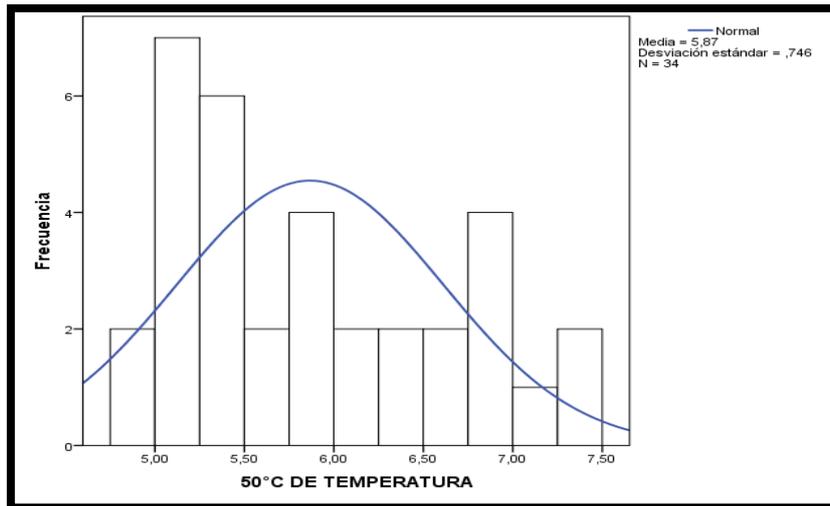


Figura 67: Distribución asimétrica para la temperatura de 50°C al 30% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 68 se observa la prueba de normalidad, el cual nos muestra que los datos son simétricos. Estadísticamente el nivel de significancia es $0.051 > 0.050$, donde se deduce que existe una distribución normal para el caso de 60°C de la emulsión asfáltica.

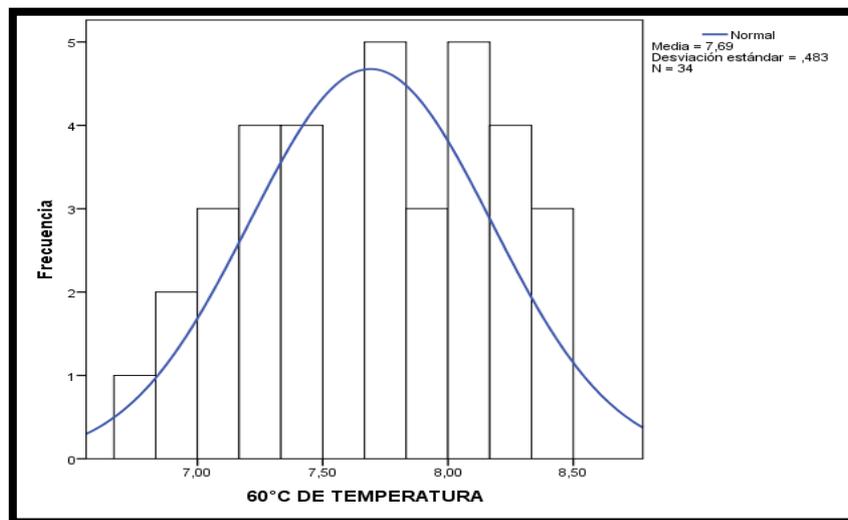


Figura 68: Distribución normal para la temperatura de 60°C al 30% de finos.

Fuente. Propia.

Realizando la determinación de la distribución normal de los datos, esto nos indica si los datos son paramétricos o no paramétricos. Luego se analizó la correlación entre las variables como son la temperatura de la aplicación de la emulsión asfáltica y la

profundidad de penetración de la imprimación. Para ello se empleará el coeficiente de correlación de Spearman el cual es no paramétrico.

Se plantean las siguientes hipótesis para el 30% de agregados finos en la base granular:

Ho: $r = 0$ (No existe correlación entre la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica y la profundidad de penetración de la imprimación).

Hi: $r \neq 0$ (Existe correlación entre la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica y la profundidad de penetración de la imprimación).

Nivel de significancia: 0.05

Tabla 32: Correlación de Spearman para el 30% de finos de la base granular.

NIVEL DE CORRELACIÓN		TEMPERATURA	PENETRACION	
Rho de Spearman	TEMPERATURA	Coefficiente de correlación	1,000	-,958**
		Sig. (bilateral)	.	0,000
		N	170	170
	PENETRACION	Coefficiente de correlación	-,958**	1,000
		Sig. (bilateral)	0,000	.
		N	170	170

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Propia.

En la tabla 32 se observa el análisis del coeficiente de correlación de Spearman donde se observa que el nivel de significancia es 0.000 el cual es menor al 0.05 ya establecido, entonces podemos deducir que se acepta la hipótesis alterna donde menciona que existe correlación entre las variables en mención, además $\rho = -0.958$ el cual indica que existe una correlación inversa muy fuerte.

En la figura 69 se detalla la curva de penetración para el 30% de finos en la base granular, donde se tomó en cuenta el R^2 que genera la línea tendencia, el mayor fue el elegido en este caso el R^2 cubico.

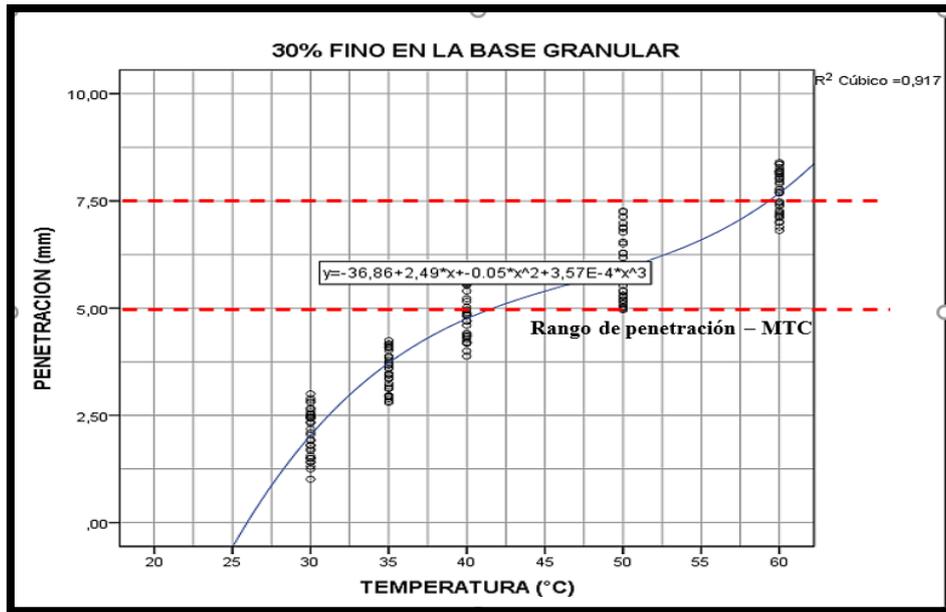


Figura 69: Penetración vs temperatura de la emulsión asfáltica al 30% de finos.

Fuente: Propia.

También se observa que la penetración de la emulsión asfáltica se incrementa al tener mayor temperatura; donde para dicha relación se obtuvo la ecuación 5 en donde se determina la penetración de la imprimación a partir de la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica.

$$Y = -36.86 + 2.49X - 0.05X^2 + 3.57 * 10^{-4} * X^3 \dots\dots\dots (5)$$

En la figura 70 se aprecia que la imprimación asfáltica superó el rango de penetración que indica el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el cual viene a ser de 5 mm a 7.5mm. En este caso la penetración será aceptable a partir de una temperatura de los 33.67°C hasta los 60°C.



Figura 70: Penetración al 30% de finos con 60°C de la emulsión asfáltica.

Fuente: Propia.

4.1.6. Penetraciones al 35% de agregados finos en la base granular

En la tabla 33 de la página siguiente se observan las medidas de las penetraciones realizadas al 35% de agregados finos pasante la malla #16, que viene a ser al 7% de finos pasante la malla # 200.

Tabla 33: Penetraciones de la emulsión asfáltica al 35% de finos en base granular.

PENETRACIÓN (mm) PARA EL 35% DE FINOS							
DATOS	60°C	50°C	40°C	35°C	30°C	25°C	20°C
1	6.41	5.28	4.30	3.22	2.00	NO EXISTE PENETRACIÓN	NO EXISTE PENETRACIÓN
2	6.41	5.35	4.43	3.25	2.00		
3	6.44	5.36	4.44	3.27	2.02		
4	6.44	5.41	4.47	3.28	2.14		
5	6.50	5.43	4.53	3.28	2.17		
6	6.51	5.46	4.62	3.33	2.19		
7	6.56	5.47	4.65	3.42	2.28		
8	6.58	5.50	4.74	3.42	2.31		
9	6.59	5.51	4.84	3.48	2.33		
10	6.59	5.61	4.84	3.49	2.34		
11	6.64	5.65	4.97	3.49	2.37		
12	6.65	5.69	4.98	3.60	2.38		
13	6.71	5.74	5.14	3.69	2.39		
14	6.74	5.79	5.15	3.71	2.54		
15	6.82	5.79	5.15	3.71	2.55		
16	6.83	5.80	5.16	3.79	2.59		
17	6.86	5.82	5.16	3.86	2.60		
18	6.87	5.85	5.20	3.86	2.67		
19	6.89	5.94	5.26	3.87	2.74		
20	6.89	5.97	5.26	3.89	2.75		
21	6.90	5.97	5.28	3.91	2.78		
22	6.98	6.06	5.29	3.95	2.80		
23	7.01	6.13	5.33	3.99	2.87		
24	7.01	6.19	5.35	4.09	2.87		
25	7.03	6.33	5.40	4.11	2.90		
26	7.09	6.33	5.47	4.12	2.98		
27	7.11	6.35	5.49	4.16	3.07		
28	7.14	6.35	5.52	4.18	3.07		
29	7.16	6.38	5.56	4.18	3.08		
30	7.20	6.40	5.64	4.18	3.20		

Fuente: Propia.

En la tabla 34 se muestran los parámetros estadísticos obtenidos para cada temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica. Se obtuvieron los datos estadísticos como la media, mediana, varianza, desviación estándar, etc.

Tabla 34: Datos estadísticos para el 35% de finos en la base granular.

PARÁMETROS		TEMPERATURA						
		60°C	50°C	40°C	35°C	30°C	25°C	20°C
Media		6.80	5.83	5.05	3.73	2.57	NINGUNO	NINGUNO
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	6.70	5.70	4.91	3.60	2.43		
	Límite superior	6.88	5.96	5.20	3.85	2.70		
Mediana		6.83	5.80	5.16	3.75	2.57		
Varianza		0.06	0.13	0.15	0.11	0.12		
Desviación estándar		0.25	0.36	0.38	0.33	0.35		
Mínimo		6.41	5.28	4.30	3.22	2.00		
Máximo		7.20	6.40	5.64	4.18	3.20		
Error Estándar		0.045	0.065	0.069	0.059	0.064		

Fuente: Propia.

Se analizó los datos con las pruebas de normalidad para observar el tipo de distribución de los mismos. Para ello se utilizó el programa estadístico SPSS. (ver tabla 35).

Tabla 35: Prueba de normalidad para el 35% de finos en la base granular.

Pruebas de Normalidad						
TEMPERATURA	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
60°C	,118	30	,200*	,944	30	,114
50°C	,120	30	,200*	,932	30	,056
40°C	,189	30	,008	,937	30	,075
35°C	,131	30	,198	,919	30	,025
30°C	,125	30	,200*	,959	30	,296

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

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Propia.

Para este caso se analizó con la prueba de normalidad de Shapiro - Wilk debido a que se emplea esta prueba cuando se tiene una cantidad menor a los 50 datos, y ente caso todos los datos de las temperaturas de aplicación cumplen con la condición anterior. En la tabla 35 se observa que el nivel de significancia (sig.) para los casos de 30°C, 40°C, 50°C y 60°C son mayores al 0.05 con lo cual se indica que existe una

distribución normal para dichos casos y para el caso de 35°C el nivel de significancia es menor que 0.05, el cual indica que existe una distribución asimétrica de datos. Como en este caso todos los datos no cumplen con una distribución normal, se analizará la correlación con el coeficiente no paramétrico de Spearman.

En la figura 71 se muestra la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el nivel de significancia (sig.) es $0.296 > 0.050$, donde se deduce que existe una distribución normal para el caso de 30°C de la emulsión asfáltica.

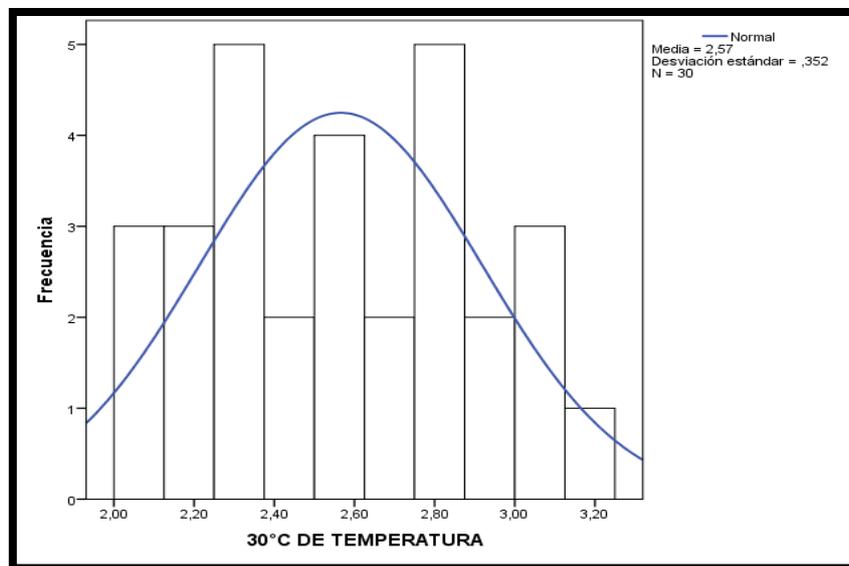


Figura 71: Distribución normal para la temperatura de 30°C al 35% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 72 se muestra la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son asimétricos. Estadísticamente el nivel de significación (sig.) es $0.025 < 0.050$ donde se deduce que existe una distribución asimétrica para el caso de 35°C de la emulsión asfáltica.

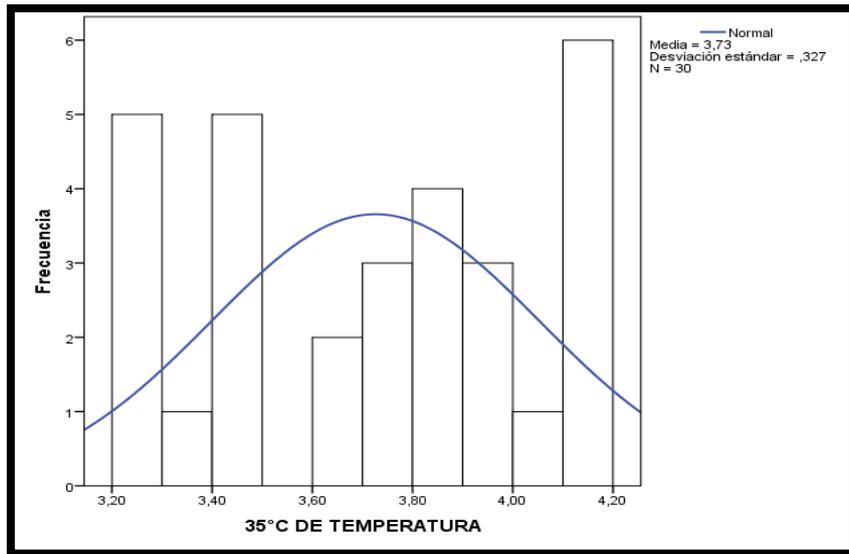


Figura 72: Distribución asimétrica para la temperatura de 35°C al 35% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 73 se muestra la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el nivel de significación (sig.) es $0.075 > 0.050$, donde se deduce que existe una distribución normal para el caso de 40°C de la emulsión asfáltica.

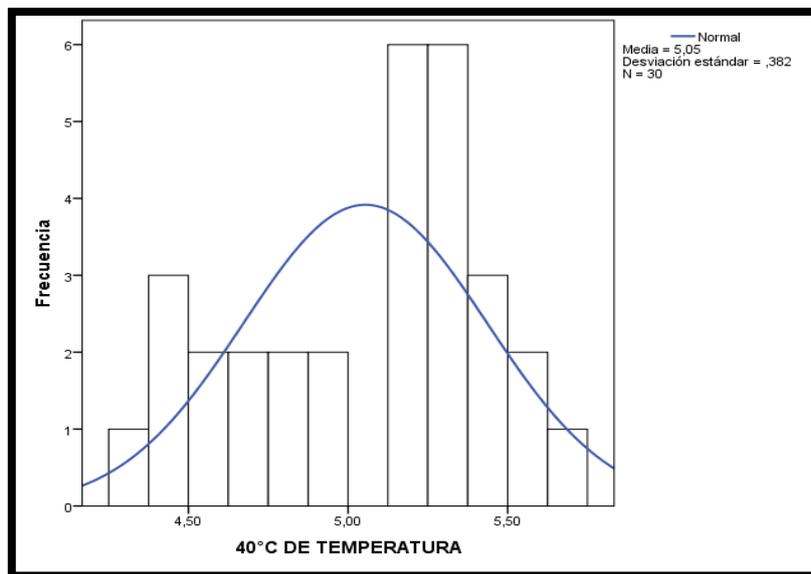


Figura 73: Distribución normal para la temperatura de 40°C al 35% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 74 se observa la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el nivel de significación (sig.) es $0.056 > 0.050$, de donde se deduce que existe una distribución normal para el caso de 50°C de la emulsión asfáltica.

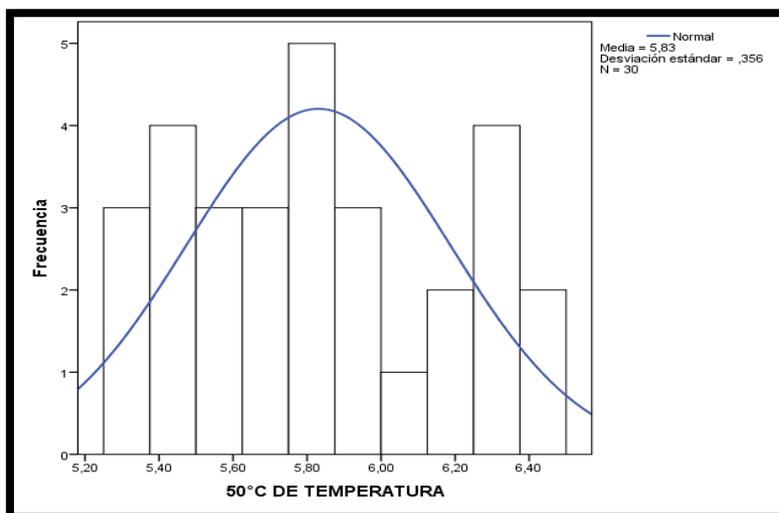


Figura 74: Distribución normal para la temperatura de 50°C al 35% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 75 se muestra la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el nivel de significación (sig.) es $0.114 > 0.050$, donde se deduce que existe una distribución normal para el caso de 60°C de la emulsión asfáltica.

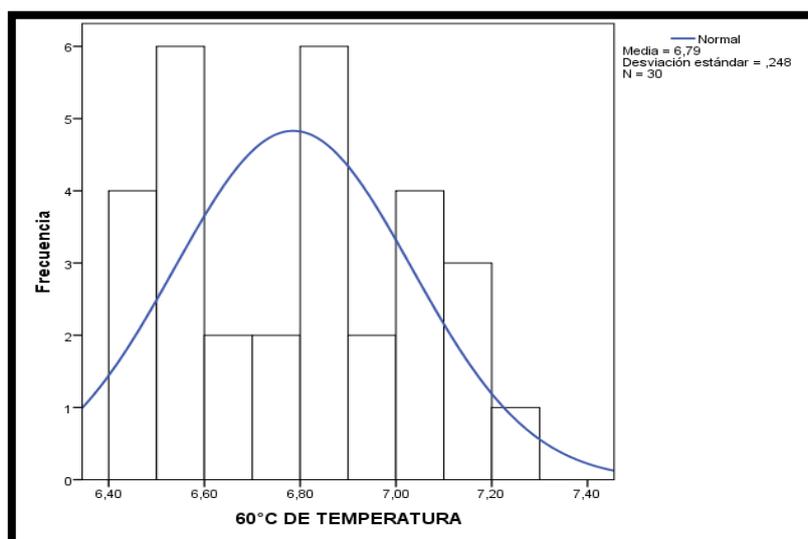


Figura 75: Distribución normal para la temperatura de 60°C al 35% de finos.

Fuente: Propia.

Realizando la determinación del tipo de distribución de los datos se observa si los datos son paramétricos o no paramétricos. Se analizó la correlación entre las variables como son la temperatura de la aplicación de la emulsión asfáltica y la profundidad de penetración de la imprimación. Se empleó el coeficiente de correlación de Spearman por ser un grupo de datos no paramétricos.

Se plantean las siguientes hipótesis para el 35% de finos en la base granular:

Ho: $r = 0$ (No existe correlación entre la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica y la profundidad de penetración de la imprimación)

Hi: $r \neq 0$ (Existe correlación entre la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica y la profundidad de penetración de la imprimación)

Nivel de significancia: 0.05

Tabla 36: Correlación de Spearman para el 35% de finos en la base granular.

Correlaciones				
NIVEL DE CORRELACIÓN			TEMPERATURA	PENETRACION
Rho de Spearman	TEMPERATURA	Coefficiente de correlación	1,000	-,975**
		Sig. (bilateral)	.	0,000
		N	150	150
	PENETRACION	Coefficiente de correlación	-,975**	1,000
		Sig. (bilateral)	0,000	.
		N	150	150

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Propia.

En la tabla 36 se observa el análisis con el coeficiente de correlación de Spearman donde se aprecia que el nivel de significancia es 0.000 el cual es menor al 0.05 ya establecido. Por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna donde menciona que existe correlación entre las variables en mención, además $\rho = -0.975$ el cual indica que existe una correlación negativa muy fuerte.

En la figura 76 se muestra la curva de penetración para el 35% de finos en la base granular donde se tomó en cuenta el R^2 que genera la línea tendencia, el mayor fue el elegido, en este caso el R^2 cubico.

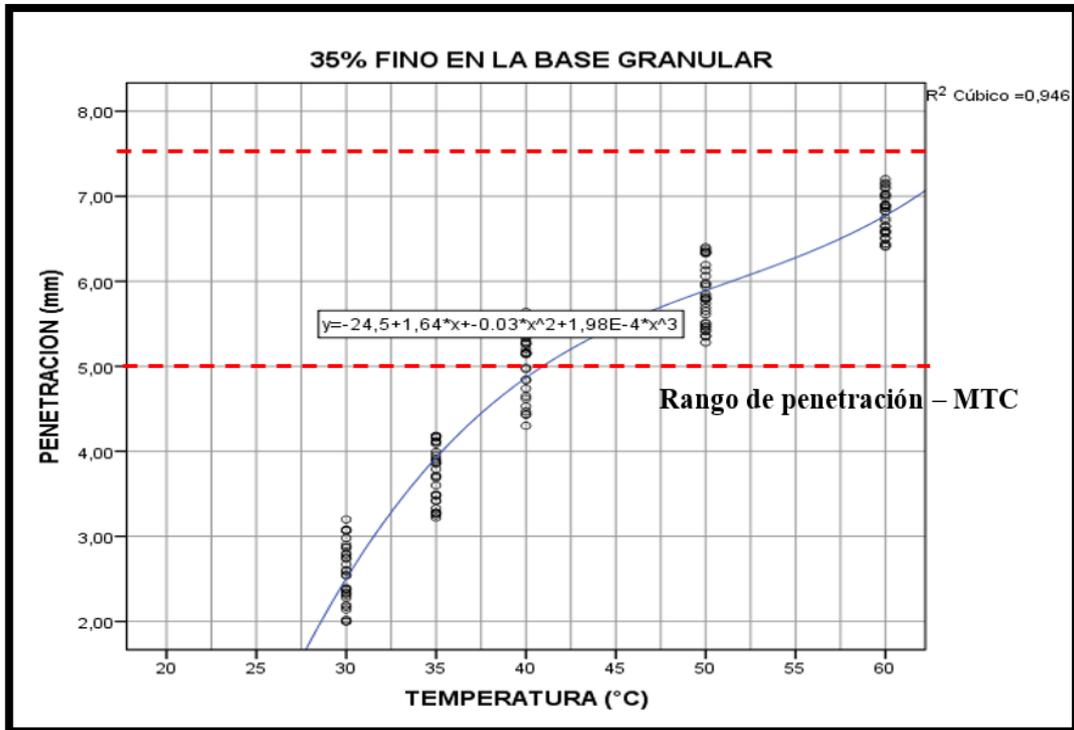


Figura 76: Penetración vs temperatura de emulsión asfáltica al 35% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 76 se observa que la penetración de la emulsión asfáltica se incrementa al tener mayor temperatura; donde para dicha relación se obtuvo la ecuación 6 en la que se puede determinar la penetración a partir de la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica.

$$Y = -24.5 + 1.64X - 0.03X^2 + 1.98 * 10^{-4} * X^3 \dots\dots\dots (6)$$

En la figura 77 se aprecia que la imprimación asfáltica superó el rango de penetración que indica el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones para el riego de imprimación con emulsión asfáltica. En este caso la penetración será aceptable a partir de una temperatura de 40.175°C hasta los 60°C.

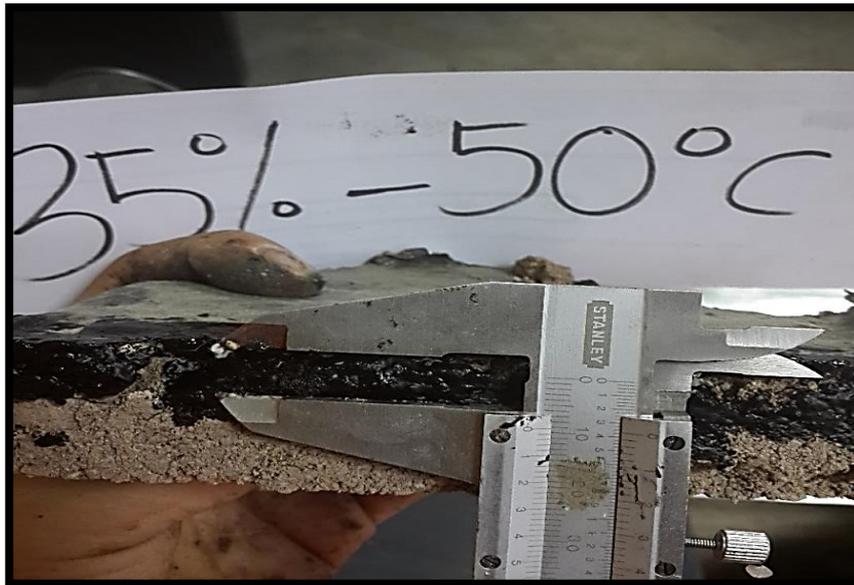


Figura 77: Penetración al 35% finos con 50°C de la emulsión asfáltica.

Fuente: Propia.

4.1.7. Penetraciones al 40% de agregados finos en la base granular

En la tabla 37 de la página siguiente se observan las medidas de las penetraciones realizadas al 40% de agregados finos pasante la malla # 16, que viene a ser el 8 % de finos pasante la malla # 200.

Tabla 37: Penetraciones de la emulsión asfáltica al 40% de finos en base granular.

PENETRACIÓN (mm) PARA EL 40% DE FINOS							
ITEM	60°C	50°C	40°C	35°C	30°C	25°C	20°C
1	5.00	4.48	3.67	1.00	NO EXISTE PENETRACIÓN	NO EXISTE PENETRACIÓN	NO EXISTE PENETRACIÓN
2	5.38	4.51	3.71	1.05			
3	5.42	4.61	3.89	1.07			
4	5.56	4.67	3.91	1.08			
5	5.58	4.72	3.91	1.22			
6	5.58	4.74	3.92	1.28			
7	5.59	4.75	4.09	1.35			
8	5.65	4.76	4.13	1.40			
9	5.75	4.89	4.19	1.50			
10	5.75	4.91	4.19	1.54			
11	5.82	4.95	4.22	1.62			
12	5.84	4.95	4.24	1.66			
13	5.86	4.95	4.29	1.67			
14	5.88	4.96	4.35	1.82			
15	5.89	5.02	4.44	1.87			
16	5.93	5.08	4.44	1.88			
17	5.95	5.10	4.46	2.33			
18	5.96	5.11	4.50	2.51			
19	5.96	5.21	4.60	2.53			
20	5.98	5.24	4.63	2.59			
21	5.99	5.27	4.84	2.62			
22	6.01	5.29	4.88	2.63			
23	6.04	5.34	4.91	2.79			
24	6.12	5.42	4.92	2.81			
25	6.18	5.45	4.94	2.88			
26	6.19	5.50	5.00	2.89			
27	6.20	5.60	5.06	2.93			
28	6.20	5.74	5.10	2.96			
29	6.20	5.75	5.16	3.02			
30	6.40	5.80	5.20	3.20			

Fuente: Propia.

En la tabla 38 se muestran los parámetros estadísticos obtenidos a partir de las medidas de las penetraciones realizadas. Se analizó para cada temperatura de colocación donde se obtuvo los parámetros estadísticos como la media, mediana, varianza, desviación estándar, etc.

Tabla 38: Datos estadísticos para 40% de finos en la base granular.

PARÁMETROS		TEMPERATURA						
		60°C	50°C	40°C	35°C	30°C	25°C	20°C
Media		5.86	5.10	4.46	2.06	NINGUNO	NINGUNO	NINGUNO
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	5.75	4.95	4.30	1.80			
	Límite superior	5.97	5.23	4.63	2.33			
Mediana		5.91	5.05	4.44	1.88			
Varianza		0.09	0.14	0.21	0.53			
Desviación estándar		0.30	0.37	0.46	0.72			
Mínimo		5.00	4.48	3.67	1.00			
Máximo		6.40	5.80	5.20	3.20			
Error Estándar		0.054	0.067	0.083	0.132			

Fuente: Propia.

Se analizó los datos con las pruebas de normalidad para observar el tipo de distribución para cada temperatura de aplicación. Para ello se utilizó el programa estadístico SPSS. (ver tabla 39)

Tabla 39: Pruebas de normalidad para el 40% de finos de la base granular.

Pruebas de Normalidad						
TEMPERATURA	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
60°C	,111	30	,200*	,954	30	,219
50°C	,107	30	,200*	,967	30	,458
40°C	,131	30	,200*	,951	30	,175
35°C	,168	30	,031	,905	30	,011
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.						
a. Corrección de significación de Lilliefors						

Fuente: Propia.

Para este caso se analizó con la prueba de normalidad de Shapiro -Wilk debido a que se emplea esta prueba cuando se tiene una cantidad menor a 50 datos. Cada temperatura de aplicación cumple con la condición anterior. En la tabla 39 se observa que el nivel de significancia (sig.) para los casos de 40°C, 50°C y 60°C son mayores al 0.05, el cual nos indica que existe una distribución normal y para el caso de 35°C es menor que el 0.05, el cual indica que existe una distribución asimétrica de datos.

Como en este caso todos los datos no cumplen con el tipo de distribución normal, se analizó la correlación con el coeficiente no paramétrico de Spearman.

En la figura 78 se observa la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son asimétricos. Estadísticamente el nivel de significación (sig.) es $0.011 < 0.050$, donde se deduce que existe una distribución asimétrica para el caso de 35°C de la emulsión asfáltica.

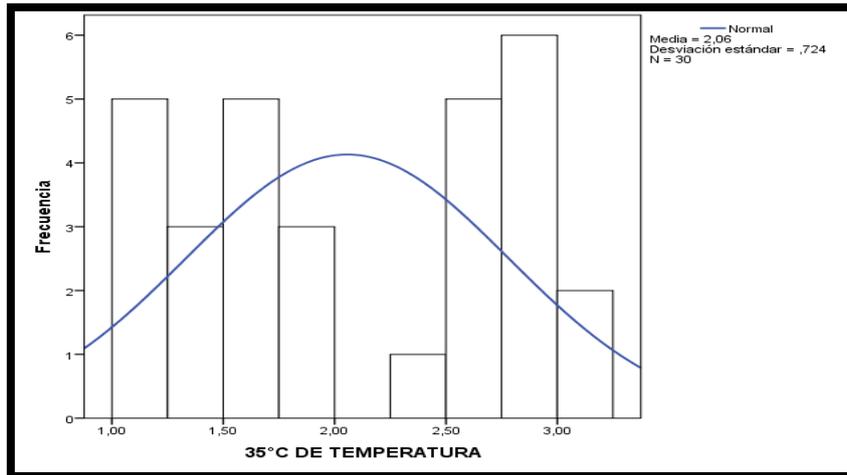


Figura 78: Distribución asimétrica para la temperatura de 35°C al 40% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 79 se muestra la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el nivel de significancia (sig.) es $0.175 > 0.050$, donde se deduce que existe una distribución normal para el caso de 40°C de la emulsión asfáltica.

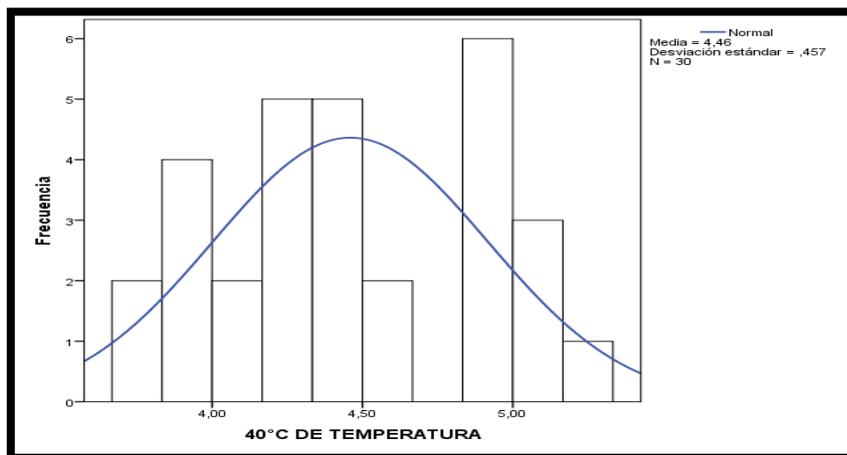


Figura 79: Distribución normal para la temperatura de 40°C al 40% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 80 se muestra la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el nivel de significación (sig.) es $0.458 > 0.050$, donde se deduce que existe una distribución normal para el caso de 50°C de la emulsión asfáltica.

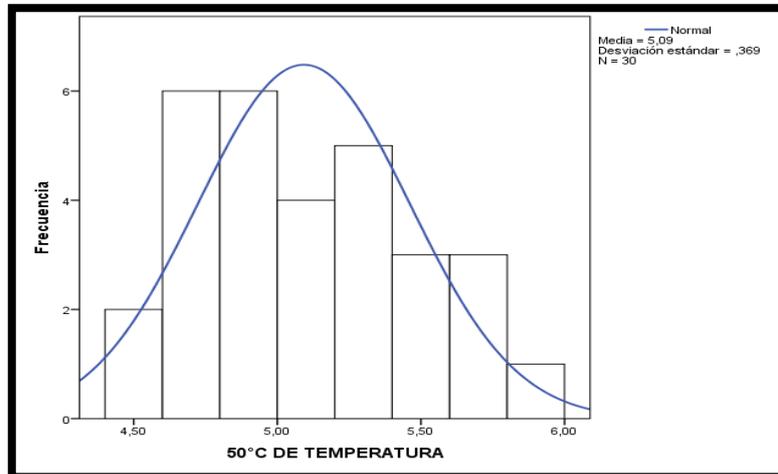


Figura 80: Distribución normal para la temperatura de 50°C al 40% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 81 se observa la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos. Estadísticamente el nivel de significancia (sig.) es $0.219 > 0.050$, donde se deduce que existe una distribución normal para el caso de 60°C de la emulsión asfáltica.

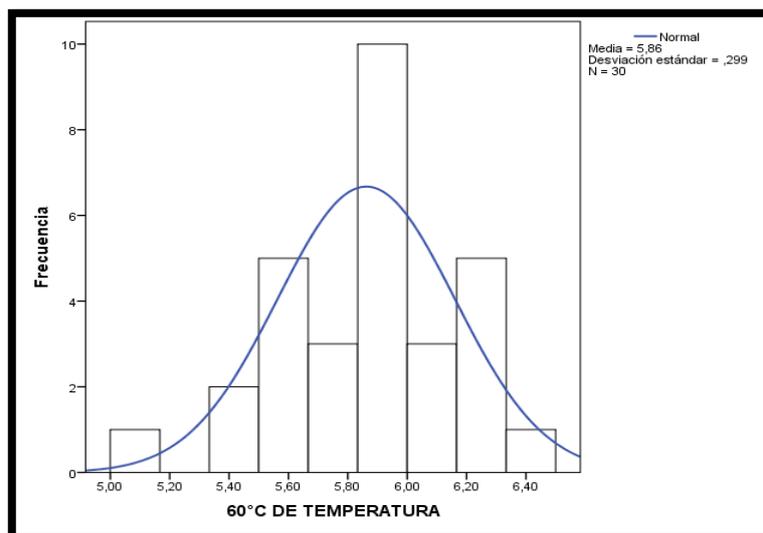


Figura 81: Distribución normal para la temperatura de 60°C al 40% de finos.

Fuente: Propia.

Realizando la determinación de la prueba de normalidad de los datos, esto nos indica si los datos son paramétricos o no paramétricos. Luego se analizó la correlación entre las variables como son la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica y la profundidad de penetración de la imprimación asfáltica. Se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman el cual es no paramétrico.

Se plantean las siguientes hipótesis para el 40% de agregados finos en la base granular:

Ho: $r = 0$ (No existe correlación entre la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica y la profundidad de penetración de la imprimación)

Hi: $r \neq 0$ (Existe correlación entre la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica y la profundidad de penetración de la imprimación)

Nivel de significancia: 0.05

Tabla 40: Correlación de Spearman para el 40% de finos en la base granular.

Correlaciones				
NIVEL DE CORRELACIÓN			TEMPERATUR	PENETRACIO
			A	N
Rho de Spearman	TEMPERATUR A	Coeficiente de correlación	1,000	-,927**
		Sig. (bilateral)	.	0,000
		N	120	120
	PENETRACIO N	Coeficiente de correlación	-,927**	1,000
		Sig. (bilateral)	0,000	.
		N	120	120

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Propia.

En la tabla 40 se observa el análisis del coeficiente de correlación de Spearman donde se observa que el nivel de significancia es 0.000 el cual es menor al 0.05 ya establecido. Por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna donde se indica que existe correlación entre las variables en mención. Además, $\rho = -0.927$ el cual indica que existe una correlación inversa muy fuerte.

En la figura 82 se detalla la curva de penetración para el 40% de finos en la base granular donde se tomó en cuenta el R^2 que genera la línea tendencia, el mayor fue el elegido, en este caso el R^2 cúbico.

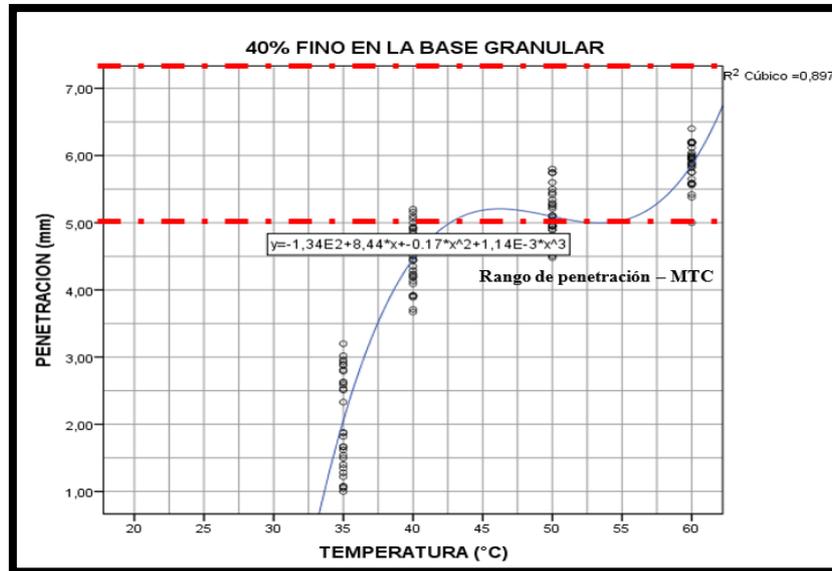


Figura 82: Penetración vs temperatura de emulsión asfáltica al 40% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 82 se observa que la penetración de la emulsión asfáltica se incrementa al tener mayor temperatura, donde para dicha relación se obtuvo la ecuación 7 en donde se determina la penetración a partir de la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica.

$$Y = -133.54 + 8.44X - 0.17X^2 - 1.14 * 10^{-3} * X^3 \dots\dots (7)$$

En la figura 83 se aprecia que la imprimación asfáltica superó el rango de penetración que indica el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones para el riego de imprimación con emulsiones asfálticas. En este caso la penetración será aceptable a partir de una temperatura de 43.64°C hasta los 60°C.



Figura 83: Penetración al 40% de finos con 60°C de la emulsión asfáltica.

Fuente: Propia.

4.1.8. Penetraciones al 45% de agregados finos en la base granular

En la tabla 41 de la página siguiente se observan las penetraciones realizadas al 45% de agregados finos pasante la malla #16, que viene a ser 9% de finos pasante la malla # 200.

Tabla 41: Penetraciones de la emulsión asfáltica al 45% de finos en la base granular.

PENETRACIÓN (mm) PARA EL 45% DE FINOS							
DATOS	60°C	50°C	40°C	35°C	30°C	25°C	20°C
1	4.50	3.88	1.35	NO EXISTE PENETRACIÓN	NO EXISTE PENETRACIÓN	NO EXISTE PENETRACIÓN	NO EXISTE PENETRACIÓN
2	5.00	3.89	1.45				
3	5.06	4.09	1.55				
4	5.12	4.16	1.57				
5	5.28	4.40	1.72				
6	5.38	4.41	1.73				
7	5.40	4.56	1.73				
8	5.40	4.57	1.75				
9	5.45	4.58	1.84				
10	5.46	4.60	1.91				
11	5.58	4.62	2.21				
12	5.60	4.65	2.27				
13	5.62	4.66	2.37				
14	5.64	4.77	2.45				
15	5.70	4.80	2.61				
16	5.80	4.80	2.61				
17	5.97	4.80	2.62				
18	6.00	4.84	2.64				
19	6.14	4.91	2.77				
20	6.15	4.92	2.79				
21	6.20	4.96	2.88				
22	6.20	5.00	2.92				
23	6.32	5.12	3.00				
24	6.39	5.18	3.01				
25	6.48	5.20	3.15				
26	6.49	5.24	3.17				
27	6.68	5.25	3.18				
28	6.76	5.26	3.20				
29	6.78	5.36	3.25				
30	6.80	5.74	3.40				

Fuente: Propia.

En la tabla 42 se muestran los parámetros estadísticos obtenidos a partir de las medidas de las penetraciones realizadas. Se analizó para cada temperatura de aplicación donde se obtuvo los parámetros estadísticos como la media, mediana, varianza, desviación estándar, etc.

Tabla 42: Datos estadísticos para el 45% de finos en la base granular.

PARÁMETROS		TEMPERATURA						
		60°C	50°C	40°C	35°C	30°C	25°C	20°C
Media		5.85	4.77	2.44	NINGUNO	NINGUNO	NINGUNO	NINGUNO
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	5.62	4.61	2.20				
	Límite superior	6.01	4.94	2.67				
Mediana		5.75	4.80	2.61				
Varianza		0.36	0.19	0.40				
Desviación estándar		0.60	0.43	0.63				
Mínimo		4.50	3.88	1.35				
Máximo		6.80	5.74	3.40				
Error Estándar		0.108	0.079	0.115				

Fuente: Propia.

Se analizaron los datos con las pruebas de la normalidad, esto para determinar el tipo de distribución para los datos de cada temperatura de aplicación. Para ello se utilizó el programa estadístico SPSS. (ver tabla 43)

Tabla 43: Prueba de normalidad para 45% de fino en la base granular.

Pruebas de Normalidad						
TEMPERATURA	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
60°C	,101	30	,200*	,968	30	,494
50°C	,111	30	,200*	,976	30	,704
40°C	,141	30	,131	,926	30	,039

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

a. Corrección de significación de Lilliefors.

Fuente: Propia.

Para este caso se analizó con la prueba de normalidad de Shapiro - Wilk debido a que se tuvo una cantidad menor a los 50 datos y ente caso cada temperatura de aplicación cumple con la condición anterior. En la tabla 43 se observa que el nivel de significancia (sig) para los casos de 50°C y 60°C son mayores al 0.05, con lo cual se deduce que existe una distribución normal de los datos y para el caso de 40°C es menor al 0.05, en la cual podemos indicar que existe una distribución asimétrica de datos.

En la figura 84 se muestra la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son asimétricos. Estadísticamente el nivel de significación (sig.) es $0.039 < 0.050$, donde se deduce que existe una distribución asimétrica para el caso de 40°C de la emulsión asfáltica.

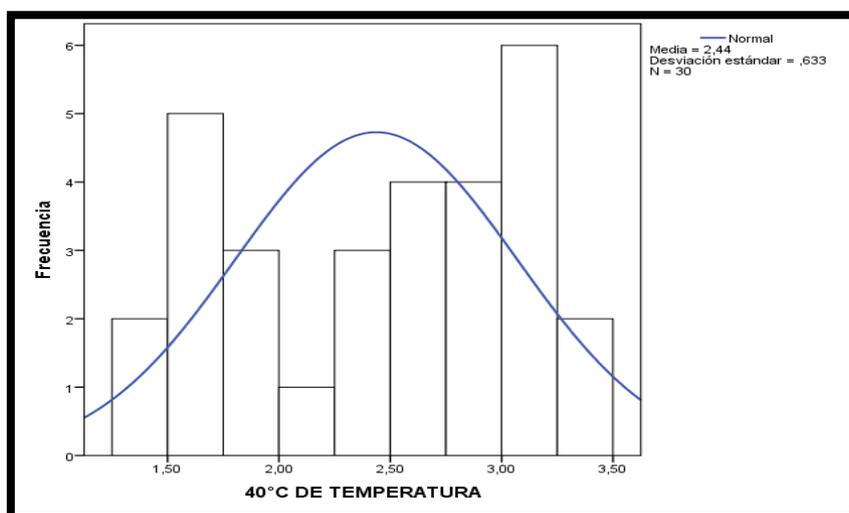


Figura 84: Distribución asimétrica para la temperatura de 40°C al 45 % de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 85 se observa la prueba de normalidad, en la cual se muestra que los datos son simétricos. Estadísticamente el nivel de significancia es de $0.704 > 0.050$, donde se deduce que existe distribución normal para el caso de 50°C de la emulsión asfáltica.

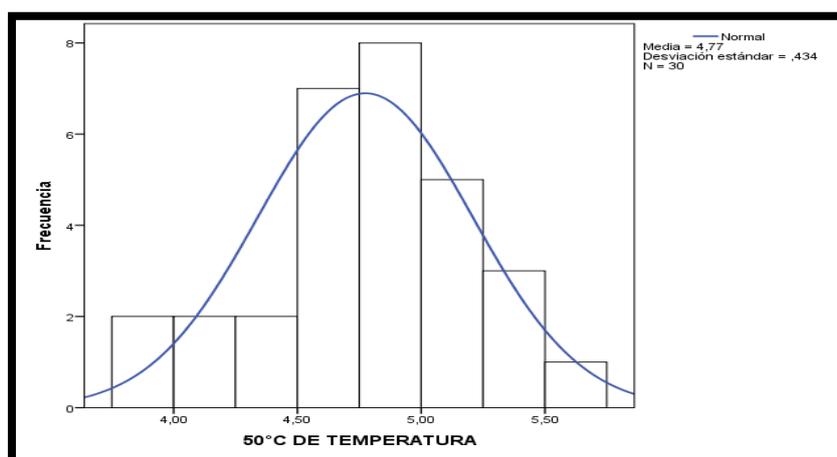


Figura 85: Distribución normal para la temperatura de 50°C al 45% de finos.

Fuente: Propia.

En la figura 84 se observa la prueba de normalidad de la cual se infiere que los datos son simétricos, estadísticamente el nivel de significancia es de $0.494 > 0.050$, donde se deduce que existe distribución normal para el caso de 60°C de la emulsión asfáltica.

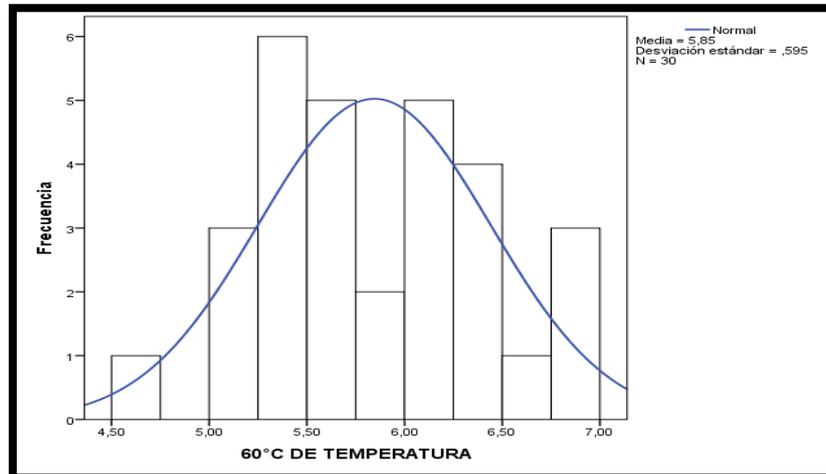


Figura 86: Distribución normal para la temperatura de 60°C al 45 % de finos.

Fuente: Propia.

Realizando la determinación del tipo de distribución de los datos, esto nos indica si los datos son paramétricos o no paramétricos. Se analizó la correlación entre las variables temperatura de aplicación de la emulsión y la profundidad de penetración de la imprimación. Se empleó el coeficiente de correlación de Spearman por ser un grupo de datos no paramétricos. Se plantean las siguientes hipótesis para el 45% de finos en la base granular:

H₀: $r = 0$ (No existe correlación entre la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica y la profundidad de penetración de la imprimación)

H₁: $r \neq 0$ (Existe correlación entre la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica y la profundidad de penetración de la imprimación)

Nivel de significancia: 0.05

Tabla 44: Correlación de Spearman para el 45% de finos en la base granular.

Correlaciones				
NIVEL DE CORRELACIÓN			TEMPERATURA	PENETRACION
Rho de Spearman	TEMPERATURA	Coefficiente de correlación	1,000	-,911**
		Sig. (bilateral)	.	0,000
		N	90	90
	PENETRACION	Coefficiente de correlación	-,911**	1,000
		Sig. (bilateral)	0,000	.
		N	90	90

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Propia.

En la tabla 44 se observa el análisis del coeficiente de correlación de Spearman donde se observa que el nivel de significancia es 0.000 el cual es menor al 0.05 ya establecido. Por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna donde indica que existe correlación entre las variables en mención. Además, rho = -0.912 el cual indica que existe correlación alta pero inversamente lineal.

En la figura 87 se muestra la curva de penetración para el 5% de agregados finos en la base granular, donde se tomó en cuenta el R² que genera la línea tendencia, el mayor fue el elegido, en este caso R² cuadrático.

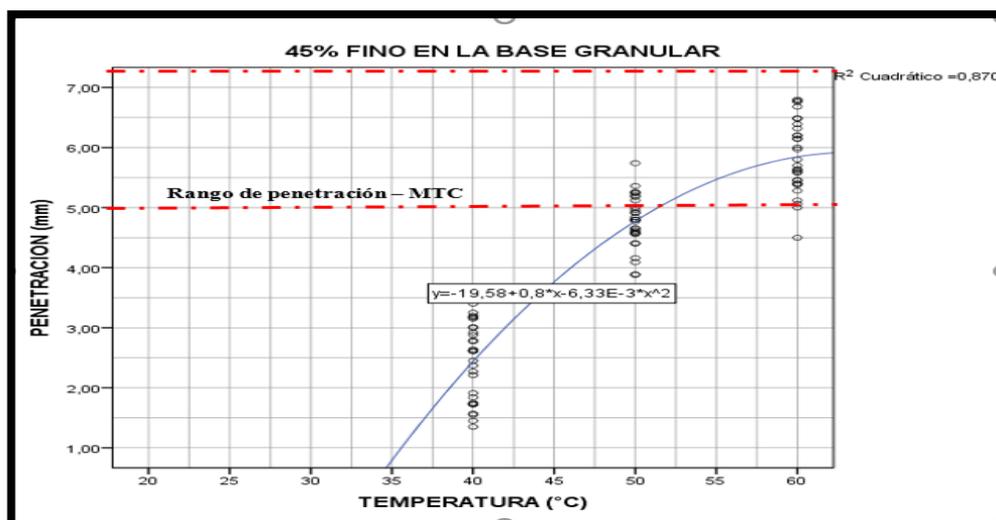


Figura 87: Penetración vs temperatura de emulsión asfáltica al 45% de finos.

Fuente: Propia.

También se observa que la penetración de la emulsión asfáltica se incrementa al tener mayor temperatura, donde para dicha relación se obtuvo la ecuación 8, donde se puede determinar la penetración a partir de la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica.

$$Y = -19.58 + 0.8X - 0.000633 * X^2 \dots\dots\dots (8)$$

En la figura 88 se puede apreciar que la imprimación asfáltica superó el rango de penetración que indica el Manual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en este caso la penetración será aceptable desde los 50.87°C hasta los 60°C.



Figura 88: Penetración al 45% finos con 60°C de la emulsión asfáltica.

Fuente: Propia.

4.1.9. Resumen de datos

En la tabla 45 se observan las temperaturas mínimas que tienden a cumplir con la penetración indicada en el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el cual menciona una penetración ideal de 5mm a 7.5mm para el caso del riego de imprimación con emulsiones asfálticas.

Tabla 45: Resumen de temperaturas mínimas para cada porcentaje de finos.

% de Finos pasante la Malla # 16	% de Finos pasante la Malla # 200	TEMPERATURA MÍNIMA
5 %	1 %	20°C – Temperatura ambiente para Huancayo.
10%	2 %	23.67°C
20%	4 %	29.02°C
25%	5 %	34.95°C
30%	6 %	33.67°C
35%	7 %	40.17°C
40%	8 %	43.64°C
45%	9 %	50.87°C

En la tabla 46 se muestra el cuadro resumen con los % de finos y las temperaturas aplicadas en el proyecto de investigación, este cuadro en mención es una guía para los ingenieros en el proceso de imprimado con emulsiones asfálticas en las obras viales.

Tabla 46: Resumen de datos con aproximación.

% DE FINOS	TEMPERATURA DE APLICACIÓN						
	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	50°C	60°C
45%	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
40%	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
35%	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
30%	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
25%	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
20%	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
10%	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
5%	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

En la figura 89 se muestra el resumen de las temperaturas mínimas de aplicación de la emulsión asfáltica a diferentes variaciones en porcentaje de agregados finos.

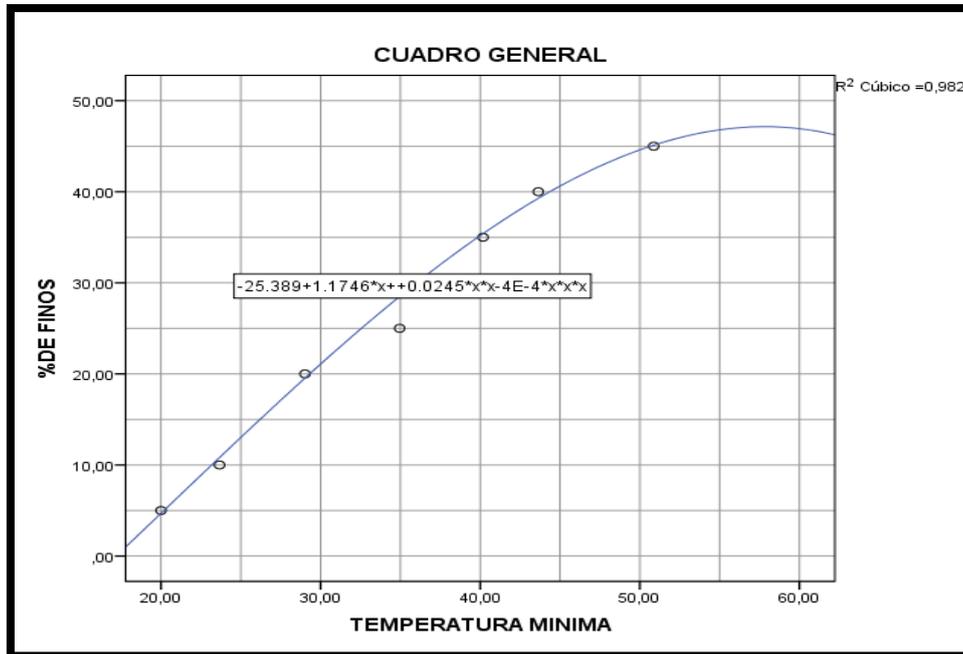


Figura 89: Resumen de temperaturas mínimas versus % de agregados finos.

En la tabla 47 se muestran las ecuaciones pertinentes para cada % de agregados finos. Cada ecuación permite calcular la penetración de la imprimación asfáltica a partir de la temperatura de aplicación a la emulsión.

Tabla 47: Resumen de datos con aproximación.

% DE FINOS	ECUACIONES PARA LAS PENETRACIONES
5%	$y = -1.4987 + 0.7428x - 0.0138x^2 + 0.0001 * x^3$
10%	$y = -10.958 + 1.0111x - 0.0166x^2 + 0.0001 * x^3$
20%	$y = -26.673 + 1.9386 * x - 0.0379x^2 + 0.0003 * x^3$
25%	$y = -11.212 + 0.6546 * x - 0.0055 * x^2 + 4.1 * 10^{-6} * x^3$
30%	$y = -36.857 + 2.4934 * x - 0.0506 * x^2 + 0.0004 * X^3$
35%	$y = -24.498 + 1.6358 * x - 0.0305 * x^2 + 0.0002 * X^3$
40%	$y = -133.54 + 8.4398 * x - 0.1704 * x^2 + 0.00114 * x^3$
45%	$y = -19.576 + 0.8036 * x - 0.0063 * x^2$

Agrupando las figuras 37, 46, 54, 62, 69, 76, 82 y 87 se concluye en una gráfica global como es la figura 90 donde se muestra las líneas de tendencia para cada % de agregados finos de la base granular y las temperaturas de aplicación desarrollados en la investigación.

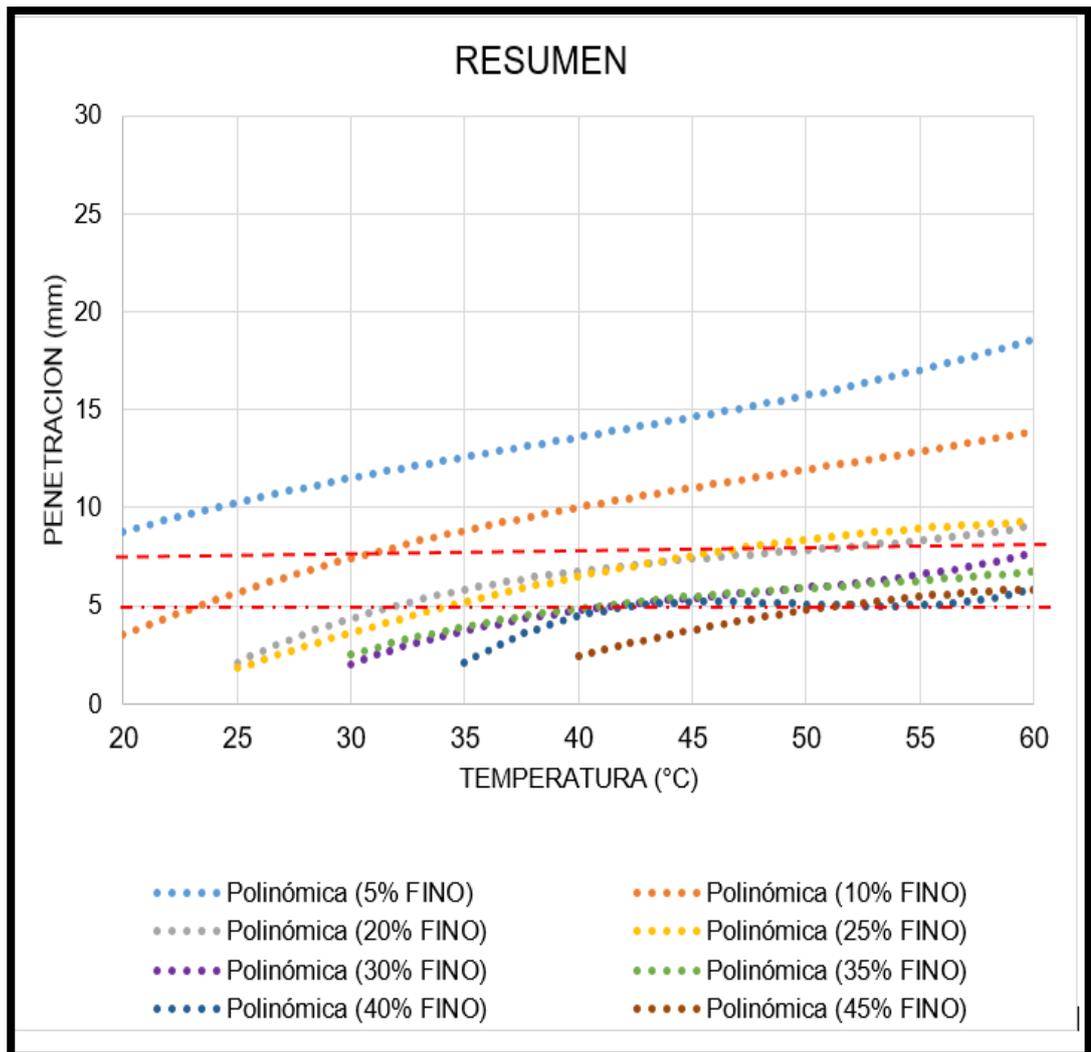


Figura 90: Resumen de los datos obtenidos.

CONCLUSIONES

- Según lo observado en las figuras 37, 46, 54, 62, 69, 76, 82 y 87 se aprecia que el incremento del % de agregados finos en la base granular afecta negativamente en la profundidad de penetración de la imprimación asfáltica. Se apreció que incrementos del 5% en la cantidad de agregados finos disminuye la penetración hasta casos que no exista la misma. Por lo tanto, se deduce que existe una relación inversamente proporcional, porque a mayor cantidad de agregados finos, menor es la penetración, demostrando que la existencia de finos es perjudicial para la imprimación con emulsiones asfálticas.
- Según lo observado en las tablas 13, 17, 21, 25, 29, 33, 37 y 41 se aprecia que el incremento de la temperatura al aplicar la emulsión asfáltica afecta positivamente en la profundidad de penetración de la imprimación asfáltica, porque se tuvieron penetraciones de imprimación desde los 0 mm hasta los 25.40 mm en variaciones de temperatura desde los 20°C hasta los 60°C respectivamente. Por lo tanto, se puede mencionar que existe una relación directamente proporcional.
- Como se aprecia en la tabla 45 podemos deducir que: al 5% de finos pasante la malla N°16 requiere una aplicación de temperatura mínima de 20°C o la temperatura ambiente para la ciudad de Huancayo. Al 10% de finos pasante malla N°16 requiere una aplicación de temperatura mínima de 23.67°C, al 20% de finos pasante malla N°16 requiere una aplicación de temperatura mínima de 29.02°C, al 25% de finos pasante malla N°16 requiere una aplicación de temperatura mínima de 34.95°C, al 30% de finos pasante malla N°16 requiere una aplicación de temperatura mínima de 33.67°C, al 35% de finos pasante la malla N°16 requiere una aplicación de temperatura mínima de 40.175°C, al 40% de finos pasante la malla N°16 requiere una aplicación de temperatura mínima de 43.64°C y al 45% de finos pasante malla N°16 finos requiere una aplicación de temperatura mínima de 50.87°C.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda analizar el porcentaje pasante de finos del material a emplear en base granular por el tamiz N 16, ya que en la investigación se muestra que con la pasante la malla en mención se obtiene buenos resultados tanto para la cantidad de material a emplear, así como la calidad de la imprimación como los obtenidos en la presente investigación.
- En tabla 45 se detallan las temperaturas mínimas que se deben de aplicar a la emulsión asfáltica catiónica CSS-1h para lograr las penetraciones mínimas a diferentes variaciones de finos y temperaturas. Por lo tanto, es recomendable trabajar con las temperaturas superiores a las indicadas en la tabla en mención para que se logre cumplir con la penetración mínima de 5mm estipulado en el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y comunicaciones y esto poder trasladarlo a la construcción de obras viales.
- Se recomienda aplicar el proceso de riego de imprimación en bases granulares secas, ya que los datos de penetración obtenidos fueron realizados sobre la misma a diferentes condiciones como fueron variación en porcentaje de finos y diferentes temperaturas. Por lo tanto, los resultados no serían los indicados si fuera otra la condición.
- Para todos los casos de porcentaje de finos tener mucha precaución en calentar la emulsión y no sobrepasar la temperatura de 60°C ya que esto afecta las propiedades de la emulsión asfáltica y ello es perjudicial en el proceso de imprimación en obras viales.
- Se recomienda realizar investigaciones adicionales respecto a otros factores que pueden influenciar en la penetración del imprimado, como son las condiciones de humedad de bases granulares, tipo de emulsión a emplear, nivel de altitud de aplicación del producto y diferentes climas del Perú.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Alvarez Calisto, Cristian F.** *Estudio experimental de la resistencia de la adherencia entre capas en la construcción de carpetas asfálticas en caliente.* Chile : Universidad de Chile facultad de ciencias físicas y matemáticas, 2007.
2. **Condor Alfaro, Jimy J.** *Tratamiento Superficial Bicapa con Emulsión Asfáltica de la Carretera Valle Yacus Provincia de Jauja - Región Junín 2015.* Jauja : Universidad Peruana los Andes, 2015.
3. **Cornejo Perez, Jose M.** *Análisis de la optimización del riego de liga en la colocación de carpeta asfáltica en caliente.* Salvador : Universidad de el Salvador, 2014.
4. **Fernandez Larrauri, Vladimir C.** *Reciclado en Frío de Pavimentos Flexibles, con el Uso de Emulsiones Asfálticas Catiónicas.* Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2012.
5. **Gerardo Botasso, y otros.** *Trituración De Aridos Naturales Rodados Y Su Uso En Mezclas Asfálticas Densas: Efeto En La Adherencia Arido Ligante.* Argentina : Lemac, 2012.
6. **Humpiri Pineda, Katia.** *Análisis superficial de pavimentos flexibles para el mantenimiento de vías de la Región de Puno.* Puno : Universidad Andina Néstor Cáceres Velasquez, 2015.
7. **Valderrama Mendoza, Santiago.** *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica.* Lima : San Marcos E.I.R.L, 2002.
8. **Mercado, Ronald; Bracho, Carlos y Avendaño, Carlos** *Emulsión asfáltica - Usos y Rompimiento.* Venezuela : Universidad de los Andes, 2008.
9. **Ministerio de Transportes y Comunicaciones.** *Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción.* Lima : s.n., 2013.
10. **Monografías.** *Monografías.com* [en línea], 2017. [Citado el: 5 de Enero de 2018.] <http://www.monografias.com/trabajos85/coeficiente-correlacion-karl-pearson/coeficiente-correlacion-karl-pearson.shtml>.

11. **Ontiveros Rojas, Leticia.** *Evaluación de la adherencia entre capas de pavimento empleando diferentes emulsiones asfálticas.* México : Universidad Nacional de México, 2013.
12. **Prefectura Guayas.** *Prefectura Guayas.* [En línea] Octubre de 2015. [Citado el: 20 de Octubre de 2018.] <http://www.guayas.gob.ec/noticias/doble-sello-asfaltico-de-va-el-deseo-el-chorron-entro-en-la-recta-final>.
13. **Reyes Ortiz, Oscar y Camacho Tauta, Javier.** *Influencia de la Granulometría en la resistencia al ahuellamiento de mezclas asfálticas.* Bogota : s.n., 2008.
14. **SlideShare.** SlideShare.net [En línea] 22 de noviembre de 2012. [Citado el: 15 de febrero de 2018.] <https://es.slideshare.net/nievesiita/pavimento-flexible-y-rigido>.
15. **Su, Kai. 2008.** *Analysis of shear stress in asphalt pavements under actual measured tire - pavement contact pressure.* Japas : Sapporo, 2008.
16. **Tamayo, Mario Tamayo.** *El Proceso de la Investigación Científica.* México : LIMUSA, 2003.
17. **Tan Malaga, Jorgue, Vera, Giovanni y Oliveros Ramos, Ricardo** *Tipos y estrategias de investigación científica.* s.l. : Morata, 2008.
18. **Villa Chaman, Victor.** *Reciclado In Situ en Frio de Pavimentos Empleando Emulsiones Asfálticas - Aplicacion Colegio FAP Manuel Polo Jimenez, Urb.San Gabino - Santiago de Surco.* Lima : Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2007.
19. **Yarango Serrano, Eduardo M.** *Rehabilitación de la carretera de acceso a la sociedad minera Cerro Verde (s.m.c.v) desde la progresiva Km 0+000 hasta el Km 1+900, empleando el sistema bitufor para reducir la reflexión de grietas y prolongar la vida útil del pavimento.* Lima : Universidad Ricardo Palma, 2014.

ANEXOS

Anexo 1: Panel Fotográfico



Foto 1: Obtención del material granular- Cantera Umuto.



Foto 2: Toma de muestras del material granular de Cantera.

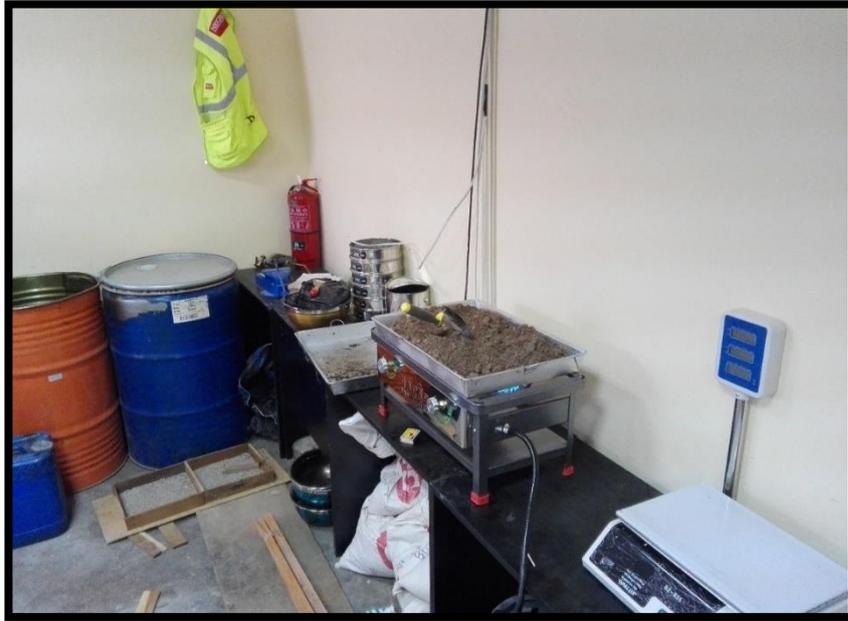


Foto 3: Secado de material obtenido de la cantera.



Foto 4: Uniformidad en el proceso de secado del material.



Foto 5: Construcción de moldes para la muestra.



Foto 6: Moldes cuadrados de 20cm*20cm*1" de altura.



Foto 7: Tamizado de material.

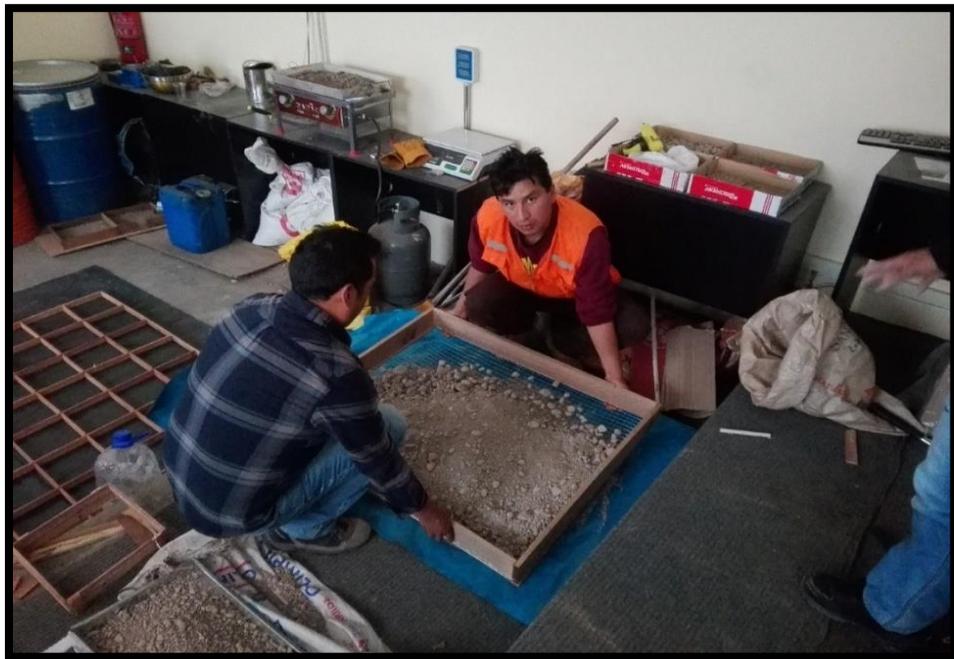


Foto 8: Tamizado del material por la malla $\frac{3}{4}$ ".



Foto 9: Material fino pasante la malla #16.

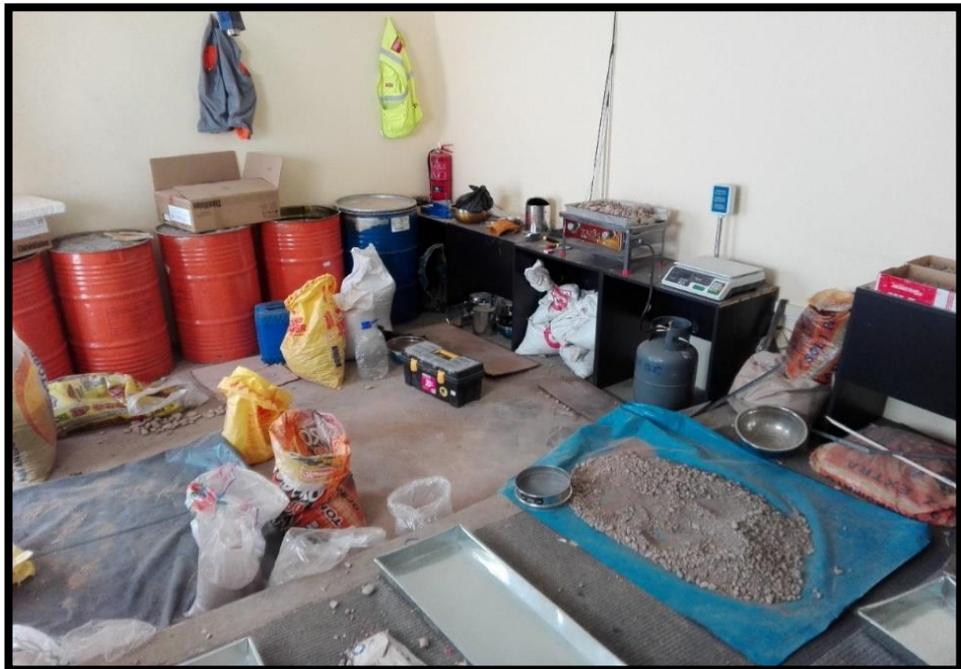


Foto 10: Material grueso retenido en la malla #16.



Foto 11: 56 moldes clasificados según variación de % de finos.



Foto 12: Peso del agregado grueso para la posterior mezcla.



Foto 13: Mezcla del agregado grueso y fino para 1 molde.



Foto 14: Mezclado del material en diferentes bandejas.



Foto 15: Compactado de la mezcla en los moldes cuadrados.



Foto 16: Compactación en los moldes con la barra.



Foto 17: Limpieza superficial de los moldes.



Foto 18: Moldes secos listos para aplicar la emulsión asfáltica.



Foto 19: Moldes enumerados según % de finos y temperaturas.



Foto 20: Preparación del molde para aplicar la emulsión asfáltica.

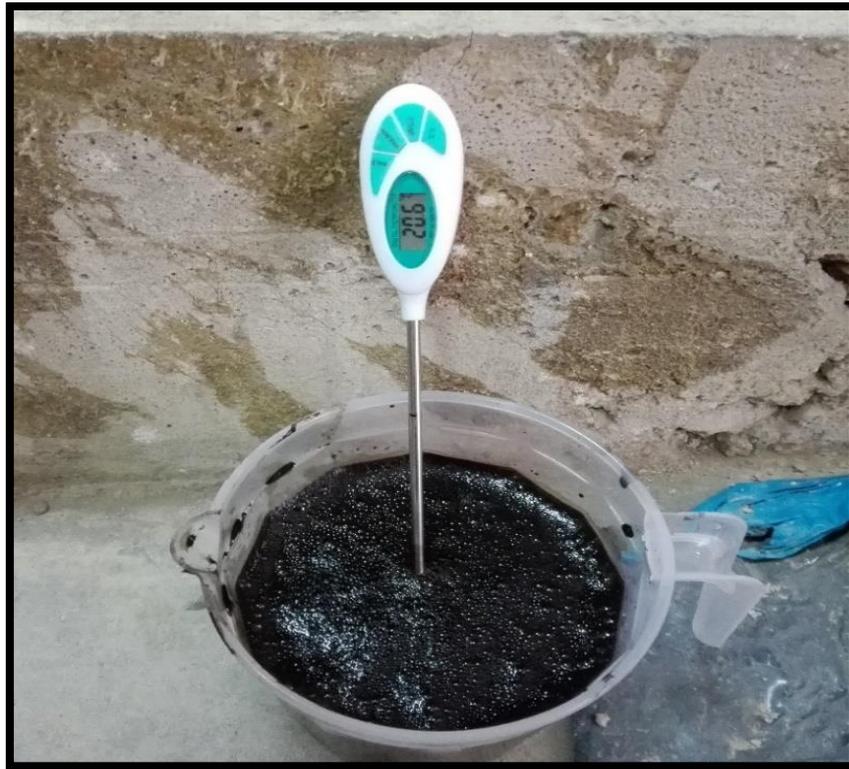


Foto 21: Temperatura de la emulsión asfáltica a 20°C



Foto 22: Aplicación de la emulsión asfáltica a 20°C.



Foto 23: Temperatura de la emulsión asfáltica a 25°C.



Foto 24: Aplicación de la emulsión asfáltica a 25°C sobre los moldes.



Foto 25: Temperatura de la emulsión asfáltica a 30°C.

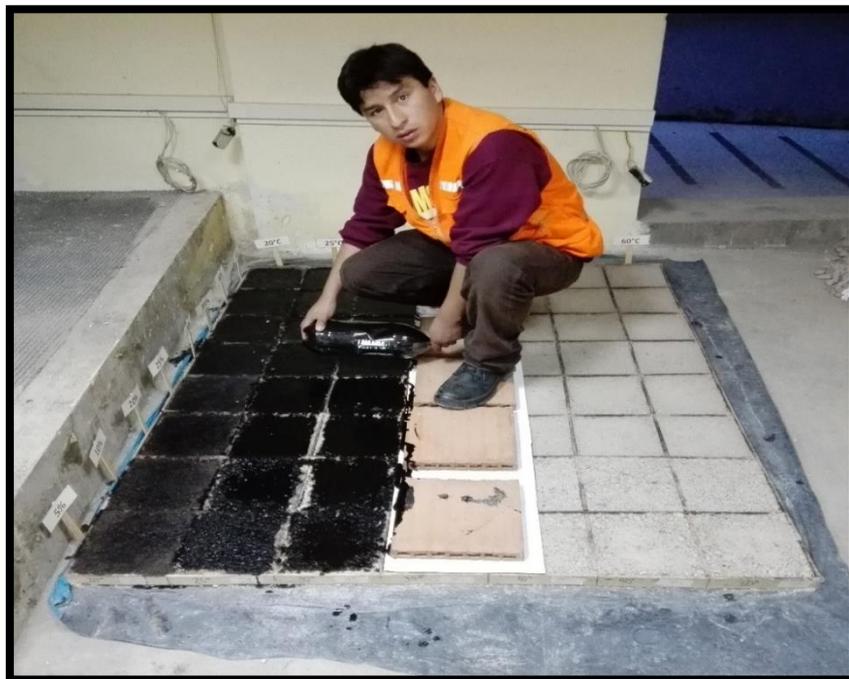


Foto 26: Aplicación de la emulsión asfáltica a 30°C.



Foto 27: Temperatura de la emulsión asfáltica a 35°C.



Foto 28: Aplicación de la emulsión asfáltica a 35°C.



Foto 29: Temperatura de la emulsión asfáltica a 40°C.



Foto 30: Aplicación de la emulsión asfáltica a 40°C.



Foto 31: Temperatura de la emulsión asfáltica a 50°C.



Foto 32: Aplicación de la emulsión asfáltica a 50°C.



Foto 33: Temperatura de la emulsión asfáltica a 60°C



Foto 34: Riego de imprimación asfáltica a los 56 moldes.

ANEXO 2: ESTUDIOS BÁSICOS

ANEXO 3: FICHA TÉCNICA DE LA EMULSIÓN