



Universidad
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Efecto de la temperatura de mezcla-compactación
y la distancia de transporte en las propiedades
mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente
en la región centro**

Evolym Jessenia Vargas Malpartida

Huancayo, 2019

Para optar el Título Profesional de
Ingeniera 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/)

ASESOR

Ing. Augusto Elías García Corzo

AGRADECIMIENTO

Este trabajo no hubiese sido posible sin el apoyo incondicional de todas y cada una de las personas que me acompañaron en el recorrido del mismo y muchas de las cuales son un soporte muy fuerte en todo momento, primero y antes que todo, dar gracias a Dios, por estar conmigo, por fortalecer mi corazón y brindarme paciencia en este transcurso y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a: A mis padres Vicente y Elizabeth quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por haber permanecido junto a mí recalando la importancia de la culminación de este trabajo, por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

LISTA DE CONTENIDO

ASESOR.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA.....	iv
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY	xv
INTRODUCCION	xvii

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema	19
1.1.1. Formulación del problema.....	20
1.2. Objetivos.....	21
1.2.1. Objetivo general	21
1.2.2. Objetivo específico	21
1.3. Justificación	21
1.3.1. Justificación práctica	21
1.3.2. Justificación metodológica	22
1.3.3. Justificación económica.....	23
1.3.4. Justificación ambiental	23
1.4. Hipótesis y descripción de variables.....	23
1.4.1. Hipótesis general	24
1.4.2. Hipótesis específicas.....	24

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes del problema	25
2.1.1. Antecedentes internacionales	25
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	29
2.2. Base teórica.....	32
2.2.1. Agregado Mineral.....	32
2.2.1.1. Clasificación de agregados.....	33
2.2.1.2. Agregados en mezclas asfálticas.....	34
2.2.1.3. Especificaciones técnicas	36
2.2.2. Asfalto	38
2.2.2.1. Cementos asfálticos.....	39
2.2.2.2. Composición Química del Asfalto.....	44
2.2.2.3. Temperatura de aplicación del material bituminoso	45
2.2.3. Mezclas Asfálticas	45
2.2.3.1. Definición.....	49
2.2.3.2. Clasificación de las Mezclas Asfálticas.....	50

2.2.3.3.	Evolución de mezclas asfálticas en caliente.	54
2.2.4.	Método Marshall para el Diseño de Mezclas - Astm D-1559	56
2.2.4.1.	Referencias Históricas.....	56
2.2.4.2.	Características de Mezcla.....	57
2.2.4.3.	Fundamento Teórico	59
2.2.4.4.	Objetivo.....	59
2.2.4.5.	Ensayo de Marshall.....	60
2.2.4.6.	Especificaciones Técnicas.....	62
2.2.4.7.	Pruebas a la mezcla asfáltica compactada.....	63
2.2.4.8.	Relaciones y observaciones de los resultados del ensayo.....	68
2.2.4.9.	Temperatura y nivel de energía de Compactación.....	69
2.2.5.	Gravedad específica de mezcla asfáltica	70
2.2.5.1.	Propiedades Volumétricas de Mezclas Compactadas.....	72
2.2.6.	Viscosidad-Temperatura del Asfalto	73
2.2.7.	Transporte de Mezcla Asfáltica en Caliente.....	76
2.2.7.1.	Equipo para transporte.	76
2.2.7.2.	Transporte y entrega de mezcla.	77

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1.	Métodos y alcance de la investigación	81
3.1.1.	Método Científico.....	81
3.1.2.	Tipos de Investigación.....	82
3.1.3.	Nivel de Investigación.....	82
3.2.	Diseño de investigación	83
3.2.1.	Diseño general	83
3.2.2.	Diseño específico.....	83
3.3.	Población y muestra.....	83
3.3.1.	Población	83
3.3.2.	Muestra	84
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	85
3.4.1.	Instrumentos de recolección de datos.....	85
3.4.2.	Técnica de recolección de datos	85
3.5.	Procedimiento de la metodología	86
3.5.1.	Análisis de agregado de la cantera Matahuasi.....	86
3.5.1.1.	Arena Chancada	86
3.5.1.2.	Arena Zarandada	89
3.5.1.3.	Piedra Chancada de ½”	91
3.5.1.4.	Piedra Chancada de ¾”	93
3.5.2.	Mezcla Asfáltica optima.....	95
3.5.2.1.	Mezcla de agregados – MAC 2.....	95
3.5.2.2.	Mezcla Agregado - Asfalto.....	99

3.5.2.3. Mezcla Asfáltica con 5% de Asfalto.....	103
--	-----

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. % óptimo de asfalto	105
4.2. Análisis de la temperatura de compactación.....	110
4.2.1. Temperatura de compactación a 160°C.....	110
4.2.2. Temperatura de compactación a 150°C.....	113
4.2.3. Temperatura de compactación a 140°C.....	115
4.2.4. Temperatura de compactación a 130°C.....	117
4.2.5. Temperatura de compactación a 120°C.....	119
4.2.6. Temperatura de compactación a 110°C.....	121
4.2.7. Temperatura de compactación a 100°C.....	123
4.2.8. Temperatura de compactación a 90°C.....	125
4.2.9. Temperatura de compactación a 80°C.....	127
4.2.10. Temperatura de compactación a 70°C.....	129
4.2.11. Temperatura de compactación a 60°C.....	131
4.2.12. Análisis de las propiedades.....	133
4.2.12.1. Estabilidad.....	134
4.2.12.2. Fluencia o deformación.....	144
4.2.12.3. % de vacíos de aire.....	155
4.2.12.4. Peso bulk de la briqueta	165
4.2.13. Análisis de distancia de transporte	174
4.3. Discusión de Resultados	180
CONCLUSIÓN	186
RECOMENDACIÓN	188
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	189
ANEXOS.....	191

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones técnicas	23
Tabla 2. Especificaciones técnicas para el agregado grueso en mezclas asfálticas.....	36
Tabla 3. Especificaciones técnicas para el agregado fino en mezclas asfálticas.	37
Tabla 4. Gradación para mezclas asfálticas en caliente (MAC).....	38
Tabla 5. Elección del tipo de asfalto	39
Tabla 6. Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración.	40
Tabla 7. Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por viscosidad	41
Tabla 8. Clasificación de Ligantes Asfálticos de acuerdo con Performance Grade (PG)	42
Tabla 9. Clasificación de Ligantes Asfálticos de acuerdo con Performance Grade (PG) (continuación).....	43
Tabla 10. Rangos de temperatura de aplicación.	45
Tabla 11. Especificaciones de gradación para combinación de agregados - MAC.....	62
Tabla 12. Requisitos para mezcla de concreto bituminoso	63
Tabla 13. Diseño de investigación.....	83
Tabla 14. Obtención del % óptimo de asfalto	84
Tabla 15. Muestras según temperatura de compactación.	84
Tabla 16. Granulometría de la Arena Chancada.	87
Tabla 17. Ensayo de gravedad específica y absorción de la Arena Chancada.	88
Tabla 18. Promedio de resultados de gravedad específica y absorción para la Arena Chancada	88
Tabla 19. Granulometría de la Arena Zarandeada	89
Tabla 20. Ensayo de gravedad específica y absorción de la Arena Zarandeada.....	90
Tabla 21. Promedio de resultados de gravedad específica y absorción para la Arena Zarandeada.....	91
Tabla 22. Granulometría de la Piedra Chancada de ½”	91
Tabla 23. Ensayo de gravedad específica y absorción de la Piedra Chancada ½”.....	93
Tabla 24. Promedio de resultados de gravedad específica y absorción para la Piedra Chancada de ½”.....	93
Tabla 25. Granulometría de la Piedra Chancada de ¾”	94
Tabla 26. Ensayo de gravedad específica y absorción de la Piedra Chancada ¾”.....	95
Tabla 27. Promedio de resultados de gravedad específica y absorción para la Piedra Chancada de ¾”.....	95
Tabla 28. Mezcla de agregados.....	97
Tabla 29. Dosificación para 1 briqueta de asfalto.....	98
Tabla 30. Datos para analizar el % óptimo de Asfalto	106
Tabla 31. Promedio de datos hallados.....	110
Tabla 32. Datos a 160°C de temperatura de compactación.....	111
Tabla 33. Promedio de datos hallados para la temperatura de compactación de 160°C.....	112
Tabla 34. Datos a 150°C de temperatura de compactación.....	113
Tabla 35. Promedio de datos hallados para la temperatura de compactación de 150°C.....	115
Tabla 36. Datos a 140°C de temperatura de compactación.....	115
Tabla 37. Promedio de datos hallados para la temperatura de compactación de 140°C.....	117
Tabla 38. Datos a 130°C de temperatura de compactación.....	117
Tabla 39. Promedio de datos hallados para la temperatura de compactación de 130°C.....	119
Tabla 40. Datos a 120°C de temperatura de compactación.....	119
Tabla 41. Promedio de datos hallados para la temperatura de compactación de 120°C.....	121

Tabla 42. Datos a 110°C de temperatura de compactación.....	122
Tabla 43. Promedio de datos hallados para la temperatura de compactación de 110°C.....	123
Tabla 44. Datos a 100°C de temperatura de compactación.....	123
Tabla 45. Promedio de datos hallados para la temperatura de compactación de 100°C.....	125
Tabla 46. Datos a 90°C de temperatura de compactación.....	125
Tabla 47. Promedio de datos hallados para la temperatura de compactación de 100°C.....	127
Tabla 48. Datos a 80°C de temperatura de compactación.....	127
Tabla 49. Promedio de datos hallados para la temperatura de compactación de 80°C.....	129
Tabla 50. Datos a 70°C de temperatura de compactación.....	129
Tabla 51. Promedio de datos hallados para la temperatura de compactación de 70°C.....	131
Tabla 52. Datos a 60°C de temperatura de compactación.....	131
Tabla 53. Promedio de datos hallados para la temperatura de compactación de 60°C.....	133
Tabla 54. Análisis descriptivo de la estabilidad por temperatura de compactación.....	134
Tabla 55. Prueba de normalidad para la estabilidad de la mezcla asfáltica.....	136
Tabla 56. Correlación de Spearman para datos de estabilidad de la mezcla asfáltica.....	143
Tabla 57. Análisis descriptivo de la fluencia por temperatura de compactación.....	145
Tabla 58. Prueba de normalidad para la fluencia de la mezcla asfáltica.....	146
Tabla 59. Correlación de Spearman para datos de fluencia de la mezcla asfáltica.....	154
Tabla 60. Análisis descriptivo de % de vacíos de aire por temperatura de compactación.....	155
Tabla 61. Prueba de normalidad para % de vacíos de aire de la mezcla asfáltica.....	157
Tabla 62. Correlación de Pearson para datos de % de vacíos de aire de la mezcla asfáltica.....	164
Tabla 63. Análisis descriptivo del peso específico bulk por temperatura de compactación.....	165
Tabla 64. Prueba de normalidad para el peso específico bulk de la mezcla asfáltica.....	166
Tabla 65. Correlación de Spearman para datos de peso específico bulk de la mezcla asfáltica.....	173
Tabla 66: Análisis de distancia de transporte a una velocidad de 5km/h.....	175
Tabla 67: Análisis de distancia de transporte a una velocidad de 10km/h.....	175
Tabla 68: Análisis de distancia de transporte a una velocidad de 15km/h.....	176
Tabla 69: Análisis de distancia de transporte a una velocidad de 20km/h.....	176
Tabla 70: Análisis de distancia de transporte a una velocidad de 25km/h.....	176
Tabla 71: Análisis de distancia de transporte a una velocidad de 30km/h.....	177
Tabla 72: Análisis de distancia de transporte a una velocidad de 35km/h.....	177
Tabla 73: Análisis de distancia de transporte a una velocidad de 40km/h.....	177
Tabla 74: Análisis de distancia de transporte a una velocidad de 45km/h.....	178
Tabla 75: Análisis de distancia de transporte a una velocidad de 50km/h.....	178
Tabla 76: Análisis de distancia de transporte a una velocidad de 55km/h.....	179
Tabla 77: Análisis de distancia de transporte a una velocidad de 60km/h.....	179
Tabla 78. Cuadro resumen a todas las temperaturas y la influencia en las propiedades mezcla asfáltica.....	180
Tabla 79. Cuadro resumen de viscosidad.....	183

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Rangos de temperatura para producción de mezclas asfálticas.....	46
Figura 2. Extensión y compactación de base de alto módulo, Calle 80 con Avenida 68 – Transmilenio (Colombia).....	47
Figura 3. Cantidad de asfalto en diferentes tiempos y diferentes temperaturas.	49
Figura 4. Estabilidad Marshall.....	61
Figura 5. Longitud de la corrida de testigos.....	68
Figura 6. Briquetas de Marshall.	85
Figura 7. Curva granulométrica de la Arena chancada.....	87
Figura 8. Curva granulométrica de la Arena Zarandeada.	90
Figura 9. Curva granulométrica de la Piedra Chancada de ½”.....	92
Figura 10. Curva granulométrica de la Piedra Chancada de ¾”.....	94
Figura 11. Combinación de agregados.....	96
Figura 12. Curva granulométrica de mezcla de agregados.	97
Figura 13. Peso para 6% de asfalto.....	99
Figura 14. Echado de asfalto al agregado.....	100
Figura 15: Agregado con asfalto previa combinación.....	100
Figura 16. Mezcla de agregado y asfalto.....	101
Figura 17. Echado del material combinado en la briqueta de 4”.	101
Figura 18. Compactación por Método Marshall.....	102
Figura 19. Equipo desmoldador.	102
Figura 20. Prensa de Marshall.....	103
Figura 21. Compactación a 160°C.....	103
Figura 22. Temperatura de compactación a 110°C.....	104
Figura 23. Temperatura de compactación a 100°C.....	104
Figura 24. Estabilidad vs % de Asfalto para determinar el óptimo porcentaje de asfalto... ..	106
Figura 25. Flujo vs % de Asfalto para determinar el porcentaje óptimo de asfalto.	107
Figura 26. VMA vs % de Asfalto para determinar el óptimo porcentaje de asfalto.	108
Figura 27. Vacíos vs % de Asfalto para determinar el óptimo porcentaje de asfalto.	108
Figura 28. Peso Unitario vs % de Asfalto para determinar el óptimo porcentaje de asfalto.	109
Figura 29. Vacíos Llenos de Asfalto vs % de Asfalto para determinar el óptimo porcentaje de asfalto.....	109
Figura 30. Curva de normalidad de datos para temperatura de compactación a 60°C.	137
Figura 31. Curva de normalidad de datos para temperatura de compactación a 70°C.	138
Figura 32. Curva de normalidad de datos para temperatura de compactación a 80°C.	138
Figura 33. Curva de normalidad de datos para temperatura de compactación a 90°C.	139
Figura 34. Curva de normalidad de datos para temperatura de compactación a 100°C.	139
Figura 35. Curva de normalidad de datos para temperatura de compactación a 110°C.	140
Figura 36. Curva de normalidad de datos para temperatura de compactación a 120°C.	140
Figura 37. Curva de normalidad de datos para temperatura de compactación a 130°C.	141
Figura 38. Curva de normalidad de datos para temperatura de compactación a 140°C.	141
Figura 39. Curva de normalidad de datos para temperatura de compactación a 150°C.	142
Figura 40. Curva de normalidad de datos para temperatura de compactación a 160°C.	142
Figura 41. Estabilidad vs Temperatura de compactación.....	144
Figura 42. Curva de normalidad de datos de fluencia para temperatura de compactación a 60°C.....	148

Figura 43. Curva de normalidad de datos de fluencia para temperatura de compactación a 70°C.....	148
Figura 44. Curva de normalidad de datos de fluencia para temperatura de compactación a 80°C.....	149
Figura 45. Curva de normalidad de datos de fluencia para temperatura de compactación a 90°C.....	149
Figura 46. Curva de normalidad de datos de fluencia para temperatura de compactación a 100°C.....	150
Figura 47. Curva de normalidad de datos de fluencia para temperatura de compactación a 110°C.....	150
Figura 48. Curva de normalidad de datos de fluencia para temperatura de compactación a 120°C.....	151
Figura 49. Curva de normalidad de datos de fluencia para temperatura de compactación a 130°C.....	151
Figura 50. Curva de normalidad de datos de fluencia para temperatura de compactación a 140°C.....	152
Figura 51. Curva de normalidad de datos de fluencia para temperatura de compactación a 150°C.....	152
Figura 52. Curva de normalidad de datos para temperatura de compactación a 160°C.	153
Figura 53. Fluencia vs Temperatura de compactación	154
Figura 54. Curva de normalidad de datos de vacíos de aire para temperatura de compactación a 60°C.....	158
Figura 55. Curva de normalidad de datos de vacíos de aire para temperatura de compactación a 70°C.....	158
Figura 56: Curva de normalidad de datos de vacíos de aire para temperatura de compactación a 80°C.....	159
Figura 57. Curva de normalidad de datos de vacíos de aire para temperatura de compactación a 90°C.....	159
Figura 58. Curva de normalidad de datos vacíos de aire para temperatura de compactación a 100°C.....	160
Figura 59. Curva de normalidad de datos de vacíos de aire para temperatura de compactación a 110°C.....	160
Figura 60. Curva de normalidad de datos de vacíos de aire para temperatura de compactación a 120°C.....	161
Figura 61. Curva de normalidad de datos de vacíos de aire para temperatura de compactación a 130°C.....	161
Figura 62. Curva de normalidad de datos de vacíos de aire para temperatura de compactación a 140°C.....	162
Figura 63. Curva de normalidad de datos de vacíos de aire para temperatura de compactación a 150°C.....	162
Figura 64. Curva de normalidad de datos de vacíos de aire para temperatura de compactación a 160°C.....	163
Figura 65. % de vacíos de aire vs Temperatura de compactación.....	164
Figura 66. Curva de normalidad de datos de peso específico bulk para temperatura de compactación a 60°C.....	167
Figura 67. Curva de normalidad de datos de peso específico bulk para temperatura de compactación a 70°C.....	168
Figura 68. Curva de normalidad de datos de peso específico bulk para temperatura de compactación a 80°C.....	168
Figura 69. Curva de normalidad de datos de peso específico bulk para temperatura de	

compactación a 90°C.....	169
Figura 70. Curva de normalidad de datos de peso específico bulk para temperatura de compactación a 100°C.....	169
Figura 71. Curva de normalidad de datos de peso específico bulk para temperatura de compactación a 110°C.....	170
Figura 72. Curva de normalidad de datos de peso específico bulk para temperatura de compactación a 120°C.....	170
Figura 73. Curva de normalidad de datos de peso específico bulk para temperatura de compactación a 130°C.....	171
Figura 74. Curva de normalidad de datos de peso específico bulk para temperatura de compactación a 140°C.....	171
Figura 75. Curva de normalidad de datos de peso específico bulk para temperatura de compactación a 150°C.....	172
Figura 76. Curva de normalidad de datos de peso específico bulk para temperatura de compactación a 160°C.....	172
Figura 77. Peso específico bulk vs Temperatura de compactación.....	174
Figura 78. Medición de tiempo de enfriamiento hasta 140°C.....	179
Figura 79. Estabilidad vs Temperatura de compactación.....	181
Figura 80. Fluencia vs Temperatura de compactación.....	181
Figura 81. % de vacíos de aire vs Temperatura de compactación.....	182
Figura 82. Peso específico bulk vs Temperatura de compactación.....	182
Figura 83. Grafica resumen de velocidad y distancia máxima de transporte a 140° C de compactación.....	183
Figura 84. Viscosidad vs Temperatura.....	185

RESUMEN

La mezcla asfáltica en caliente es una de las más utilizadas por sus características físicas y durabilidad, superior a otro tipo de mezclas como mezclas asfálticas en frío o tratamiento superficial, por lo cual es recomendable para vías con tráficos mayores a 1'000,000 de ejes equivalentes como indica el Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Sin embargo, es necesario realizar todos los controles de calidad y procesos de construcción de forma adecuada, pues no tomar en cuenta las recomendaciones dadas por el MTC en cada una de las etapas, puede perjudicar la calidad de la mezcla final.

El control y monitoreo de la temperatura de mezclado y de compactación de la mezcla asfáltica, es muy importante en este proceso, pues trabajarlos con temperaturas diferentes a las recomendadas por el MTC puede generar problemas en la trabajabilidad y las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica.

La presente investigación titulada: **“EFECTO DE LA TEMPERATURA DE MEZCLA - COMPACTACIÓN Y LA DISTANCIA DE TRANSPORTE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EN LA REGIÓN CENTRO”**, se enfoca en determinar la influencia de la temperatura de mezcla y compactación en las propiedades de la mezcla asfáltica, dichas propiedades son la estabilidad, fluencia o deformación, % de vacíos de aire y el peso específico bulk de la mezcla asfáltica, además de analizar su distancia de influencia de transporte a partir de los límites encontrados en la investigación.

Para poder alcanzar el objetivo en primera instancia se analizó el material de Matahuasi (cantera de agregados), determinando así las características naturales que presenta el material. Luego se realizó el ensayo de Marshall, este método se aplicó con el fin de determinar el % óptimo de asfalto a emplear, para luego trabajar las 130 briquetas de asfalto con el % óptimo de asfalto.

Después analizadas las briquetas realizadas se llegó a determinar una temperatura mínima de compactación de 138.5°C alcanzando una estabilidad de 1318.86 kgf, flujo de 3.52mm, % de vacíos de 5, peso específico bulk de 2.864 gr/c.c así obteniendo una distancia que varían respecto a la velocidad de transporte considerando que para 5 km/h se alcanza una distancia de 2 Km y para una velocidad de 60 Km/h una distancia de 23.7 Km.

SUMMARY

Asphalt hot mix is one of the most used for its physical characteristics and durability, a better type of mixtures such as cold asphalt mixtures or surface treatment, so it is recommended for traffic with more than 1,000,000 equivalent axes As indicated by the Ministry of Transport and Communications. However, it is necessary to carry out all the quality controls and construction processes in an appropriate manner, as well as not to take into account the recommendations given by the MTC in each of the stages.

The control and monitoring of the mixing temperature and the compaction of the asphalt mix is very important in this process, since the different temperatures are used to recommend the MTC.

The present investigation entitled: "**EFFECT OF THE MIXING TEMPERATURE - COMPACTION AND THE DISTANCE OF TRANSPORT IN THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE HOT ASPHALT MIXTURE IN THE CENTRAL REGION**", is in the view of properties of the asphaltic mixture, said properties they are the stability, the creep or the deformation, the specific vacuum and the specific weight of the asphalt mixture, in addition to the distance of the influence of the transport from the limits of the investigation.

In order to reach the objective in the first instance, the Matahuasi material (quarry of aggregates) was analyzed, thus determining the natural characteristics that the material presents. Then Marshall's trial was published, this method was applied in order to determine the optimum optimum of asphalt and asphalt briquettes with the optimum of asphalt.

After having analyzed the briquettes, a minimum compaction temperature of 138.5 ° C was reached and a stability of 1318.86 kgf, flow of 3.52 mm,% of voids of 5, specific gravity greater than 2,864 gr / cc was achieved. Regarding the speed of transport, which for 5 km / h reaches a distance of 2 km and for a speed of 60 km / h, a distance of 23.7 km.

INTRODUCCION

La práctica actual del diseño de mezclas asfálticas deja ver la importancia de lograr propiedades mecánicas adecuadas en la carpeta asfáltica, ya que de esto depende en gran medida el desempeño de la superficie de rodamiento en su vida de servicio. De ahí, la trascendencia de simular de manera adecuada en el laboratorio la densificación que ocurre en campo y de esta forma llegar a fórmulas de trabajo que permitan dosificar mezclas que exhiban un mejor comportamiento en condiciones específicas de tránsito y clima.

En este trabajo de investigación se presenta el estudio del efecto de la temperatura de mezcla – compactación en las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica en caliente y la distancia de transporte ideal para el transporte de esta. Se representa diferentes niveles de temperatura del asfalto utilizando el Método Marshall. El método Marshall es un experimento de laboratorio dirigido al diseño de una adecuada mezcla asfáltica por medio del análisis de su estabilidad, fluencia, densidad y vacíos. Este análisis garantiza que las importantes proporciones volumétricas de los componentes de la mezcla estén dentro de rangos adecuados para asegurar una mezcla durable. Así mismo, se estimará tiempos de transporte de mezcla, controlando la temperatura durante el traslado, la misma que no deberá ser mayor que la temperatura de aplicación, determinada en laboratorio, según carta de Viscosidad - Temperatura, de manera que no se produzca el envejecimiento del asfalto por sobrecalentamiento antes de ser aplicado.

A través del desarrollo del siguiente trabajo se busca determinar estándares para evitar la alteración de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en la preparación de estas para su compactación, considerando la temperatura de mezcla, factores climatológicos y distancia de transporte.

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.

Capitulo 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.

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

Capitulo IV: trata sobre los resultados obtenidos, así como el análisis de estos.

Conclusiones y recomendaciones.

La Tesista

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

Según el informe anual del MTC, la Red vial del Perú está conformada en su mayoría por pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Esta red tiene como función brindar un Servicio de calidad a los usuarios, la cual se garantiza con una superficie de rodadura **durable** y de buena calidad.

Para que los Pavimentos sean **durables** es necesario garantizar la calidad en todas las etapas, desde el diseño, durante la construcción y mantenimiento en su vida útil.

Respecto al Proceso constructivo, se debe realizar según las especificaciones técnicas y con buenos controles de calidad, tanto en los procedimientos como en los

materiales; la carpeta asfáltica, principal elemento resistente pavimento, tiene como uno de sus componentes principales el **asfalto**.

El Asfalto es un material termoplástico, pues sus propiedades cambian dependiendo de la temperatura, es así como cuando se habla de mezclas asfálticas en caliente, el Control de temperaturas al momento de la mezcla y la compactación puede tener influencia en las propiedades mecánicas del producto final.

En la Región Centro se visualizan en distintas vías deterioros prematuros que podrían ser consecuencia de un mal control de la temperatura de compactación u otros factores, esto genera incomodidad y molestias a los usuarios ya que en muchos casos produce retrasos en el tiempo de viaje y perjuicios a los vehículos.

En tal sentido la investigación de las temperaturas de mezcla y compactación y su efecto podría dar información sobre la calidad de la mezcla y estandarización de procedimientos que aseguren vías más durables y de mejor calidad.

1.1.1. Formulación del problema

Problema principal

¿Cuál es el efecto de la temperatura de la compactación de la mezcla, en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente y las distancias de transporte límite en la región centro?

Problemas específicos

- a) ¿Qué efecto tiene la temperatura de compactación en la estabilidad y fluencia de mezclas asfálticas en caliente en la región centro?
- b) ¿De qué manera afecta la temperatura de compactación en la densidad de

las mezclas asfálticas en caliente en la región centro?

- c) ¿En qué medida afecta la temperatura de compactación en la distancia de transporte límite de mezclas asfálticas en caliente en la región centro?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar el efecto de la temperatura de la compactación de la mezcla, en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente y las distancias de transporte límite en la región centro.

1.2.2. Objetivo específico

- a) Determinar el efecto de la temperatura de compactación en la estabilidad y fluencia de mezclas asfálticas en caliente en la región centro.
- b) Determinar el efecto de la temperatura de compactación en la densidad de las mezclas asfálticas en caliente en la región centro.
- c) Determinar el efecto de la temperatura de compactación en la distancia de transporte límite de mezclas asfálticas en caliente en la región centro.

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación práctica

Este proyecto se realiza para determinar la influencia de la temperatura de mezcla - compactación en las propiedades mecánicas y la distancia de transporte ideal de este. La caracterización anteriormente mencionada se lleva a cabo a través de la comparación de los resultados de los ensayos de laboratorio

con los parámetros reglamentarios establecidos por el MTC para mezclas asfálticas preparadas en caliente. Esta investigación adquiere importancia y su realización se justifica en el hallazgo de determinar los efectos de la temperatura de la mezcla sobre las propiedades mecánicas como: densidad, estabilidad, fluidez y % de vacíos. Y la distancia límite de transporte de la mezcla.

1.3.2. Justificación metodológica

Este proyecto de tesis busca ser un aporte para la Provincia, ya que los agregados utilizados en la elaboración de mezclas asfálticas serán obtenidos de una cantera local. Al emplear materiales pétreos de la zona y realizar un diseño de mezcla asfáltica en caliente (MAC), se dará una nueva alternativa de dosificación para la fabricación de mezclas que permita conseguir un desempeño adecuado en la superficie de rodamiento y a lo largo de su vida de servicio.

Para cumplir los objetivos de la presente investigación, se emplean equipos e instrumentos del ensayo de Marshall para medir la variable independiente (temperatura de compactación de la mezcla asfáltica) y su efecto en la variable dependiente (propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica y la distancia de transporte). Los instrumentos aplicados evalúan la estabilidad, fluencia y % de vacíos de las briquetas por cada temperatura, buscando que cumplan con las indicaciones de las especificaciones técnicas (Ver tabla N°1) planteadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Tabla 1.
Especificaciones técnicas

ITEM	DESCRIPCION	UND.	ESPECIFICACIONES
1	Vacíos con aire (MTC E 505)	%	2 - 5
2	Flujo	mm	2 - 4
3	Estabilidad corregida	kg	MIN. 831.07

1.3.3. Justificación económica

En el aspecto económico, se pretende solucionar el problema de la temperatura de la imprimación asfáltica sobre la base granular, 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, con ello se ahorrarían tiempos y costos en este proceso constructivo. Así mismo, cabe resaltar que se determina la distancia de transporte de la planta de asfalto al punto de compactación, para que la temperatura de compactación sea adecuada y las propiedades mecánicas cumplan con las especificaciones técnicas.

1.3.4. Justificación ambiental

En el tema ambiental podemos mencionar que con el empleo de Asfalto CAP-PEN 85-100, cumplimos con las especificaciones técnicas determinadas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (Ver tabla N° 5, 6,7 y 8 en bases teóricas) de en cuanto a no emplear productos dañinos para el medio ambiente.

1.4. Hipótesis y descripción de variables

1.4.1. Hipótesis general

La temperatura de compactación menor a 150 ° C influye en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente y las distancias de transporte límite en la región centro.

1.4.2. Hipótesis específicas

- a) La temperatura de compactación debajo del valor 150°C reduce los valores de estabilidad y fluencia de mezclas asfálticas en caliente en la región centro.
- b) La temperatura de compactación debajo del valor 150°C reduce la densidad de las mezclas asfálticas en caliente en la región centro.
- c) Existe una temperatura mínima de compactación que asegure mantener parámetros aceptables, y así establecer distancias de transporte límite de mezclas asfálticas en caliente en la región centro.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes del problema

Existen estudios previos respecto al tema de las mezclas asfálticas y su relación en la temperatura con relación a otras localidades, en los que encontramos:

2.1.1. Antecedentes internacionales

(MARTÍNEZ HERNÁNDEZ) *“Comportamiento de las Mezclas Asfálticas a Diferentes Niveles de Compactación”*, Presentado en la Universidad Nacional Autónoma De México, para obtener el título de Ingeniero Civil.

El principal objetivo consistió en caracterizar el comportamiento de las mezclas asfálticas a diferentes niveles de compactación, tomando como referencia el peso volumétrico obtenido en el diseño, un valor mínimo aceptado

por la SCT y un valor intermedio. En la determinación del diseño se estudió la influencia del método de compactación en la determinación del contenido de asfalto óptimo (métodos Marshall y Superpave) para un volumen de tránsito medio, la influencia del contenido de asfalto y energía de compactación en los parámetros volumétricos; así también, se realizaron pruebas de fatiga, deformación permanente, tensión indirecta y susceptibilidad a la humedad en las mezclas asfálticas compactadas.

Una disminución pequeña (5%), en el nivel de compactación de una mezcla, provoca un aumento de poco más del doble de vacíos de aire en la mezcla compacta, modificando así los demás parámetros volumétricos considerados en el diseño, con lo que aumenta la permeabilidad en la mezcla compactada. El nivel de compactación es la principal variable que influye en el comportamiento; mezclas con menor compactación disminuyen su desempeño de manera considerable.

(CHIQUITO SALCEDO Y TORRES BORBOR, 2015) *“Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente Empleando Agregados de la Cantera San Vicente De Colonche y del Río San Rafael de La Provincia de Santa Elena Utilizando el Método Marshall.”*, Presentado en la Universidad Nacional Autónoma de México, Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Civil.

Es de gran apoyo ya que fue realizado con el fin de obtener un diseño de mezcla asfáltica en caliente empleando el método Marshall haciendo uso de los agregados pétreos locales. Se realizaron mezclas de pruebas con diferentes porcentajes de cemento asfáltico, para determinar el Porcentaje Óptimo de Asfalto empleando el Método del Instituto del Asfalto y obteniendo como

resultado 6,6% de cemento óptimo de asfalto. De acuerdo con los resultados obtenidos, se logró determinar que los parámetros como son la estabilidad y flujo cumplen con lo estipulado por la Norma Ecuatoriana Vial, para un diseño de mezcla asfáltica en caliente bajo la metodología Marshall. La Temperatura juega un papel muy importante en el proceso de compactación de mezclas, puesto a esto el diseño fue realizado a temperaturas de alrededor de 125°C, lo que evita tener un elevado porcentaje de vacíos.

(FLORES SIGÜENZA Y VÁSQUEZ FLORES, 2017) “*Relación de las Propiedades Marshall de Estabilidad y Flujo de una Mezcla Asfáltica en Caliente, Durante su Colocación y Posterior a la Misma*”, Presentado en la Universidad de Cuenca, tesis previa a la obtención del título de magíster en vialidad y transportes.

Se plantea el presente trabajo de investigación para establecer una relación de las propiedades Marshall (estabilidad y flujo) de una mezcla asfáltica en caliente durante su colocación y posterior a la misma, que permita obtener parámetros referenciales para determinar la calidad de la mezcla mediante la extracción de núcleos y por ende su valoración.

La estabilidad encontrada en las muestras obtenidas mediante la extracción de núcleos presenta un incremento con relación a lo obtenido en briquetas confeccionadas en campo durante el tendido, y se halla en todo momento por sobre el mínimo de 1800 lb establecido en la normativa para esta mezcla, por lo que, al no existir una restricción superior de este parámetro, los ensayos realizados en núcleos extraídos para determinar la estabilidad pueden como adecuados para definir la aceptación de una mezcla asfáltica. El flujo

encontrado en las muestras obtenidas mediante la extracción de núcleos presenta un incremento con relación a las briquetas confeccionadas en campo durante el tendido, con valores superiores a los establecidos para la aceptación de la mezcla asfáltica (8 – 14); sin embargo, esta condición no implica que la mezcla no sea aceptable, pues se partió de la premisa que la calidad de la misma cumple con las especificaciones correspondientes, situación que fue verificada previo a la extracción de núcleos.

(PÉREZ CAMPOVERDE, 2015) “*Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente Utilizando el Método Marshall y Análisis Comparativo de las Propiedades Físicas y Mecánicas Con Cemento Asfáltico Nacional (Ecuador) e Importado (Perú)*”, presentado en la Universidad de Guayaquil, para obtención del título de Ingeniero Civil.

Del comportamiento de los dos cementos asfálticos en las mezclas, nos podemos dar cuenta que el porcentaje óptimo que cumple con los requerimientos físicos mecánicos de las normas del MTOP son del porcentaje del 5,5 % para los dos cementos asfálticos. Lo que también nos indica que el asfalto nacional cumple con todas las normas requeridas para la elaboración de mezcla asfáltica. No, si antes deducir que el cemento asfáltico peruano es de mayor calidad y tiene mayor estabilidad y de flujo óptimo y recomendado.

La mezcla asfáltica debe de llegar a la obra a una temperatura mínima de 120°C y ser colocado, lo que si no caso contrario el asfalto tiende a un riesgo que la superficie al ser compactada sufra de porosidad y esto hace que el asfalto se oxide o se desgaste prematuramente.

(Alvarez Calisto, 2007) “*Estudio Experimental de la Resistencia de la*

Adherencia entre Capas en la Construcción de Carpetas Asfálticas en Caliente”, presentado en la Universidad de Chile, para optar al título de Ingeniero Civil.

Tiene como propósito saber la predominación de las cambiantes más importantes en la resistencia de adherencia entre las capas de la carpeta asfáltica. En una primera etapa de ajuste de la metodología se comprobó la correcta densidad de las dos capas de las probetas de acuerdo con el diseño Marshall. La presente exploración consiguió como resultado que cualquier clase de contaminación del residuo o de reducción de la temperatura de compactación sugerida, disminuye considerablemente el porcentaje de adherencia. (Alvarez Calisto, 2007)

2.1.2. Antecedentes nacionales

(INSTITUTO LATINOAMERICANO DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS VIALES, 2015) “*1er. Congreso Nacional de Pavimentos Asfálticos 2015*”, realizó en Lima entre el 13 y el 14 de octubre.

En este congreso hubo un intercambio fluido de información y experiencias sobre nuevas tecnologías, equipamientos y especificaciones que permitirá aprovechar las experiencias y optimizar la inversión en los procesos de pavimentación y uso de los ligantes bituminosos.

A lo largo del Congreso que se desarrolló en el salón de conferencias del Sonesta Hotel El Olivar, hubo cinco conferencias magistrales: “Pavimentos de larga duración” y “Utilización de materiales reciclados de otras industrias en mezclas bituminosas, ambas a cargo del experto español ALBERTO BARDESI

ORÚE-ECHEVARRÍA, Director Asfaltos Repsol-España; “Mezclas Tibias” a cargo del estadounidense Everett Crews Director de Investigación y Desarrollo de Mead Westvaco - Asphalt Innovations-USA; "*Gestión de Pavimentos Asfálticos*" a cargo del chileno Hernán de Solminihaç Tampier y "*Áridos para carreteras: características, prestaciones y normativas*" a cargo de la española María Elena Hidalgo Pérez, Directora Técnica de EIFFAGE Infraestructuras.

(TAFUR MIRANDA, 2014) “*Evaluación de la Influencia de la Granulometría en el Desempeño de las Mezclas Asfálticas en Caliente*”, Presentado en la Universidad Nacional de Cajamarca, para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

El objetivo principal de la investigación es evaluar la influencia que tiene la granulometría en el desempeño de las mezclas asfálticas en caliente, con este fin. se ha realizado el diseño de mezclas asfálticas en caliente por el método tradicional Marshall, utilizando la granulometría MAC-2 de las especificaciones técnicas generales para la construcción EG-2013 y los criterios de la granulometría utilizada por la metodología Superpave, la cual considera una zona restringida y puntos de control.

Se ha determinado que un pequeño cambio en los porcentajes de la granulometría de los áridos utilizados en el diseño de mezclas asfálticas en caliente influye en el desempeño mecánico de la mezcla asfáltica; además, se ha determinado que la granulometría A (G-A), que atraviesa la zona restrictiva de la metodología Superpave tiene un buen desempeño estructural, toda vez que cumple con los parámetros de estabilidad y flujo.

(NOHELY NIKAIIDO, 2003) “*Estudio y Análisis de Mezclas Asfálticas en*

Caliente (Mac) El Tramo Vial I: Yura – Patahuasi / Arequipa, con Agregados Volcánicos”, presentado en la Universidad Nacional de Ingeniería, para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

Se estudia los componentes que conforman la mezcla asfáltica en caliente, parte importante dentro de la estructura del pavimento por encontrarse en la parte superior de ella, estando en contacto con los neumáticos y soportando las cargas de los vehículos. Inicialmente se hace un análisis de cada uno de los componentes por separado para finalmente analizarlo en su conjunto.

El agregado grueso procedente de Arequipa posee un porcentaje de absorción del orden de 3%, siendo el máximo especificado en nuestras normas 1%. A pesar de ello, en el diseño de mezcla realizado se obtuvo un contenido óptimo de asfalto de 6.5%, y en el diseño realizado con los agregados procedentes de Lima se obtuvo un 5.7%, disminuyendo tan solo 0.8% en el contenido óptimo de asfalto, el cual es la diferencia de los porcentajes del asfalto absorbido por dichos agregados. Por lo consiguiente, a pesar de ser agregados altamente absorbentes, no aumenta enormemente el porcentaje de asfalto a aplicarse en la mezcla asfáltica. Definiendo así, que esta característica del agregado de origen volcánico no es un factor para descartar el material. La importancia de esta investigación es que estos materiales propios de la región pueden ser utilizados para fines de construcción de carreteras y no ser descartados por no cumplir ciertos parámetros que no influyen significativamente en el comportamiento y propiedades de la mezcla asfáltica.

(Estrada Escalante, 2017) “*Estudio y Análisis de Desempeño de Mezcla Asfáltica Convencional Pen 85-100 Plus y Mezcla Asfáltica Modificada Con Polímero Tipo Sbs Pag 70-28*”, tesis Para Optar El Grado de Ingeniero Civil.

La investigación tiene como objetivo analizar el desempeño de la mezcla asfáltica convencional PEN 85-100 plus y mezcla asfáltica modificada con polímero tipo SBS PG 70-28 teniendo en cuenta que en la ciudad de Cusco es convencional emplear el asfalto PEN 85-100.

Tiene como conclusión que la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 demostró tener un mejor comportamiento mecánico y mucho mayor desempeño que la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus, lo que fue demostrado a través de los resultados de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas (estabilidad y flujo), donde la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28, presenta una estabilidad superior a la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus. (Estrada Escalante, 2017)

2.2. Base teórica

2.2.1. Agregado Mineral

Material de carácter pétreo, procede de la desintegración de la roca madre. Los agregados pétreos empleados para la ejecución de algún régimen o mezcla bituminosa tendrán que poseer una naturaleza tal, que, al aplicársele una cubierta del material asfáltico, ésta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito. Sólo se admitirá el empleo de agregados con propiedades hidrófilas, si se agrega algún aditivo de comprobada efectividad para proveer una correcta adherencia. (Estrada Escalante, 2017 pág. 19)

2.2.1.1. Clasificación de agregados

Los agregados pueden ser clasificados de 3 formas: Según su naturaleza, tamaño y granulometría.

a) Según su naturaleza

Agregado Natural: constituidos por piedras provenientes de la alteración de las rocas por los procesos de intemperismo o producidos por desgaste: canto rodado, gujarros, britas, arenas, etc.

Agregado Artificial: Productos o subproductos de un proceso industrial por transformación física y química del material: escoria de alto horno, arcilla calcinada, arcilla expandida.

b) Según su Tamaño

Agregado Grueso: Es el material retenido en la malla N° 4 (4.75 mm): britas, grava, gujarros, etc.

Agregado Fino: Material que pasa en la malla N° 4 (4.75 mm) y queda retenido en la malla N° 200 (0.075 mm): polvo de piedra, arena, etc.

Filler (material de relleno): Es el material que pasa por lo menos el 70% en la malla N° 200 (0.075 mm): cal extinta, cemento portland, polvo de chimenea, etc.

c) Según su granulometría

Agregado de granulometría densa: Presenta una curva granulométrica continua representativa de material bien graduado y con cantidad de material fino suficiente para rellenar los vacíos entre las partículas mayores.

Agregado de granulometría abierta: Presenta una curva granulométrica, e material mal graduado, con insuficiencia de material fino, para rellenar los vacíos entre las partículas mayores.

2.2.1.2. Agregados en mezclas asfálticas

Los agregados para Mezclas Asfálticas en Caliente son usualmente clasificados por tamaños en agregados gruesos, agregados finos, o filler mineral. ASTM define a los agregados gruesos como las partículas retenidas en la malla N°4 (4.75 mm); y filler mineral como el material que pasa la malla N°200 (75 μ m) en un porcentaje mínimo de 70%.

Las especificaciones de agregados gruesos, finos, y filler mineral se dan en ASTM D-692, D-1073 y D-242, respectivamente. Los agregados adecuados para su uso en Mezclas Asfálticas en Caliente se determinan evaluándolos para las siguientes características mecánicas:

1. Tamaño y gradación
2. Limpieza / materiales deletéreos
3. Tenacidad / dureza
4. Durabilidad / resistencia

5. Textura superficial
6. Forma de partículas
7. Absorción
8. Afinidad por el asfalto

- **Limpieza**

El ensayo de Equivalente de Arena, desarrollado por la California División of Highways descrito en ASTM D-2419, es un método para determinar la proporción relativa de polvo o arcilla en la porción de agregado que pasa la malla N°4.

- **Tenacidad y Resistencia a la Abrasión**

Los agregados sufren desgaste abrasivo durante su construcción, colocación y compactación de mezclas asfálticas para pavimentos. Los agregados también están sujetos a abrasión por efecto de la carga de tránsito. Los agregados de la superficie requieren mayor tenacidad que los agregados de capas menores que reciben cargas disipadas.

El ensayo de abrasión de Los Ángeles mide el desgaste o resistencia a la abrasión del agregado mineral. El equipo y procedimiento se detallan en AASHTO T-96 y ASTM C-131.

El ensayo de prueba da rangos de 10% para rocas ígneas muy duras a 60% para calizas y areniscas. El máximo desgaste para agregados gruesos usados en carreteras de primera categoría con Mezclas Asfálticas en Caliente se limita el porcentaje de

desgaste a 40% y otras agencias en 60%¹. ASTM D-1073 no especifica el porcentaje máximo de pérdida por abrasión.

- **Durabilidad y Resistencia**

Los agregados deben ser resistentes a la falla o desintegración por efectos del humedecimiento-secado y hielo-deshielo. El ensayo ASTM C-88 es una medida empírica que pretende indicar la durabilidad debido a variaciones del clima, no se encontraron registros históricos por ser una nueva fuente para evaluar agregados.

2.2.1.3. Especificaciones técnicas

Los materiales por emplear serán agregados gruesos que cumplan con lo especificado en la tabla 2.

Tabla 2.
Especificaciones técnicas para el agregado grueso en mezclas asfálticas.

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

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

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

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013)

Para el caso del agregado fino debe de cumplir con las especificaciones que se describen en la tabla 3.

Tabla 3.
Especificaciones técnicas para el agregado fino en mezclas asfálticas.

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

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

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

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013)

La gradación de los agregados para emplearlas en mezclas asfálticas debe de encontrarse libre de terrones de arcilla y se aceptaran como máximo el 1% de partículas deleznable según ensayo MTC E 212, además no deberá de contener materia orgánica ni materiales perjudiciales. La gradación de combinación de agregados como fino y grueso deben de encontrarse dentro del uso dado por las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras que se observa en la tabla 4.

Tabla 4.
Gradación para mezclas asfálticas en caliente (MAC).

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

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013)

2.2.2. Asfalto

Se define como betún o una mezcla de hidrocarburos pesados, obtenidos en estado natural o por diferentes procesos físicos o químicos, con sus derivados de consistencia variable y con poder aglutinante e impermeabilizante, siendo completamente soluble en el bisulfato de carbono CS₂. (Estrada Escalante, 2017)

ASTM lo define como un material cementante, de color oscuro y de consistencia variable, cuya rigidez depende de la temperatura en que se encuentre. A temperatura ambiente el asfalto es sólido a semisólido, y cuando su temperatura se eleva se vuelve líquido, esta condición permite que los agregados sean cubiertos completamente, durante la mezcla. (Universidad Nacional de Ingeniería, 2006)

El asfalto usado en pavimentación, generalmente llamado cemento asfáltico, a altas temperaturas (135°C) es poco rígido, condición que permite que se adhiera fácilmente a las partículas del agregado y, por lo tanto, es un excelente

cemento que une los agregados en mezclas en caliente. (Universidad Nacional de Ingeniería, 2006)

2.2.2.1. Cementos asfálticos

El cemento asfáltico por emplear en los riegos de liga y en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente será clasificado por viscosidad absoluta y por penetración. Su empleo será según las características climáticas de la región, la correspondiente carta viscosidad del cemento asfáltico y tal como lo indica la Tabla 5, según lo establecido en Proyecto y aprobado por el Supervisor. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013)

Tabla 5.
Elección del tipo de asfalto

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

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013)

Los requisitos de calidad del cemento asfáltico son los que establecen las Tablas 6 y 7. El cemento asfáltico debe presentar un aspecto homogéneo, libre de agua y no formar espuma cuando es calentado a la temperatura de 175°C. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013)

Tabla 6.
Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración.

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

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

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

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013)

Tabla 7.
Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por viscosidad

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

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

Fuente: ASTM D 3381, NTP

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013)

Tabla 8.
Clasificación de Ligantes Asfálticos de acuerdo con Performance Grade (PG)

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

^a La temperatura del pavimento puede estimarse a partir de la temperatura del aire, usando un algoritmo contenido en el programa de cálculo de superpave, la dependencia específica puede ser suministrada o ser obtenida siguiendo los procesos indicados en M 323 and R 35.

^b Este requerimiento puede omitirse a discreción de la agencia específica, si el proveedor garantiza que el cemento asfáltico puede bombearse y mezclarse convenientemente a una temperatura que satisfaga todos los estándares aplicables de seguridad.

^c Para el control de calidad de la producción de cemento asfáltico no modificado, la medición de viscosidad del cemento asfáltico original puede sustituirse por las mediciones del esfuerzo cortante dinámico de G*/senS, para una temperatura de prueba para la cual el asfalto sea un fluido newtoniano.

^d G*/senS = Resistencia a alta temperatura y G* senS = Resistencia a temperatura intermedia.

^e El cambio de masa debe ser menor que 1,00 % tanto para la variación positiva (aumento de masa) como la negativa (pérdida de masa).

^f La temperatura de curado PAV se basa en condiciones climáticas simuladas y es una de tres temperaturas, 90°C, 100°C ó 110°C. Normalmente la temperatura de curado PAV es de 100 °C para el PG 58-xx y superiores. Sin embargo, en climas desérticos la temperatura de curado PAV para PG 70-xx y superiores deben ser fijada como 110°C.

^g Si la Resistencia al deslizamiento es inferior a 300 MPa, la prueba de tensión directa no es necesaria. Si la resistencia al deslizamiento se encuentra entre 300 y 600 MPa puede usarse el requerimiento de la deformación unitaria a la falla por tensión directa, en lugar del requerimiento de la resistencia al deslizamiento. En ambos casos debe satisfacerse el requerimiento del valor-m.

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013)

Tabla 9.

Clasificación de Ligantes Asfálticos de acuerdo con Performance Grade (PG) (continuación)

	PG 70						PG 76					PG 82				
	10	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	10	16	22	28	34
Temperatura de diseño máxima del pavimento promedio de 7 días, °C ^a	<70						<76					<82				
Temperatura de diseño mínima del pavimento, °C ^a	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34
Asfalto original																
Punto de inflamación, T 48, °C, mínimo							230									
Viscosidad, T 316: ^b máximo 3 Pa s, temp de prueba, °C							135									
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: ^c G*/senS, ^d mínimo 1.00 kPa temp de prueba @ 10 rad/s, °C	70						76					82				
Película delgada en horno rotativo (T 240)																
Cambio de masa, ^e máximo, %							1.00									
Esfuerzo cortante dinámico, T 315: G*/senS, ^d mínimo 2.20 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	70						76					82				
Residuo en cámara de presión (R 28)																
Temperatura de curado PAV, °C ^f	100 (110)						100(110)					100 (110)				
Esfuerzo cortante dinámico G* senS, ^d máximo 5000 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	34	31	28	25	22	19	37	34	31	28	25	40	37	34	31	28
Resistencia al deslizamiento, T 313 : ^g S, máximo 300 MPa valor-m, mínimo 0,300 temp de prueba @ 60 s, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24
Tensión Directa, T 314: ^g Def unitaria de la falla, mínimo 1,0% temp de prueba @ 1.0 mm/min, °C	0		-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24

^a La temperatura del pavimento puede estimarse a partir de la temperatura del aire, usando un algoritmo contenido en el programa de cálculo de superpave, la dependencia específica puede ser suministrada o ser obtenida siguiendo los procesos indicados en M 323 and R 35.

^b Este requerimiento puede omitirse a discreción de la agencia específica, si el proveedor garantiza que el cemento asfáltico puede bombearse y mezclarse convenientemente a una temperatura que satisfaga todos los estándares aplicables de seguridad

^c Para el control de calidad de la producción de cemento asfáltico no modificado, la medición de viscosidad del cemento asfáltico original puede sustituirse por las mediciones del esfuerzo cortante dinámico de G*/senS, para una temperatura de prueba para la cual el asfalto sea un fluido newtoniano.

^d G*/senS = Resistencia a alta temperatura y G* senS = Resistencia a temperatura intermedia.

^e El cambio de masa debe ser menor que 1,00 % tanto para la variación positiva (aumento de masa) como la negativa (pérdida de masa)

^f La temperatura de curado PAV se basa en condiciones climáticas simuladas y es una de tres temperaturas, 90°C, 100°C ó 110°C. Normalmente la temperatura de curado PAV es de 100 °C para el PG 58-xx y superiores. Sin embargo, en climas desérticos la temperatura de curado PAV para PG 70-xx y superiores deben ser fijada como 110°C

^g Si la Resistencia al deslizamiento es inferior a 300 MPa, la prueba de tensión directa no es necesaria. Si la resistencia al deslizamiento se encuentra entre 300 y 600 MPa puede usarse el requerimiento de la deformación unitaria a la falla por tensión directa, en lugar del requerimiento de la resistencia al deslizamiento. En ambos casos debe satisfacerse el requerimiento del valor-m.

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013)

2.2.2.2. Composición Química del Asfalto

Existe una gran dificultad en definir la composición química de los asfaltos debido a la dificultad de caracterización de todas las sustancias que lo componen, algunas aún desconocidas. (Estrada Escalante, 2017)

La proporción aproximada de sus principales componentes, de acuerdo con el origen de los crudos de la cual proviene el asfalto son:

- Carbono (82 a 87%).
- Hidrogeno (9 a 11%).
- Nitrógeno (0.2 a 1.2 %).
- Azufre (0.9 a 5.3%).
- Oxigeno (0.2 a 0.8%)
- Vanadio (4 a 1400 ppm).
- Níquel (0.4 a 110 ppm).

El fraccionamiento químico separa el CAP en compuestos saturados, nafta – aromáticos, polaromaticos y asfáltenos (insolubles en n-heptano). Los asfáltenos se separan primero, con adición de n-heptano. Los otros constituyentes, denominados máltenos solubles en n-heptano, son separados por cromatografía de adsorción. (Estrada Escalante, 2017)

2.2.2.3. Temperatura de aplicación del material bituminoso

El material bituminoso que utilizar en los diferentes trabajos según la especificación respectiva será obligatoriamente aplicado dentro de los rangos de la carta viscosidad-temperatura (ASTM D341) establecidos en el proyecto y aprobado por el Supervisor. Se observará los rangos de temperatura de aplicación establecidos en la Tabla 10.

Tabla 10.
Rangos de temperatura de aplicación.

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

(1) Temperatura de mezcla inmediatamente después de preparada.

(2) La Máxima temperatura deberá estar debajo de aquella en la que ocurre vapores o espuma

(3) En algunos casos la temperatura de aplicación puede estar por encima del punto de inflamación. Por tanto se debe tener precaución para prevenir fuego o explosiones.

(4) Se podrá variar esta temperatura de acuerdo a la carta de viscosidad-temperatura

Fuente: MS-16-Asphalt Institute

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013)

2.2.3. Mezclas Asfálticas

La Mezcla Asfáltica en Caliente es la combinación de material mineral pétreo en distintas graduaciones (áridos de diferentes tamaños) y cemento asfáltico, la que se realiza a altas temperaturas en Plantas Especializadas para dicho efecto.

Las proporciones tanto de los áridos como del cemento asfáltico dependen de los requerimientos de cada proyecto en el cual será utilizada la Mezcla Asfáltica, y son definidos mediante la realización de estudios de dosificación.

Durante años en la práctica de la construcción de carreteras, se ha buscado minimizado los impactos ambientales negativos, por medio de nuevos procesos y mejores desarrollos tecnológicos en la elaboración de mezclas asfálticas, buscando generar nuevas metodologías de construcción de vías y así garantizar la fabricación de mezclas asfálticas menos contaminantes.

Actualmente la industria de la construcción se ha orientado en la reducción de las temperaturas en la producción y aplicación de las mezclas asfálticas. Normalmente la producción y aplicación de las mezclas asfálticas en caliente requiere que los materiales se calienten entre 135°C y 180°C.

Existen diferentes métodos para obtener mezclas asfálticas cumpliendo con estos objetivos, como se muestra en la Figura N°1.

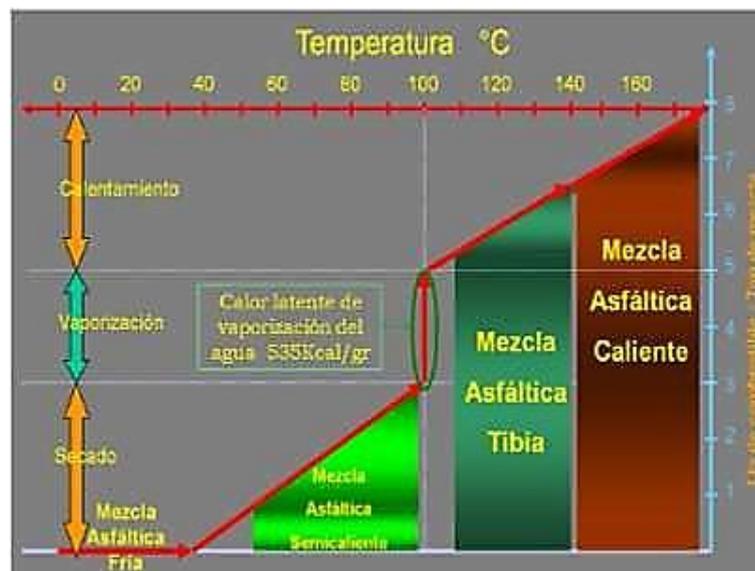


Figura 1. Rangos de temperatura para producción de mezclas asfálticas

Las mezclas asfálticas asumen un papel muy importante y fundamental en los pavimentos flexibles porque constituyen la parte más costosa de toda la estructura; reciben también el nombre de “aglomerados” o “mezclas bituminosas” y deben ser realizadas en proporciones exactas.

En Colombia, durante el año 2001, se realizaron evaluaciones en la Troncal de Transmilenio de la calle 80, en Bogotá. Esta presentaba deformaciones hasta de 12cm de profundidad, y gracias a evaluaciones de resistencia, durabilidad, etc., se pudieron realizar los estudios adecuados para poder proceder al diseño, fabricación y colocación de las HMA en base a experiencias francesas y españolas.



Figura 2. Extensión y compactación de base de alto módulo, Calle 80 con Avenida 68 – Transmilenio (Colombia).

Todas las experiencias con respecto a las mezclas asfálticas en caliente tienen su origen básicamente en Francia, donde las mezclas asfálticas, vienen siendo evaluadas desde los años 1965-1988 con muchas novedades actuales.

Inicialmente se desarrollaron estas mezclas empleándose contenidos de gravas superiores al 50%, especialmente concebidas para lograr una elevada fricción interna, el porcentaje de filler mineral era superior al 6% y el contenido de asfalto de baja penetración superior al 5.8%, este último garantizaba y garantiza una alta resistencia a la fatiga.

Las primeras experiencias en España se realizaron en el año 1992. Incluso en el año 1995, se llevaron a cabo estudios con respecto al cambio de temperatura en mezclas asfálticas en caliente (HMA), determinando el efecto que esta produce en el módulo dinámico, densidad, estabilidad y flujo.

Por otro lado, El comportamiento de las mezclas asfálticas, se da gracias a la conjunción de todos los materiales y propiedades que cada tipo de mezcla contiene durante el diseño y en el funcionamiento bajo situaciones extremas. Los materiales que componen las mezclas asfálticas poseen propiedades dinámicas, dando lugar al módulo dinámico que caracteriza de forma mecánica a unas mezclas de otras.

Según JULIÁN VIDAL (Revista de la Universidad EAFIT, Colombia 2006), la variación de estas propiedades se da principalmente por el cambio de temperatura, pues un aumento de esta genera una disminución en el módulo resiliente. Por otro lado, el efecto de la frecuencia de carga que se manifiesta a través del movimiento de los vehículos pesados sobre la estructura produce módulos mayores a medida que la velocidad se incrementa.

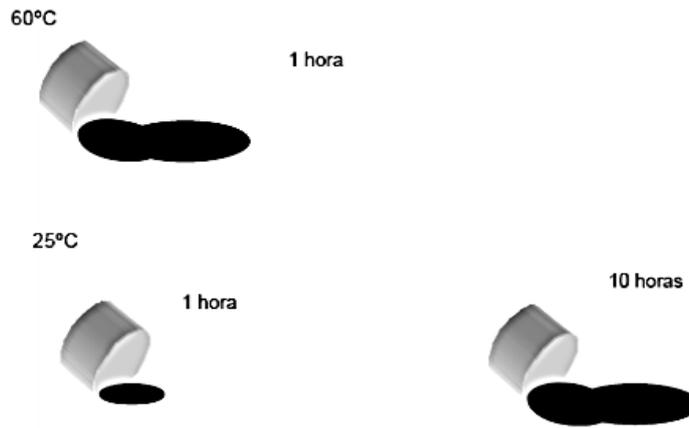


Figura 3. Cantidad de asfalto en diferentes tiempos y diferentes temperaturas.

2.2.3.1. Definición

Las mezclas asfálticas, es material que está formada por una combinación de agregados pétreos, ligante asfáltico, y aditivo en algunos casos; de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua de éste. (Santa Cruz, y otros, 2012)

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90% de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento de la carpeta de rodadura y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total. (Santa Cruz, y otros, 2012)

Existen tres métodos de diseño utilizados para determinar las proporciones adecuadas de asfalto y agregados. Ellos son el Método

Marshall y el Método Hveem, actualmente el método que se utiliza en EEUU es el método SUPERPAVE ya que se considera que la metodología de diseño está basada en pruebas más reales y científicas y no empíricas como las del método Marshall; debido a las condiciones económicas los países como el nuestro se siguen utilizando es el método Marshall. (Santa Cruz, y otros, 2012)

2.2.3.2. Clasificación de las Mezclas Asfálticas.

Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas y las clasificaciones pueden ser diversas:

a) Por Fracciones de agregado pétreo empleado.

- Masilla asfáltica: Polvo mineral más cemento asfáltico.
- Mortero asfáltico: Agregado fino más masilla.
- Concreto asfáltico: Agregado grueso, agregado fino, polvo mineral y cemento asfáltico.
- Macadam asfáltico: Capa de rodadura formada por una sucesión de capas de mezcla asfáltica con materiales pétreos de diferentes granulometrías, colocando las de mayor granulometría abajo, y arriba la de menor granulometría. Luego se procede a la compactación con rodos y camiones.

b) Por la Temperatura de puesta en obra.

- *Mezclas asfálticas en Caliente*: El concreto asfáltico mezclado

en planta y compactado en caliente, se compone de una mezcla de agregados graduados y asfalto, fabricado a una temperatura aproximada de 150°C colocada y compactada en caliente a una temperatura de 140 °C. Las plantas para la producción de mezclas en caliente se construyen de tal manera que, después de secar y calentar los agregados, los separa en diferentes grupos de tamaños, los recombina en las proporciones adecuadas, los mezcla con la cantidad debida de asfalto caliente y finalmente los entrega a los vehículos transportadores, que a su vez la colocan en la máquina pavimentadora para que esta la deposite sobre la vía con un espesor uniforme, después se compacta mediante rodillos mientras la temperatura se conserva dentro de los rangos de especificación.

- *Mezclas asfálticas en Frío:* El ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.
- *Mezclas asfálticas Tibias:* Las mezclas tibias se describen como aquellas que se producen a temperaturas menores que las mezclas en caliente, es decir entre 100°C y 135°C, su producción involucra nuevas tecnologías a partir de los cuales es posible producir y colocar los concretos asfálticos a temperaturas sensiblemente inferiores a las técnicas

convencionales. El concepto de mezcla tibia surgió en Europa, tras la necesidad de una mezcla bituminosa que ofreciera economía de energía y tuviera el mismo desempeño de las mezclas asfálticas en caliente.

c) Por la proporción de Vacíos en la mezcla asfáltica.

Este parámetro suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia del paso de las cargas y de las variaciones térmicas.

- *Mezclas Cerradas o Densas*: contienen cantidades de agregados en proporciones adecuadas de todos los tamaños, de grueso a fino, incluyendo filler, proporcionados de tal forma de obtener una mezcla densa con pocos vacíos. La proporción de vacíos no supera el 5 %. Las mezclas densamente graduadas tienen un gran número de puntos de contacto entre las partículas, que pueden dar una alta resistencia friccional y reducir la posibilidad de trituración de las partículas en los puntos de contacto. Como el contenido de vacíos es bajo son poco permeables. En las mezclas asfálticas en caliente, deben preferirse agregados con granulometría densa, o muy cercana a la densa.
- *Mezclas Semi-cerradas o Semi-densas*: La proporción de vacíos está entre el 5 % y el 10%.
- *Mezclas Abiertas*: La proporción de vacíos supera el 12 %.

- *Mezclas Porosas o Drenantes*: Mezclas asfálticas utilizadas como carpeta de rodadura, que se caracteriza por tener un elevado porcentaje de huecos interconectados entre sí. Permitiendo el paso del agua a través de la mezcla y su rápida evacuación hacia las zonas laterales fuera de las calzadas. La proporción de vacíos es superior al 20 %.

d) Por el Tamaño máximo del agregado pétreo.

- *Mezclas Gruesas*: Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm.
- *Mezclas Finas*: También llamadas micro aglomerado, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un agregado fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al triple del tamaño máximo.

e) Por la Estructura del agregado pétreo.

- *Mezclas con Esqueleto mineral*: Poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable. Ejemplo, las mezclas abiertas y los que genéricamente se denominan concretos asfálticos, aunque también una parte de la resistencia de estos últimos se debe a la masilla.

- *Mezclas sin Esqueleto mineral*: No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas.

f) Por la Granulometría.

- *Mezclas Continuas*: Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el uso granulométrico (Zona comprendida entre dos curvas granulométricas).
- *Mezclas Discontinuas*: Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el uso granulométrico.

2.2.3.3. Evolución de mezclas asfálticas en caliente.

A continuación, se muestra la evolución de los métodos de diseños de mezclas asfálticas en caliente.

- *The Hubbard-Field (1920's)*. Método de diseño de mezclas asfálticas, fue uno de los primeros métodos en evaluar contenidos de vacíos en la mezcla y en el agregado mineral. Usaba una estabilidad como prueba para medir la deformación. Funcionó adecuadamente para evaluar mezclas con agregado pequeño o granulometrías finas, pero no también para mezclas con granulometrías que contenían agregados grandes.
- *Método Marshall (1930's)*. Método de diseño de mezclas asfálticas, desarrollado durante la 2da. Guerra Mundial y después

fue adaptado para su uso en carreteras. Utiliza una estabilidad y porcentaje de vacíos como pruebas fundamentalmente. Excepto cambios en las especificaciones, el método no ha sufrido modificación desde los años 40's.

- *Método Hveem (1930's)*. Método de diseño de mezclas asfálticas, desarrollado casi en el mismo tiempo que el método Marshall. Evalúa una estabilidad pseudo triaxial.
- *Método de la Western Association of State Highway on Transportation Officials. WASHTO (1984)*. Este método de diseño de mezclas recomendó cambios en los requerimientos del material y especificaciones de diseño de mezclas para mejorar la resistencia al ahuellamiento (efectos de deformación acumulada).
- *Método de Asphalt Aggregate Mixture Analysis System. AAMAS (1987)*. La necesidad de cambios en el diseño de mezclas fue reconocida, tardaron 2 años para desarrollar un nuevo proyecto para el diseño de mezclas, que incluía un nuevo método de compactación en laboratorio y la evaluación de las propiedades volumétricas, desarrollo de pruebas para identificar las deformaciones permanentes, grietas de fatiga y resistencia de grietas a baja temperatura.
- *Método SUPERPAVE (1993)*. El método AAMAS, sirvió como punto de inicio del método SUPERPAVE, que contiene un nuevo diseño volumétrico completo de mezcla, con funcionamiento

basado en predicción a través de modelos y métodos de ensayo en laboratorio, grietas por fatiga y grietas por baja temperatura. Los modelos de predicción de funcionamiento fueron completados satisfactoriamente hasta el año 2000. El diseño volumétrico de mezclas en el SUPERPAVE es actualmente implementado en varios estados de los EUA, debido a que ha sido reconocida una conexión entre las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica caliente y su correcto funcionamiento. Ahora la aceptación en el control de calidad ha sido cambiada a propiedades volumétricas. SUPERPAVE promete un funcionamiento basado en métodos o ensayos de laboratorio que pueden ser usados para identificar la resistencia a las deformaciones plásticas de los pavimentos.

2.2.4. Método Marshall para el Diseño de Mezclas - Astm D-1559

Una mezcla asfáltica en caliente consiste en la combinación uniforme de agregados con cemento asfáltico. El Concreto Asfáltico es un tipo de mezcla en caliente que cumple con estrictos requisitos de control de calidad, resultando una carpeta de alta calidad, con buena calidad de agregados y bien compactada.

2.2.4.1. Referencias Históricas

El Método Marshall para el diseño de mezclas fue desarrollado por BRUCE MARSHALL, del Mississippi Highway Department¹ alrededor de 1939. El ensayo Marshall, en su forma actual, surgió de una investigación iniciada por The Corps of Engineers Waterways (WES) de los Estados Unidos en 1943.

Este método fue normalizado por la ASTM D-1559, denominado Resistencia al Flujo Plástico de Mezcla Bituminosa usando el equipo Marshall (el método AASHTO T-245 es similar a la Norma ASTM D-1559, excepto en lo referente al martillo operado mecánicamente, en lugar de un martillo operado manualmente), sin embargo, actualmente la norma ASTM D-1559 ha sido reemplazado por otro procedimiento denominado Superpave.

2.2.4.2. Características de Mezcla

Al realizar el diseño de mezclas asfálticas en caliente, se deben obtener las siguientes características:

a) Resistencia a la Deformación Permanente

La resistencia a la deformación permanente es crítica al elevarse la temperatura durante los meses de verano cuando la viscosidad del cemento asfáltico baja y la carga del tráfico es soportada por la estructura del agregado en mayor proporción. La resistencia a la deformación permanente se controla seleccionando la calidad de agregados con gradación apropiada y seleccionando el contenido asfáltico y vacíos adecuados para la mezcla.

b) Resistencia a la Fatiga

La mezcla no se agrietará por causa de la repetición de las cargas en un período de tiempo (período de diseño)

c) Resistencia al agrietamiento por bajas temperaturas

Esta propiedad es importante en regiones frías que experimentan bajas temperaturas. Sin embargo, para ello se utilizan aditivos diversos.

d) Durabilidad

La mezcla contiene suficiente cemento asfáltico asegurando un adecuado espesor de película rodeando las partículas de agregados, así se minimiza el endurecimiento del cemento asfáltico. El curado durante la producción y la puesta en servicio también contribuye a esta característica. Por otro lado, la mezcla compactada no debería tener altos porcentajes de vacíos que aceleren el proceso de curado.

e) Resistencia a la Humedad

Algunas mezclas expuestas a humedad pierden adhesión entre el agregado y el cemento asfáltico. Las propiedades del agregado son los primeros responsables de este fenómeno, aunque algunos cementos asfálticos son más propensos a separarse que otros.

f) Resistencia al Patinaje

Este requisito es solamente aplicable a mezclas superficiales que sean diseñados para proporcionar la suficiente resistencia al patinaje.

g) Trabajabilidad

La mezcla debe ser capaz de ser colocada y compactada con razonable esfuerzo. Los problemas de trabajabilidad se presentan frecuentemente durante los trabajos de pavimentación.

2.2.4.3. Fundamento Teórico

El contenido óptimo de asfalto para un material de carpeta es la cantidad de asfalto que forma una membrana alrededor de las partículas, de espesor suficiente para resistir los elementos del intemperismo evitando que el asfalto se oxide con rapidez. Por otro lado, no debe ser tan gruesa como para que la mezcla pierda estabilidad, es decir, deformación excesiva por flujo plástico o resistencia y no soporte las cargas de los vehículos.

2.2.4.4. Objetivo

Determinar el contenido óptimo de asfalto para una mezcla específica de agregados; así como también proporcionar información sobre las características físicas y mecánicas de mezcla asfáltica en caliente, de tal manera que sea posible establecer si cumple en lo referente al establecimiento de densidades y contenidos óptimos de vacío durante la construcción de la capa del pavimento.

El método consiste en ensayar una serie de probetas, cada una preparada con la misma granulometría y con diferentes contenidos de asfalto. El tamaño de las probetas es de 2.5 pulgadas de espesor y 4 pulgadas de diámetro. Dichas probetas se preparan siguiendo un

procedimiento específico para calentar el asfalto y los agregados, mezclar y compactar.

Las probetas preparadas con el método se rompen en la prensa Marshall, determinado su estabilidad (resistencia) y deformación. Si se desean conocer los porcentajes de vacíos de las mezclas así fabricadas, se determinarán previamente los pesos específicos de los materiales empleados y de las probetas compactadas, antes del ensayo de rotura.

2.2.4.5. Ensayo de Marshall

El criterio del procedimiento Marshall fue creado por BRUCE MARSHALL, ex-Ingeniero de Bitúmenes del Departamento de Rutas del Estado de Mississippi.

El Ensayo Marshall, surgió de una exploración iniciada por el Cuerpo de Ingenieros del Batallón de los USA en 1943. Numerosos procedimientos para el diseño y control de mezclas asfálticas fueron comparados y evaluados para desarrollar un procedimiento fácil.

El procedimiento usa probetas normalizadas de 2.5 pulgadas (6.35 cm) de altura y 4 pulgadas (10.16cm) de diámetro. Se organizan empleando un trámite especificado para calentar, combinar y compactar la mezcla de asfalto y agregados. Los dos puntos claves del procedimiento Marshall son un examen de las relaciones entre consistencia y volumen de huecos y un ensayo para la determinación de la seguridad y fluencia de las probetas compactadas.

La estabilidad del espécimen de prueba es la máxima resistencia en N (lb) que desarrolla cuando es ensayado a una temperatura de 60° C. El valor de flujo es el movimiento total o deformación, en unidades de 0.25 mm (1/100”), que ocurre en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad. (Hernandez Martinez, 2014)

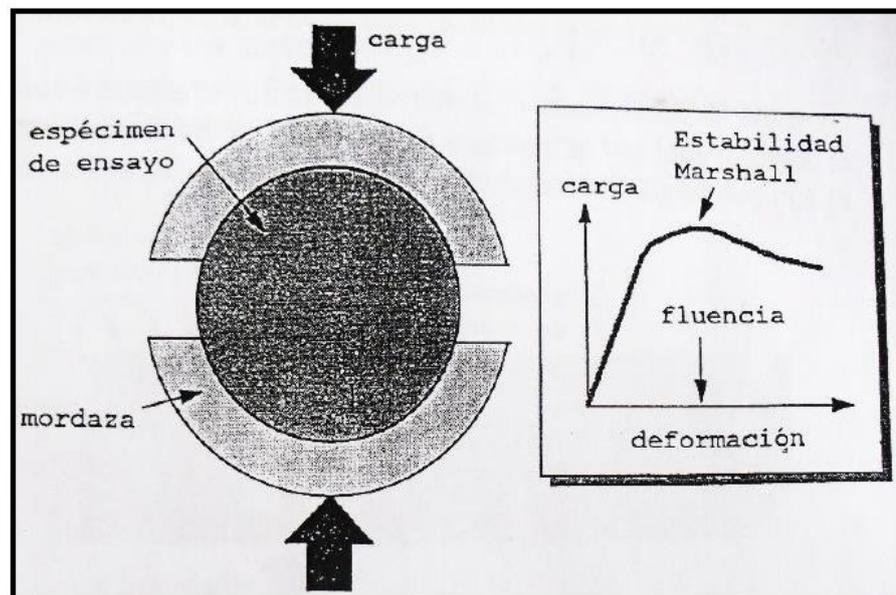


Figura 4. Estabilidad Marshall

Fuente: (Hernandez Martinez, 2014)

El método de diseño de Marshall solo instaure requisitos para la granulometría y los parámetros volumétricos de la MAC. Los requisitos de calidad del agregado y del asfalto los fijan las instituciones encargadas del desarrollo de la infraestructura; en el caso de Perú, El Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) es el organismo que establece los requisitos que deben cumplirse para diseño y control de MAC.

2.2.4.6. Especificaciones Técnicas

Las mezclas asfálticas en caliente deben cumplir con los siguientes requerimientos, comenzando desde la combinación de los agregados hasta los resultados.

La combinación de agregados debe de cumplir con las especificaciones descritas en la tabla 11, para mezclas asfálticas en caliente (MAC).

Tabla 11.
Especificaciones de gradación para combinación de agregados - MAC

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

Fuente: **Fuente especificada no válida.**

En la tabla 12, se describe las especificaciones que debe de cumplir la mezcla asfáltica ya culminada, se observa los ensayos que se debe de realizar y el rango de valores que debe de cumplir.

Tabla 12.
Requisitos para mezcla de concreto bituminoso

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

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

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

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

(4) El Índice de Compactabilidad mínimo será 5.

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

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

Fuente: Fuente especificada no válida.

2.2.4.7. Pruebas a la mezcla asfáltica compactada

En el método Marshall se llevan a cabo tres tipos de pruebas para conocer tanto sus características volumétricas como mecánicas.

- Determinación de la gravedad específica

La prueba de gravedad específica puede desarrollarse tan pronto como el espécimen se haya enfriado. Esta prueba se desarrolla con pruebas de absorción, a la mezcla asfáltica compactada; si la absorción es mayor al 2%, se utiliza la norma ASTM D1188, gravedad específica de mezclas asfálticas compactas empleando parafina; o en caso contrario, se recurre a la norma ASTM D2726, gravedad específica en mezclas asfálticas compactadas utilizando superficies saturadas de especímenes secos. (Hernandez Martinez, 2014)

- Prueba de estabilidad y flujo

Después de obtenido el Peso Específico Bulk de la mezcla compactada, se procede a la ejecución de los ensayos de estabilidad y fluencia, de la siguiente manera:

a. Calibrar el cero del flujómetro, previamente montado sobre uno de los guidores, y luego de insertar la mordaza de 4” debajo del pivote.

b. Sumergir la briqueta en baño de agua a 60 °C (140 °F), durante 30 a 40 minutos.

c. Limpiar las guías y la superficie interior del anillo de prueba y lubricar las guías para garantizar que el segmento superior del anillo se deslice libremente sobre ellas. La temperatura de la mordaza debe mantenerse a una temperatura de 21 a 37,8 °C (70 a 100 °F), utilizando el baño de agua, si fuese necesario.

d. Se saca la muestra del baño de agua, se coloca en la parte inferior de la mordaza, luego se inserta la parte superior de la misma. Se centra el conjunto en el dispositivo de carga y se coloca el medidor de flujo sobre el guidor superior de la mordaza.

e. Aplicar la carga de ensayo a la muestra a una velocidad de deformación constante de 51 mm/min (2 pulg/min), hasta que

ocurra la falla. El punto de falla se define como la carga máxima obtenida en el ensayo. El número total de Newtons (libras) necesario para producir la falla de la muestra se define como el valor de la estabilidad Marshall. La deformación vertical del espécimen producida por la carga, es el valor del Flujo (fluencia).

f. Durante el ensayo de estabilidad, sujétese firmemente el medidor de flujo en su posición sobre el guiador, y retírese en el instante mismo que la carga empieza a decrecer, se anota el valor de flujo en unidades de 0,25 mm (0.01”).

g. Se promedian los valores de estabilidad y flujo para todas las muestras con cada contenido de ligante.

(Hernandez Martinez, 2014)

- Determinación del peso específico y análisis de vacíos

.Después de la conclusión de los ensayos de estabilidad y fluencia, se realiza el análisis de densidad y vacíos, para cada grupo de núcleos de prueba, de la siguiente manera:

a. Promediar los valores de peso específico Bulk de todas las muestras de ensayo para cada contenido de ligante; los valores que por simple inspección presenten error, no se consideran.

b. Determinar el peso unitario promedio para cada contenido de ligante, multiplicando el valor promedio del peso

específico Bulk por 1000 para peso unitario en kg/m³, por 62,4 para peso unitario en lb/pie³.

c. Dibujar un gráfico de relación de peso unitario vs. contenido de asfalto, uniendo los puntos mediante una curva intermedia, que proporcione el mejor ajuste para todos los valores.

d. Leer directamente en la curva trazada, los valores de peso unitario para cada contenido de asfalto ensayado y obtener el peso específico Bulk equivalente, dividiendo entre 1000 Kg/m³ (ó entre 62,4 lb/pie³). Los valores de peso específico Bulk así obtenidos, serán usados en el cálculo posterior de vacíos.

e. Utilizando el Peso Específico máximo teórico de la mezcla bituminosa (ASTM D-2041) y el Peso Específico Bulk de los agregados, se calcula el contenido de asfalto efectivo (Pbe), vacíos de aire (Va); porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA) y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM). (Hernandez Martinez, 2014)

- Contenido de asfalto efectivo (Pbe): Contenido de asfalto total de una mezcla asfáltica menos la proporción de asfalto absorbido en las partículas del agregado.
- Vacíos de aire (Va): Volumen total de una pequeña bolsa de aire entre las partículas cubiertas del agregado en una mezcla de pavimento compactado, expresado como el porcentaje del volumen neto de la mezcla del pavimento compactado.

- Vacíos llenados con asfalto (VFA): Porción del porcentaje del volumen de espacio vacío intergranular entre las partículas del agregado, que es ocupado por el asfalto efectivo. Se expresa como la porción de $(VMA - V_a)$ entre VMA.
- Vacíos en el agregado mineral (VMA): Volumen de espacio vacío intergranular entre las partículas del agregado de una mezcla asfáltica compactada, que incluye los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado como un porcentaje del volumen total de la muestra mezcla.

Con los valores así obtenidos se preparan gráficos separados con las siguientes relaciones:

- Estabilidad-contenido de asfalto
- Fluencia-contenido de asfalto
- Peso específico-contenido de asfalto
- Vacíos de aire- contenido de asfalto
- VAM-contenido de asfalto
- VFA-contenido de asfalto

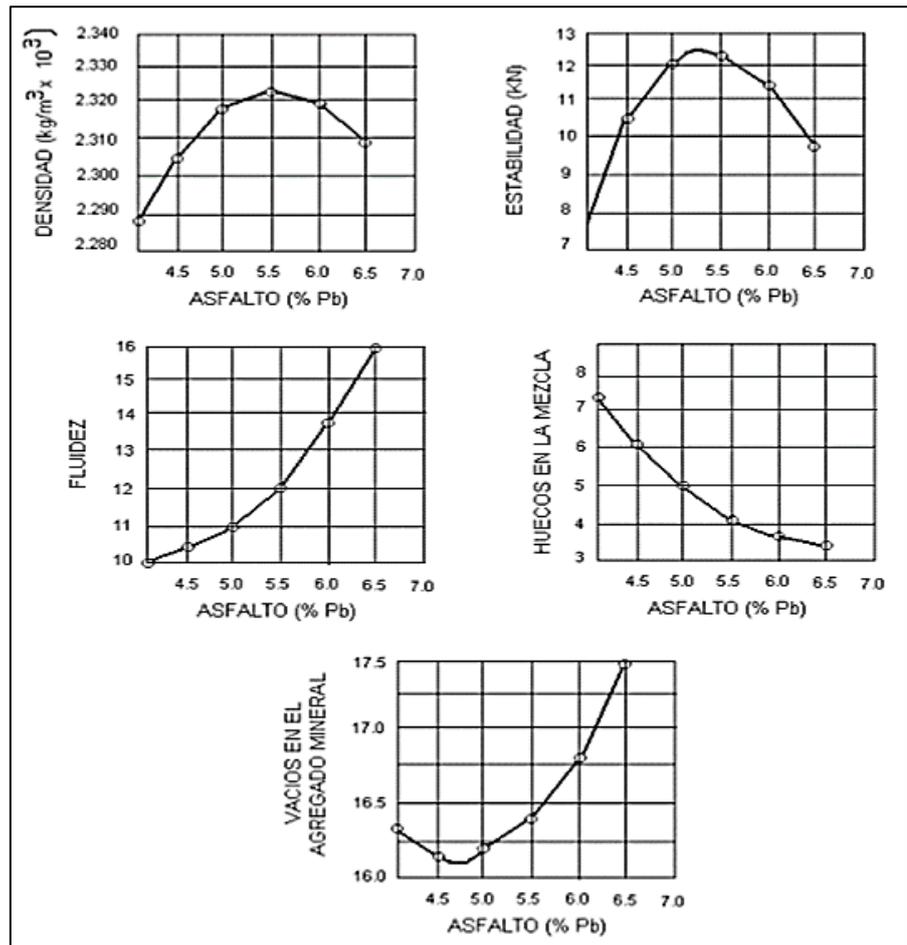


Figura 5. Longitud de la corrida de testigos.

Fuente: (Ibañez Aguilera, 2003)

2.2.4.8. Relaciones y observaciones de los resultados del ensayo

Cuando los resultados de los ensayos se trazan en gráficas, usualmente revelan ciertas tendencias en las relaciones entre el contenido de asfalto y las propiedades de la mezcla.

1) El porcentaje de vacíos disminuye a medida que aumenta el contenido de asfalto

2) El porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA) generalmente disminuye hasta un valor mínimo, y luego aumenta con aumentos en el contenido de asfalto

3) El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) aumenta con aumentos en el contenido de asfalto

4) La curva para el peso unitario (densidad) de la mezcla es similar a la curva de estabilidad, excepto que el peso unitario máximo se presenta a un contenido de asfalto ligeramente mayor que el que determina la máxima estabilidad

5) Hasta cierto punto, el valor de estabilidad aumenta a medida que el contenido de asfalto aumenta. Más allá de este punto, la estabilidad disminuye con cualquier aumento en el contenido de asfalto.

6) Los valores de fluencia aumentan con aumentos en el contenido de asfalto.

2.2.4.9. Temperatura y nivel de energía de Compactación

La aptitud de compactación o compactibilidad de la mezcla depende de la composición de áridos y también de la calidad y viscosidad del betún y, por además, de la temperatura de la mezcla.

La temperatura es una variable muy importante en las obras civiles y, más aún, en aquellas que están en constante uso, recibiendo todo tipo de cargas y efectos climatológicos, como es el caso de las vías. Por lo tanto, al tener en cuenta que este factor incide en el comportamiento de los pavimentos, la vida útil de estos también se ve

afectada. La mezcla asfáltica debe deformarse sin romperse al recibir esfuerzos debidos a las cargas que varían de acuerdo con su magnitud; por esto se debe evaluar el comportamiento de la mezcla asfáltica.

La temperatura de la mezcla durante la compactación tiene una gran importancia a la hora de calcular el trabajo de compactación necesario. Cuando la mezcla tiene unas temperaturas elevadas, la baja viscosidad del asfalto contribuye al rendimiento de compactación del rodillo. El asfalto o betún actúa como un lubricante y reduce la fricción interna de la mezcla mineral. El asfalto va adquiriendo rigidez a medida que se enfría, con lo que a bajas temperaturas aumenta en gran medida el esfuerzo de compactación requerido. Por eso, como norma general, debe siempre comenzarse lo antes posible a compactar. El rango de temperaturas de compactación entre 100° y 140°C ha demostrado ser el más idóneo para las clases de betún más corrientes. A unas temperaturas entre 80 y 100° debería normalmente haberse concluido ya la compactación. (Nociones fundamentales sobre compactación de mezclas asfálticas, 2010)

2.2.5. Gravedad específica de mezcla asfáltica

Esta prueba se realiza para estimar el grado de densificación que tendrá la mezcla asfáltica colocada en la estructura del pavimento. Debe tenerse en cuenta que esta densificación es el valor estimado que tendrá la mezcla asfáltica después de un tiempo de haberse colocado en el pavimento. Esto debido a que el pavimento después de ser colocado, sigue sufriendo densificación debido al paso de los vehículos. Esta densidad es la relación entre su peso en el aire y su

volumen, incluyendo los vacíos permeables. Si la probeta tiene una absorción menor a 2 %, no se necesita parafinar la probeta (ASTM D2726), su peso específico (G_{mb}) se determina de manera sencilla, la ecuación usada es:

$$G_{mb} = \frac{W_a}{W_{ss} - W_w}$$

Donde:

W_a = masa de la probeta en el aire

W_w = masa de la probeta en el agua

W_{ss} = masa en el aire de la probeta saturada y superficialmente seca

Además, existen tres diferentes gravedades específicas relacionadas al diseño de las mezclas asfálticas en caliente que definen el volumen de las partículas de agregados: Gravedad Específica Total, Gravedad Específica Aparente y Gravedad Específica Efectiva.

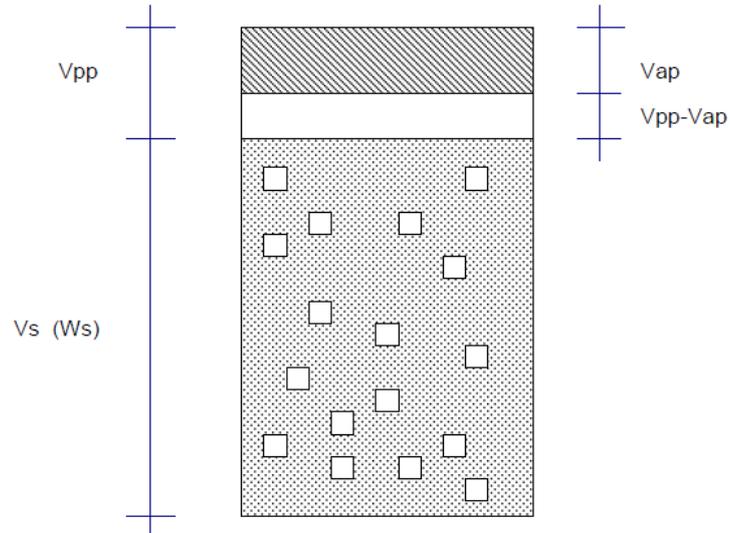
Gravedad Específica Total

Gravedad Específica Seca Aparente

Gravedad Específica Seca Bulk (Base Seca) y Saturada
Superficialmente Seca Bulk²

Gravedad Específica Efectiva

Para ilustrar los conceptos listados utilizaremos el esquema peso-volumen de la partícula de agregado



Esquema de Relaciones entre las Diferentes Gravedades Específicas de una partícula de agregado

Donde:

V_s : Volumen del agregado seco incluyendo los vacíos impermeables

V_{pp} : Volumen de poros permeables al agua

V_{ap} : Volumen de poros que absorbieron asfalto

V_{pp-Vap} : Volumen de poros permeables al agua menos los poros que absorbieron asfalto

W_s : Peso de agregado secado al horno

2.2.5.1. Propiedades Volumétricas de Mezclas Compactadas

Las propiedades volumétricas de las mezclas compactadas proporcionan algún indicativo del probable comportamiento del pavimento en servicio, estas propiedades volumétricas son vacíos de

aire (Va), vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos llenos con asfalto (VFA), y contenido de asfalto efectivo (Pbe).

Es necesario entender las definiciones y procedimientos analíticos para la determinación de estas propiedades, de tal manera que seamos capaces de seleccionar adecuadamente el diseño de mezclas. Estos conceptos se aplican tanto a mezclas compactadas como a especímenes no disturbados extraídos de campo.

Las propiedades volumétricas se aplican en todos los diseños de mezclas como Superpave, SMA y las mezclas convencionales.

2.2.6. Viscosidad-Temperatura del Asfalto

Durante muchos años los procedimientos para el diseño de las mezclas asfálticas en caliente han utilizado el concepto de temperatura de equiviscosidad para seleccionar en laboratorio las temperaturas óptimas de mezclado y compactación.

En el manual MS-2 del Asphalt Institute “Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types”, recomendaba para el procedimiento de diseño Marshall, las temperaturas de mezclado y compactación a las cuales el asfalto debe ser calentado, basadas en rangos de viscosidad Saybolt Furol, para posteriormente, cambiar a una forma más racional de medidas de viscosidad en centipoise, recomendando 170 ± 20 centipoise para la temperatura de mezclado y 280 ± 30 centipoise para la temperatura de compactación.

A la fecha los mismos rangos de viscosidad han sido recomendados para el diseño de mezclas, excepto que las unidades fueron convertidas al sistema métrico en Pascal.segundos, que corresponden a $0,17 \pm 0,02$ Pa.s. y $0,28 \pm 0,03$ Pa.s.

El propósito de utilizar las temperaturas de equiviscosidad para el mezclado y compactación en los procedimientos de diseño de mezclas, es normalizar el efecto de la viscosidad del asfalto sobre las propiedades volumétricas de la mezcla. En el caso de una planta asfáltica, la producción de mezcla asfáltica con un asfalto duro se efectúa incrementando la temperatura de mezclado hasta alcanzar el mismo grado de cobertura de los áridos que la que se obtiene con un asfalto más blando. Las temperaturas de mezclado y compactación pueden ser obtenidas mediante el viscosímetro Brookfield de acuerdo a lo indicado por la especificación ASTM D 4402. Medidas de viscosidad a dos o más temperaturas (por ej. 135 y 160°C) son volcadas en un gráfico log-log de la viscosidad en centipoise, frente a la temperatura en °Rankine. Las temperaturas recomendadas obtenidas por este método son aplicadas solamente al diseño de mezclas en el laboratorio. Para las temperaturas de mezclado y compactación en el camino, el Asphalt Institute recomienda establecer la temperatura más baja de compactación que permita obtener la densidad deseada, mediante la realización de un tramo de prueba. La temperatura de compactación en obra se ve afectada, entre otros factores, por la temperatura del aire, la temperatura de la base, la velocidad del viento, la distancia de transporte de la mezcla, el espesor

de la capa asfáltica, el equipo de compactación, etc. El procedimiento descrito es válido solamente para asfaltos obtenidos en forma directa, sin ningún tipo de modificación. El Asphalt Institute recomienda que las temperaturas de mezclado sean ligeramente más altas que las de compactación obtenidas en un tramo de prueba, pero sin superar los 170°C.

Actualmente está muy difundido el uso de los viscosímetros rotacionales que posibilitan la determinación de la viscosidad de los ligantes asfálticos a distintas temperaturas. Hemos visto que la Susceptibilidad térmica del asfalto o Índice de Penetración: la podemos determinar mediante el diagrama de Heukelom que requiere para su determinación de los datos de penetración a dos temperaturas diferentes o bien la penetración a 25°C y el punto de ablandamiento del asfalto

La viscosidad se utiliza en la ecuación predictiva para describir los efectos de la temperatura y los factores de ajuste. La viscosidad para ligantes sin envejecer puede determinarse por medio de la relación definida en la relación siguiente:

$$\log[\log(\eta)] = A + VTS \cdot \log(T)$$

Donde:

H : Viscosidad, centiPoise

TR : Temperatura, °Rankine

A : es el parámetro de intersección de la viscosidad.

VTS (Susceptibilidad Viscosidad-Temperatura): Pendiente de la curva de regresión.

Esta relación lineal permite la caracterización de la viscosidad del ligante en un amplio rango de temperaturas y se recomienda utilizar solo para ligantes sin modificar.

2.2.7. Transporte de Mezcla Asfáltica en Caliente.

La mezcla asfáltica se transportará desde el lugar de suministro hasta el punto de aplicación en condiciones que garanticen la calidad de la misma, hasta una hora del día en que las operaciones de extensión y compactación se puedan realizar correctamente con luz solar. Durante el transporte de la mezcla se deberá tomar precauciones para que al momento de descargarla su temperatura no sea inferior a la mínima que se determinó aceptable en la fase de experimentación.

2.2.7.1. Equipo para transporte.

El transporte de mezcla asfáltica se realiza mediante camiones volquete, los cuales deben tener la tolva limpia y a su vez lubricada con agua jabonosa u otros lubricantes, para así evitar que la mezcla se adhiera, estas tolvas deberán ser de metal, lizas y sin hoyos.

Así mismo se debe disponer de Lonas y/o Cobertores para cubrir la mezcla de las inclemencias climatológicas, agentes contaminantes o del mismo modo evitar el descenso acelerado de la temperatura, enfriándose solo una pequeña costra superficial, lo que permite distancias máximas de transporte apreciables.

Se debe prestar mucha atención a la colocación de las lonas impermeables y resistentes ya que se debe cubrir correctamente toda la caja del camión, deben existir suficientes puntos de atado para

asegurarlas adecuadamente y así evitar que se agite por el viento durante el viaje. Una lona que no cubra bien la carga durante el transporte es peor que si no se llevase ninguna ya que, a menos que solape los laterales, frente y trasero de la caja, el aire fluirá bajo la lona durante el transporte y aumentará la velocidad de enfriamiento de la mezcla. Además, en tiempo lluvioso, el agua que cae sobre la lona se verterá al interior de la caja, en vez de hacerlo fuera por el lateral del vehículo.

El transporte de la mezcla debe organizarse con continuidad, ajustando un número de camiones al tiempo de producción de la Planta asfáltica y a la capacidad del equipo de puesta en obra. No es recomendable, ni económico, que haya falta de camiones y el equipo de puesta en obra este parado con frecuencia, ni que haya exceso de camiones.

2.2.7.2. Transporte y entrega de mezcla.

El transporte de la mezcla bituminosa desde la Planta asfáltica hasta el equipo de puesta en obra puede tener una gran influencia en lograr una buena o mala puesta en obra de la misma.

Un aspecto clave en la puesta en obra de las mezclas asfálticas en caliente es la distancia de transporte. Esta distancia es determinada en base al tiempo y a la velocidad de viaje.

El tiempo necesario que invierte un volquete en realizar un acarreo consta de:

- Tiempo de Carga: Es el tiempo necesario para que la planta asfáltica llene el material al volquete, dependiendo de la capacidad de la tolva y los ciclos de vertido.
- Tiempo de Viaje: Es el tiempo necesario para que el volquete cargado recorra la distancia existente desde el punto de acopio hasta el punto de entrega, este depende de la distancia de acarreo y la velocidad que utilice el volquete cargado.
- Tiempos de Descarga: Este tiempo depende del tipo de unidad que se utiliza para el acarreo y la congestión en la zona de descarga.

$$\mathbf{T_t = T_c + T_v + T_d}$$

La velocidad a la que circule dependerá de las siguientes consideraciones:

- Según rendimiento de transporte establecidos por Provias Nacional establece una velocidad entre 15 y 20 Km/h cargado, siendo utilizado con mayor frecuencia en la Región Centro.
- Según la SUTRAN detalla las siguientes velocidades límites para Camiones de carga: en las ciudades o zonas pobladas, hasta 40 Km/h; para atravesar boca-calles, cruces o doblar esquinas, hasta 10 km/h; en carreteras fuera de las poblaciones y en línea recta, hasta 70 km/h; en las carreteras

en curva hasta 40 Km/h.

Sin embargo, estas velocidades son variables y dependerán de la ubicación de la planta, de las condiciones de acceso, condiciones climatológicas y demás.

Otro aspecto importante es la segregación del material, que se evitará minimizando las alturas de descarga formando montones cónicos. El material se deberá mover lentamente durante la carga, ayudando manualmente si es necesario la distribución lateral. Durante el transporte se pueden apreciar razones que pueden motivar el rechazo de la mezclan.

- **Temperatura alta:** Se detecta cuando la mezcla desprende un humo azulado, en cuyo caso se debe comprobar la temperatura.
- **Temperatura baja:** La mezcla presenta un aspecto poco fluido, con los áridos gruesos mal cubiertos. Se debe comprobar la temperatura.
- **Exceso de ligante:** Es fácil de detectar si la mezcla fluye o asienta más de lo normal. Se debe tomar una muestra y señalar la zona por si hay que levantarla en el caso de confirmarse el exceso.
- **Defecto de ligante:** Falta brillo en la mezcla y los áridos no se encuentran perfectamente recubiertos, con un aspecto suelto del material. Se procederá igual que con el exceso.

- **Falta de uniformidad:** Se aprecia el distinto aspecto de la mezcla en distintas zonas.
- **Exceso de árido grueso:** El aspecto de la mezcla es parecido al de exceso de ligante, pero una vez extendida la capa, se aprecia una textura más gruesa y abierta de lo normal.
- **Exceso de árido fino:** El aspecto es el del defecto de ligante, que se puede comprobar observando la textura superficial de la mezcla una vez extendida, así como su comportamiento al compactarla.
- **Segregación de la mezcla:** Se observa una segregación excesiva entre gruesos y finos al extender la mezcla.
- **Contaminaciones:** Durante el transporte puede contaminarse la mezcla con gasoil, agua, polvo, restos vegetales, etc. (Ing Victor Yepes Piquera-2016)

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Métodos y alcance de la investigación

3.1.1. Método Científico

Según (Ruiz, 2007) indica que es el procedimiento planteado que se sigue en la investigación para descubrir las formas de existencia de los procesos objetivos, para generalizar y profundizar los conocimientos así adquiridos.

Se manipulará las variables (temperatura de compactación, distancia de transporte y propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas) intencionalmente, para analizar la influencia que tiene disminuir la temperatura de compactación en las mezclas asfálticas y hasta que distancia de transporte desde la planta de asfalto puede alcanzar la mezcla asfáltica para la compactación.

3.1.2. Tipos de Investigación

- Según la intervención del investigador es experimental, porque se manipula la variable independiente (temperatura de compactación de la mezcla asfáltica) y se determina de qué manera influye en las propiedades de la mezcla asfáltica y la distancia límite de transporte.
- Según el número de veces en que se mide la variable de estudio, será longitudinal. Porque se medirá y compara las variables en dos tiempos (antes-después), se tiene como hipótesis que la temperatura de compactación influye en las propiedades de la mezcla asfáltica, después de la experimentación se analizará en qué manera influye.
- Según el número de variables de interés, será analítico, ya que requiere un análisis estadístico y experimental, porque después de ver que, si influye experimentalmente, se analizará mediante el programa SPSS si influye estadísticamente.

3.1.3. Nivel de Investigación

El nivel de la investigación será explicativo, porque después del proceso experimental, explicará los resultados obtenidos del estudio.

Explica el comportamiento de la variable dependiente en función de la independiente, es un estudio de causa-efecto y estas requieren control, como se observará en la presente tesis donde se controlará la temperatura de compactación para observar en que influye en las propiedades de la mezcla asfáltica y con ello observar hasta que distancia de transporte se puede compactar la mezcla asfáltica.

3.2. Diseño de investigación

3.2.1. Diseño general

El siguiente diseño de la investigación es experimental, se medirá el efecto que causa la variable independiente (temperatura de compactación) sobre la variable dependiente (propiedades de la mezcla asfáltica y distancia de transporte).

3.2.2. Diseño específico

El siguiente diseño de la investigación, es experimental, pues se va a modificar la temperatura de compactación para observar la influencia en las características de la mezcla asfáltica.

Tabla 13.
Diseño de investigación

GRUPOS	PRE PRUEBA	INTERVEN- CION	POST PRUEBA
E	Y	X	Y
C	Y	-	Y

3.3. Población y muestra

La presente investigación busca investigar el efecto de la temperatura de compactación y distancia de transporte en las propiedades de las mezclas asfálticas en caliente en la región centro.

3.3.1. Población

La población objetivo son todas las mezclas asfálticas en caliente en la región del centro.

3.3.2. Muestra

La muestra se realizó de la siguiente manera, como se detalla en las siguientes tablas.

Tabla 14.
Obtención del % óptimo de asfalto

% Asfalto	N° de muestras
4.0%	3
4.5%	3
5.0%	3
5.5%	3
6.0%	3
6.5%	3

Tabla 15.
Muestras según temperatura de compactación.

T° Compactación	N° de muestras
160°C	10
150°C	10
140°C	10
130°C	10
120°C	10
110°C	10
100°C	10
90°C	10
80°C	10
70°C	10
60°C	10
50°C	10
40°C	10

La tabla 15, se observa que se realizó un total de 130 briquetas de Marshall de 4" de diámetro como se muestra en la figura 6.



Figura 6. Briquetas de Marshall.
Fuente: (Ciaffaroni, 2011)

Los materiales empleados fueron obtenidos de la cantera de Matahuasi en el distrito de Concepción, se recopiló los siguientes materiales: Piedra Chancada de $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ ", Arena Chancada y Arena Zarandeada.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos usados en la presente investigación fueron:

Equipos de cómputo, equipos de laboratorio para realizar los ensayos previos al material en estudio y observar las propiedades de la mezcla asfáltica.

3.4.2. Técnica de recolección de datos

- Se ha obtenido el material en estudio de la planta chancadora de Matahuasi ubicada en el distrito de Concepción.
- Se realizó los ensayos básicos para la piedra de $\frac{3}{4}$ " y de $\frac{1}{2}$ ", como son granulometría, chatas, alargadas, caras fracturadas, peso específico y absorción.

- Se realizó los ensayos básicos para la arena chancada y zarandeada como son granulometría, peso específico y absorción.
- Se realizó la combinación teórica de agregado y asfalto, gracias a la granulometría realizada con el fin de obtener dosificación para cada porcentaje de asfalto.
- Se realizaron las briquetas con diferentes porcentajes de asfalto, con el fin de obtener el porcentaje óptimo de asfalto.
- Se ensayaron las briquetas, con el fin de obtener la estabilidad, flujo, densidad, Va, VMA, VFA.
- Se obtuvo el porcentaje óptimo de asfalto, cual dosificación fue empleada para realizar los 130 moldes, cuales también se ensayaron la estabilidad, flujo, densidad y porcentaje de vacíos.
- Con los datos obtenidos se analizarán estadísticamente, la normalidad de datos y la correlación entre la estabilidad, fluencia y densidad frente a la temperatura de compactación.

3.5. Procedimiento de la metodología

3.5.1. Análisis de agregado de la cantera Matahuasi

Se analizó los materiales obtenidos de la cantera cada uno detallando sus propias características.

3.5.1.1. Arena Chancada

A. Granulometría (MTC E 204)

En primera instancia se analizó las características granulométricas, siendo el resultado lo observado en la tabla 16,

donde el tamaño máximo del material es de 4.760 mm (N°4), según especificaciones es material fino a partir del tamiz N°4.

Peso Total : 3000.0 gramos

Peso muestra lavada : 2778.0 gramos

Tabla 16.
Granulometría de la Arena Chancada.

Malla		Peso	% Ret	% Ret	% que
Tamiz	mm.	(gr)	Parcial	Acum.	Pasa
3/8"	9.525				
1/4"	6.350				100.0
No4	4.760	30.0	1.0	1.0	99.0
8	2.360	735.0	24.5	25.5	74.5
10	2.000	330.0	11.0	36.5	63.5
16	1.190	339.0	11.3	47.8	52.2
30	0.600	372.0	12.4	60.2	39.8
40	0.420	198.0	6.6	66.8	33.2
50	0.300	72.0	2.4	69.2	30.8
80	0.180	339.0	11.3	80.5	19.5
100	0.149	219.0	7.3	87.8	12.2
200	0.074	144.0	4.8	92.6	7.4
< 200		222.0	7.4	100.0	0.0

Para el análisis se obtuvo también su curva granulométrica esta se detalla en la figura 7.

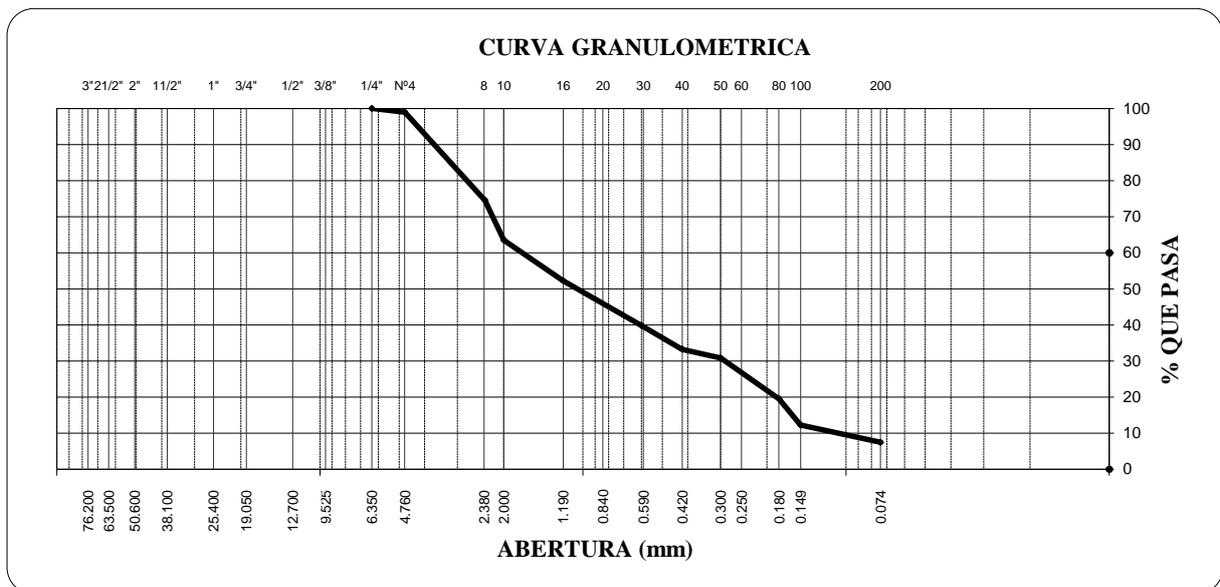


Figura 7. Curva granulométrica de la Arena chancada.

B. Gravedad Específica y Absorción (MTC E 205 / 206)

Se ensayó el material buscando los pesos específicos bulk (base seca, saturada) además de la absorción de material, pues debe de cumplir con las especificaciones técnicas dadas por la MTC y así se puede emplear este material.

Tabla 17.

Ensayo de gravedad específica y absorción de la Arena Chancada.

A	Peso Mat. Sat. Sup. Seco (en Aire) (gr)	500.0	500.0	500.0
B	Peso Frasco + agua	649.9	652.3	647.8
C	Peso Frasco + agua + A (gr)	1149.9	1152.3	1147.8
D	Peso del Mat. + agua en el frasco (gr)	961.6	962.5	959.2
E	Vol de masa + vol. de vacío = C-D (gr)	188.3	189.8	188.6
F	Pe. De Mat. Seco en estufa (105°C) (gr)	497.8	498.5	497.5
G	Vol. de masa = E - (A - F) (gr)	186.06	188.30	186.10
	Pe bulk (Base seca) = F/E	2.644	2.626	2.638
	Pe bulk (Base saturada) = A/E	2.656	2.634	2.651
	Pe aparente (Base Seca) = F/G	2.675	2.647	2.673
	% de absorción = ((A - F)/F)*100	0.44	0.30	0.50

Se analizaron 3 muestras para obtener un promedio, y así obtener un resultado confiable, el promedio se observa en la tabla 18.

Tabla 18.

Promedio de resultados de gravedad específica y absorción para la Arena Chancada

DESCRIPCION	PROMEDIO
Pe bulk (Base seca)	2.636
Pe bulk (Base saturada)	2.647
Pe aparente (Base Seca)	2.665
% de absorción	0.42

3.5.1.2. Arena Zarandeada

A. Granulometría (MTC E 204)

Se analizó las características granulométricas, siendo el resultado lo observado en la tabla 19, donde el tamaño máximo del material es de 4.760 mm (N°4), según especificaciones es material fino a partir del tamiz N°4, se analizó con:

- Peso total: 3000.00 gramos
- Peso muestra lavada: 2862.00 gramos

Tabla 19.
Granulometría de la Arena Zarandeada

Malla		Peso	% Ret	% Ret	% que
Tamiz	mm.	(gr)	Parcial	Acum.	Pasa
1/4"	6.350				100.0
No4	4.760	42.0	1.4	1.4	98.6
8	2.360	408.0	13.6	15.0	85.0
10	2.000	384.0	12.8	27.8	72.2
16	1.190	384.0	12.8	40.6	59.4
30	0.600	744.0	24.8	65.4	34.6
40	0.420	213.0	7.1	72.5	27.5
50	0.300	357.0	11.9	84.4	15.6
80	0.180	99.0	3.3	87.7	12.3
100	0.149	165.0	5.5	93.2	6.8
200	0.074	66.0	2.2	95.4	4.6
< 200		138.0	4.6	100.0	0.0

Para el análisis se obtuvo también su curva granulométrica esta se detalla en la figura 8.

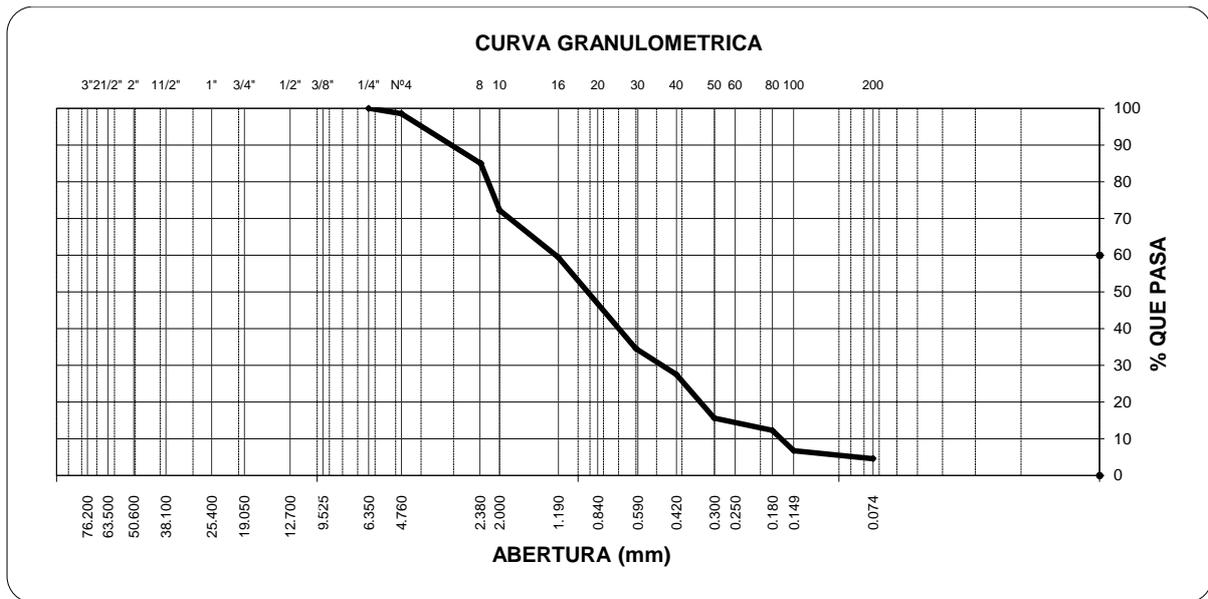


Figura 8. Curva granulométrica de la Arena Zarandeada.

B. Gravedad Especifica y Absorción (MTC E 205 / 206)

Se ensayó el material buscando los pesos específicos bulk (base seca, saturada) además de la absorción de material, pues debe de cumplir con las especificaciones técnicas dadas por la MTC y así se puede emplear este material.

Tabla 20.

Ensayo de gravedad específica y absorción de la Arena Zarandeada.

A	Peso Mat. Sat. Sup. Seco (en Aire) (gr)	500.0	500.0	500.0
B	Peso Frasco + agua	649.9	650.9	649.1
C	Peso Frasco + agua + A (gr)	1149.9	1150.9	1149.1
D	Peso del Mat. + agua en el frasco (gr)	948.0	947.1	947.8
E	Vol. de masa + vol. de vacío = C-D (gr)	201.9	203.8	201.3
F	Pe. de Mat. Seco en estufa (105°C) (gr)	498.1	498.3	497.9
G	Vol. de masa = E - (A - F) (gr)	200.03	202.10	199.20
	Pe bulk (Base seca) = F/E	2.467	2.445	2.473
	Pe bulk (Base saturada) = A/E	2.476	2.453	2.484
	Pe aparente (Base Seca) = F/G	2.490	2.466	2.499
	% de absorción = ((A - F)/F)*100	0.38	0.34	0.42

Se analizaron 3 muestras para obtener un promedio cual,

nos demuestra un resultado confiable, el promedio se observa en la tabla 21.

Tabla 21.
Promedio de resultados de gravedad específica y absorción para la Arena Zarandeada

DESCRIPCION	PROMEDIO
Pe bulk (Base seca)	2.462
Pe bulk (Base saturada)	2.471
Pe aparente (Base Seca)	2.485
% de absorción	0.38

3.5.1.3. Piedra Chancada de ½"

A. Granulometría (MTC E 204)

Se analizó las características granulométricas, siendo el resultado lo observado en la tabla 22, donde el tamaño máximo del material es de 12.700 mm (1/2") el cual según especificaciones es material grueso, el ensayo se realizó con:

- Peso total: 3000.00 gramos

Tabla 22.
Granulometría de la Piedra Chancada de ½"

Malla		Peso	% Ret	% Ret	% que
Tamiz	mm.	(gr)	Parcial	Acum.	Pasa
3/4"	19.050				100.0
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.525	138	4.6	4.6	95.4
1/4"	6.350	0	0.0	4.6	95.4
No4	4.760	2628	87.6	92.2	7.8
8	2.360	210	7.0	99.2	0.8
10	2.000	0	0.0	99.2	0.8

Malla		Peso	% Ret	% Ret	% que
Tamiz	mm.	(gr)	Parcial	Acum.	Pasa
16	1.190	10.2	0.3	99.5	0.5
20	0.840	0.0	0.0	99.5	0.5
30	0.600	6.0	0.2	99.7	0.3
200	0.074				
< 200					

Para el análisis se obtuvo también su curva granulométrica esta se detalla en la figura 9.

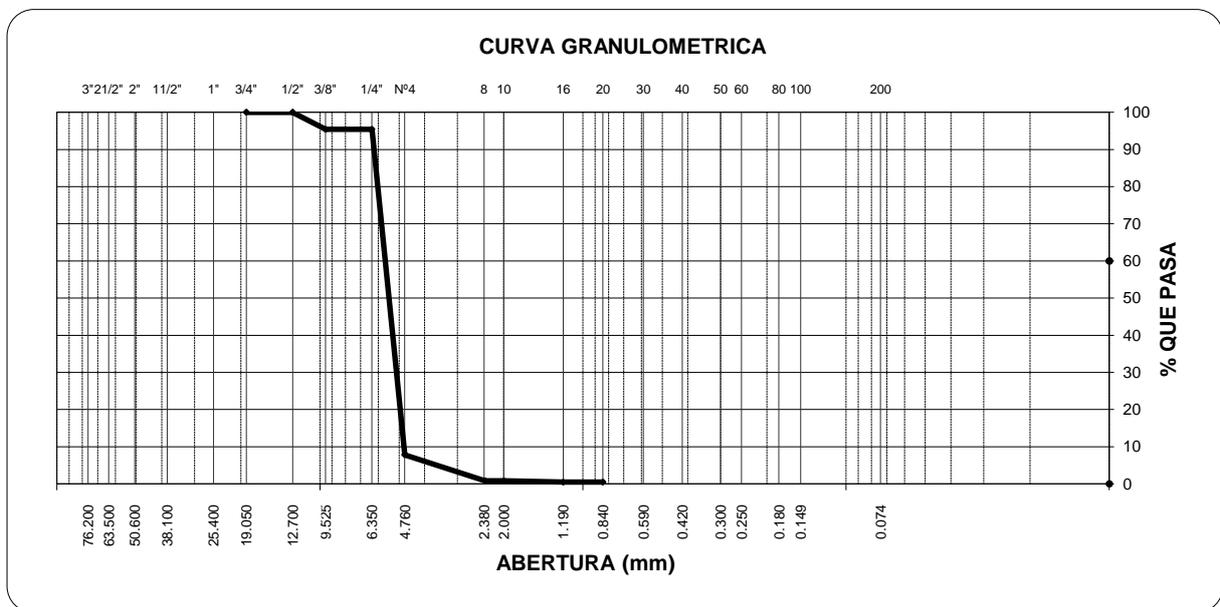


Figura 9. Curva granulométrica de la Piedra Chancada de 1/2''

B. Gravedad Especifica y Absorción (MTC E 205 / 206)

Se ensayó el material buscando los pesos específicos bulk (base seca, saturada) además de la absorción de material, pues debe de cumplir con las especificaciones técnicas dadas por la MTC y así se puede emplear este material.

Tabla 23.

Ensayo de gravedad específica y absorción de la Piedra Chancada ½”

A	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (En Aire) (gr)	2000.0	2000.0	2000.0
B	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (En Agua) (gr)	1260.0	1265.0	1257.0
C	Vol. de masa + vol. de vacíos = A-B (gr)	740.0	735.0	743.0
D	Peso material seco en estufa (105 °C)(gr)	1985.0	1983.0	1982.0
E	Vol. de masa = C- (A - D) (gr)	725.0	718.0	725.000
	Pe bulk (Base seca) = D/C	2.682	2.698	2.668
	Pe bulk (Base saturada) = A/C	2.703	2.721	2.692
	Pe aparente (Base Seca) = D/E	2.738	2.762	2.734
	% de absorción = ((A - D) / D * 100)	0.76	0.86	0.91

Se analizaron 3 muestras para obtener un promedio cual, nos demuestra un resultado confiable, el promedio se observa en la tabla 24.

Tabla 24.

Promedio de resultados de gravedad específica y absorción para la Piedra Chancada de ½”

DESCRIPCION	PROMEDIO
Pe bulk (Base seca)	2.683
Pe bulk (Base saturada)	2.705
Pe aparente (Base Seca)	2.745
% de absorción	0.84

3.5.1.4. Piedra Chancada de ¾”**A. Granulometría (MTC E 204)**

Se analizó las características granulométricas, siendo el resultado lo observado en la tabla 25, donde el tamaño máximo del material es de 19.050 mm (¾”) el cual según especificaciones es material grueso, el ensayo se realizó con:

- Peso total: 3000.00 gramos

Tabla 25.

Granulometría de la Piedra Chancada de ¾"

Malla		Peso	% Ret	% Ret	% que
Tamiz	mm.	(gr)	Parcial	Acum.	Pasa
¾"	19.050				100.0
½"	12.700	1710	57.0	57.0	43.0
⅜"	9.525	945	31.5	88.5	11.5
¼"	6.350	0	0.0	88.5	11.5
No4	4.760	336	11.2	99.7	0.3
8	2.360	8	0.3	100.0	0.0
< 200					

Para el análisis se obtuvo también su curva granulométrica esta se detalla en la figura 10

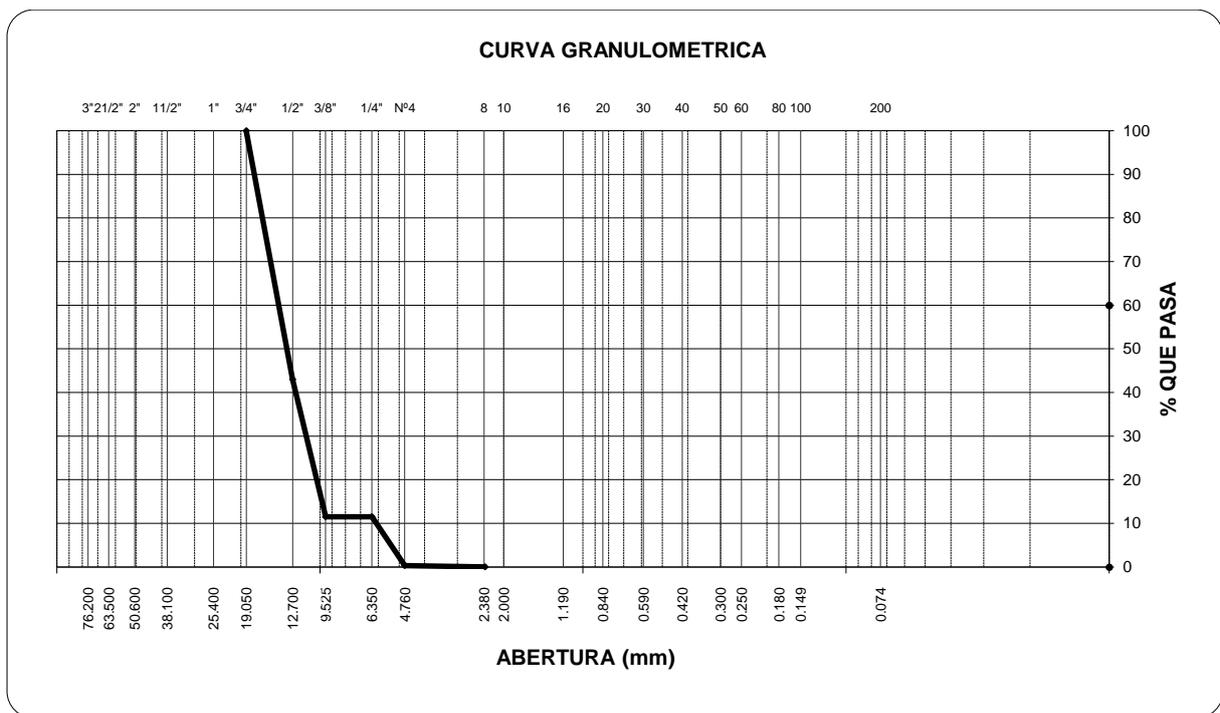


Figura 10. Curva granulométrica de la Piedra Chancada de ¾"

B. Gravedad Especifica y Absorción (MTC E 205 / 206)

Se ensayó el material buscando los pesos específicos bulk (base seca, saturada) además de la absorción de material, pues debe de cumplir con las especificaciones técnicas dadas por la MTC y así se puede emplear este material.

Tabla 26.

Ensayo de gravedad específica y absorción de la Piedra Chancada ¾"

A	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (En Aire) (gr)	2000.0	2000.0	2000.0
B	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (En Agua) (gr)	1270.0	1275.0	1273.0
C	Vol. de masa + vol. de vacíos = A-B (gr)	730.0	725.0	727.0
D	Peso material seco en estufa (105 °C)(gr)	1984.0	1986.0	1983.0
E	Vol. de masa = C- (A - D) (gr)	714.0	711.0	710.0
	Pe bulk (Base seca) = D/C	2.718	2.739	2.728
	Pe bulk (Base saturada) = A/C	2.740	2.759	2.751
	Pe Aparente (Base Seca) = D/E	2.779	2.793	2.793
	% de absorción = ((A - D) / D * 100)	0.81	0.70	0.86

Se analizaron 3 muestras para obtener un promedio cual, nos demuestra un resultado confiable, el promedio se observa en la tabla 27.

Tabla 27.

Promedio de resultados de gravedad específica y absorción para la Piedra Chancada de ¾"

DESCRIPCION	PROMEDIO
Pe bulk (Base seca)	2.728
Pe bulk (Base saturada)	2.750
Pe aparente (Base Seca)	2.788
% de absorción	0.79

3.5.2. Mezcla Asfáltica óptima

3.5.2.1. Mezcla de agregados – MAC 2

Para la combinación de agregados se busca cumplir con las especificaciones de MAC – 2 descritas por la MTC de manera que se tantea los porcentajes otorgados a cada material, así buscando que la curva granulométrica del material se encuentre dentro del uso MAC –

2. En la tabla 28 se observa la combinación de agregados en teoría, se le otorgo los siguientes porcentajes para cada material:



Figura 11. Combinación de agregados

- Piedra Chancada $\frac{3}{4}$ " : 15.0% de incidencia.
- Piedra Chancada $\frac{1}{2}$ " : 18.0% de incidencia.
- Arena Zarandeada: 28.0% de incidencia.
- Arena Chancada: 39.0% de incidencia.

Tabla 28.
Mezcla de agregados

Malla		Porcentajes pasantes (%)					Especificaciones	
Tamiz	mm	PIEDRAS		ARENAS		MEZCLA	MAC - 2	
		pedra 3/4"	pedra 1/2"	Arena Procesada	Arena Chancada		MTC	
Proporciones		3/4"	1/2"	NATURAL	CHANCADA	100.0%		
		15.0%	18.0%	28.0%	39.0%			
1"	25.400	100.0	100.0	100.0	100.0			
3/4"	19.050	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	100
1/2"	12.700	43.0	100.0	100.0	100.0	91.5	80	- 100
3/8"	9.525	11.5	95.4	100.0	100.0	85.9	70	- 88
Nº 4	4.760	0.3	7.8	98.6	99.0	67.7	51	- 68
Nº 8	2.360	0.0	0.8	85.0	74.5	53.0		
Nº 10	2.000	0.0	0.5	72.2	63.5	45.1	38	- 52
Nº 16	1.180		0.3	59.4	52.2	37.0		
Nº 30	0.600		0.0	34.6	39.8	25.2		
Nº 40	0.420			27.5	33.2	20.6	17	- 28
Nº 50	0.300			15.6	30.8	16.4		
Nº 80	0.180			12.3	19.5	11.0	8	- 17
Nº 100	0.150			6.8	12.2	6.7		
Nº 200	0.074			4.6	7.4	4.2	4	- 8
pasa								

En la figura 12 se observa que la curva granulométrica combinada se encuentra dentro del uso de MAC-2 cual certifica que con los porcentajes descritos en la tabla 28 son adecuados.

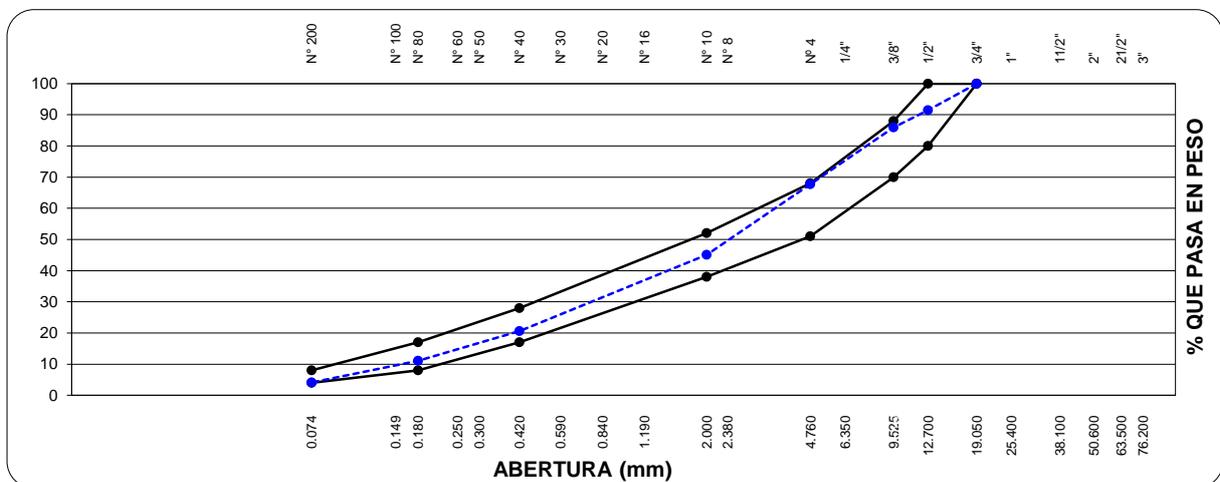


Figura 12. Curva granulométrica de mezcla de agregados.

Con los porcentajes obtenidos se realiza un análisis profundo de cuanto es el material necesario de las mallas incidentes que se detalla en la Tabla 29, se observa que para cada porcentaje de asfalto se tiene un peso específico de cada malla, cual se empleó en realizar la mezcla de agregados para una briqueta de Marshall. Cada briqueta de Marshall tiene un peso aproximado de 1250 gramos, cual se toma en cuenta pues para cada porcentaje de asfalto se trabajó con este peso.

Tabla 29.
Dosificación para 1 briqueta de asfalto

Mat	% Asfalto	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50
	Malla						
Arena Chancada	1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	# 4	4.7	4.7	4.6	4.6	4.6	4.6
	#16	219.0	217.9	216.7	215.6	214.5	213.3
	< #16	244.3	243.0	241.8	240.5	239.2	237.9
	SUB TOTAL	468.0	465.6	463.1	460.7	458.3	455.8
Arena Zarandeada	3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	# 4	4.7	4.7	4.7	4.6	4.6	4.6
	# 16	131.7	131.0	130.3	129.7	129.0	128.3
	< #16	199.6	198.5	197.5	196.5	195.4	194.4
SUB TOTAL	336.0	334.3	332.5	330.8	329.0	327.3	
piedra 1/2"	3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3/8"	9.9	9.9	9.8	9.8	9.7	9.7
	# 4	189.2	188.2	187.2	186.3	185.3	184.3
	# 16	16.2	16.1	16.0	15.9	15.9	15.8
	< #16	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
SUB TOTAL	216.0	214.9	213.8	212.6	211.5	210.4	
piedra 3/4"	3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1/2"	102.6	102.1	101.5	101.0	100.5	99.9
	3/8"	56.7	56.4	56.1	55.8	55.5	55.2

	# 4	20.2	20.1	20.0	19.8	19.7	19.6
	# 8	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	< #8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	SUB TOTAL	180.0	179.1	178.1	177.2	176.3	175.3
PESO DE AGREGADO		1200.0	1193.8	1187.5	1181.3	1175.0	1168.8
PEN 85 - 100		50.0	56.3	62.5	68.8	75.0	81.3
TOTAL MUESTRA		1250.0	1250.0	1250.0	1250.0	1250.0	1250.0



Figura 13. Peso para 6% de asfalto

En la figura 13 se observa el peso para el 6% de asfalto cual es de 1175.1 gramos, se observa los materiales unidos (piedra y arena).

3.5.2.2. Mezcla Agregado - Asfalto

Para la mezcla asfáltica ha de tener en cuenta que se debe de realizar la mezcla con el agregado a 160°C de igual manera el asfalto empleado cual es Asfalto CAP-PEN 85-100, pues a esa temperatura la adhesividad entre agregado y asfalto es adecuada. La ficha técnica del asfalto se puede ver en el anexo 1.

La mezcla de agregado fue calentada mediante un horno a 160°C, cual después se añadirá al agregado combinado con

anterioridad como se observa en la figura



Figura 14. Echado de asfalto al agregado.



Figura 15: Agregado con asfalto previa combinación.

Para la combinación de agregado y asfalto se ha empleado una cocina, controlado la temperatura de combinación con un termómetro. Se realizó la combinación a 160°C.



Figura 16. Mezcla de agregado y asfalto.

Luego se realizó el echado de la mezcla a la briqueta ubicada en el pedestal de compactación como se observa en la figura 16.



Figura 17. Echado del material combinado en la briqueta de 4".

Realizado lo descrito anteriormente se procedió a compactar las muestras a 75 golpes ambos lados, pues ello indica la MTC para una vía tipo A, cual refiere a una vía de alto tránsito vehicular.



Figura 18. Compactación por Método Marshall.

Posteriormente se deja el molde a enfriar a temperatura ambiente, luego se desmolda el molde con un equipo especial para ese trabajo, como se observa en la figura 19.



Figura 19. Equipo desmoldador.

Luego de desmoldar se deja 24 horas para poder ensayar las briquetas en la prensa de Marshall que se muestra en la figura 20. Donde se obtuvo que el 5% de asfalto es el óptimo debido a que presenta mejores características a los demás.



Figura 20. Prensa de Marshall

3.5.2.3. Mezcla Asfáltica con 5% de Asfalto

Obtenido que el porcentaje óptimo de asfalto cual es de 5%, se procede a realizar los moldes a diferentes temperaturas, se iniciara a 160°C como se observa en la figura 21.



Figura 21. Compactación a 160°C

Se realizó 10 muestras por cada temperatura de compactación, como se observa la figura 22 que realizo una compactación a 110°C y en la figura 23 a una temperatura de compactación de 100°C.

En la temperatura de compactación de 110°C se visualizó que comenzó a endurecerse la muestra y la trabajabilidad comienza a disminuir, pero aun la compactación es la adecuada, pero tendrá gran altura el espesor.



Figura 22. Temperatura de compactación a 110°C

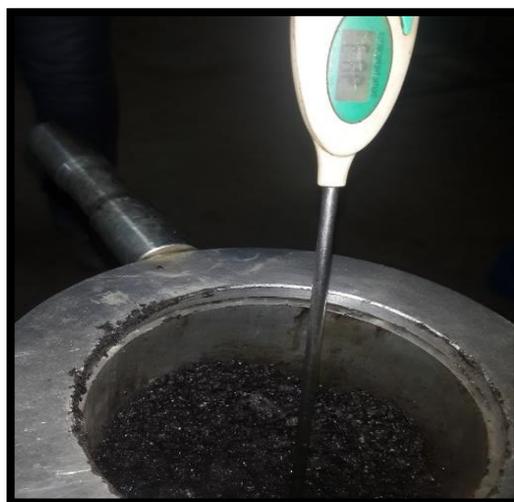


Figura 23. Temperatura de compactación a 100°C

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. % óptimo de asfalto

En primera instancia se determinó el porcentaje óptimo a emplear, pues este porcentaje debe de tener buenas condiciones, para así poder afectarlo con la variable que es la temperatura de compactación, la cual nos permitirá determinar hasta que temperatura apropiada debemos de trabajar, que cumpla con los estándares de calidad hasta su compactación y así poder determinar la distancia óptima para el traslado de la mezcla desde la planta de asfalto.

Para obtener el óptimo porcentaje de asfalto se analizó la estabilidad y fluencia de la mezcla asfáltica. En la tabla se observa los datos promedio obtenidos.

Tabla 30.
 Datos para analizar el % óptimo de Asfalto

% DE CEMENTO ASFALTICO	ESTABILIDAD PROMEDIO (kgf)	FLUJO (mm)	% VACIOS	PESO UNITARIO gr/cc	% VMA	% VACIOS LLENOS DE ASFALTO
4.00	1402.6	2.05	6.11	2.516	7.01	12.81
4.50	1425.9	2.6	4.78	2.533	6.91	30.90
5.00	1475.5	3.7	4.04	2.535	7.35	45.03
5.50	1436	4.1	3.82	2.518	8.50	55.08
6.00	1419.8	5.3	3.35	2.494	9.80	65.83
6.50	1358	6.1	3.03	2.502	9.98	69.67

Fuente: Propia

a) Estabilidad

En la estabilidad se analizó qué porcentaje de asfalto alcanza el mayor promedio. En este caso se observa en la figura 24, que el que alcanzó el mayor valor de estabilidad es el 5% de cemento asfaltico con 1475 kgf.

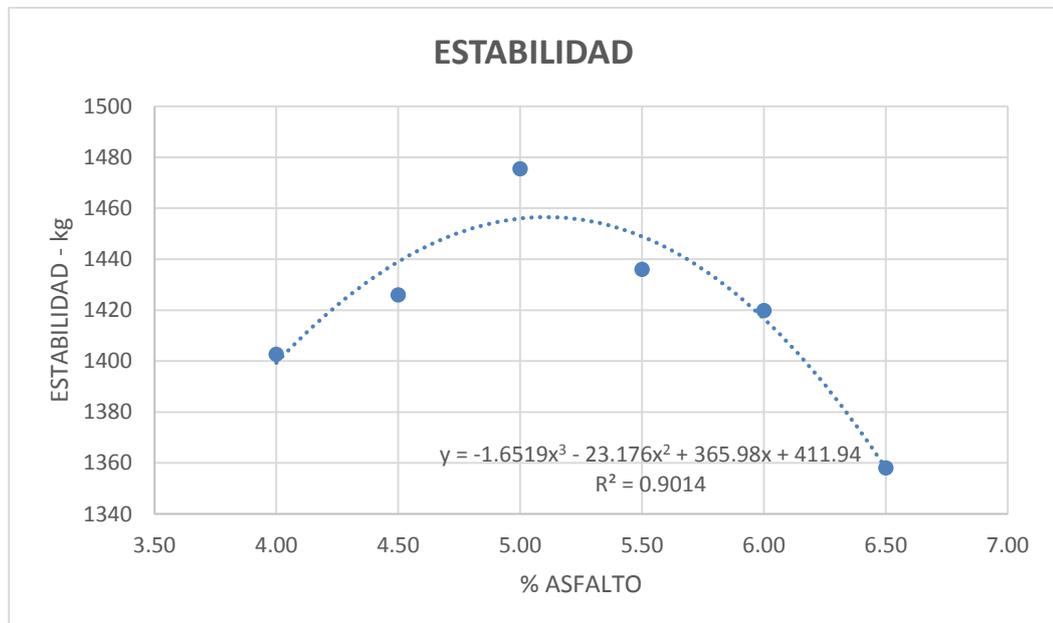


Figura 24. Estabilidad vs % de Asfalto para determinar el óptimo porcentaje de asfalto.

b) Fluencia

En la figura 25 se observa la fluencia para cada porcentaje de asfalto

empleado, a partir del cual podemos analizar el porcentaje óptimo de asfalto. Como se obtuvo la estabilidad máxima al 5%, entonces se analizará su deformación o flujo del 5% de asfalto, visto que alcanza 3.7 mm de deformación, indica que sí se encuentra dentro del rango planteado por el MTC que es para 75 golpes por cada cara de la briqueta, debe de estar dentro del rango de 2 a 4 mm de deformación.

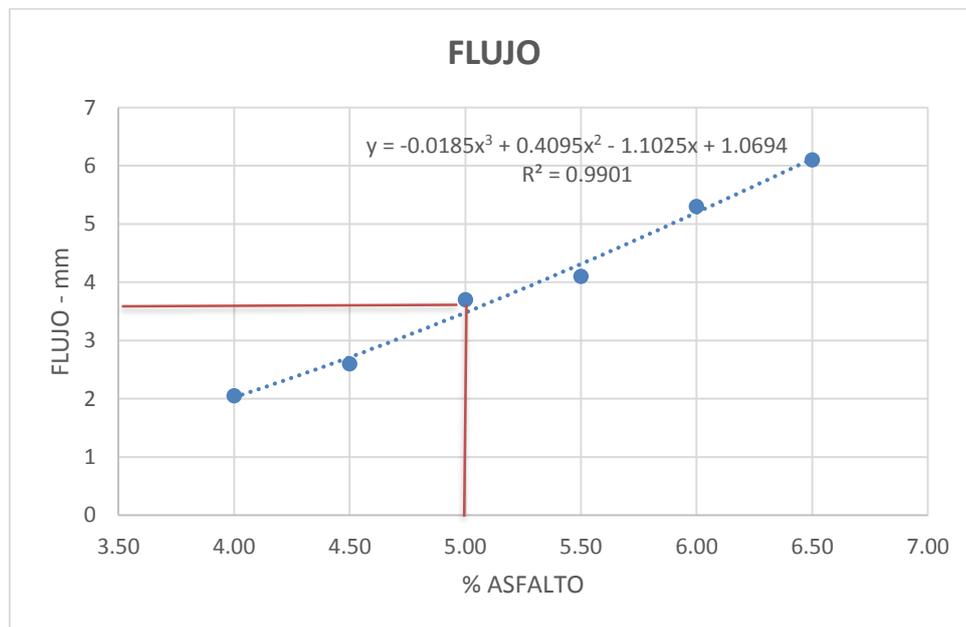


Figura 25. Flujo vs % de Asfalto para determinar el porcentaje óptimo de asfalto.

c) VMA

En la figura 26 se muestra la relación entre Vacíos de Agregado Mineral vs el porcentaje de Asfalto donde se observa que a medida que se incrementa el contenido de asfalto, el VMA decrece hasta un valor y luego aumenta.

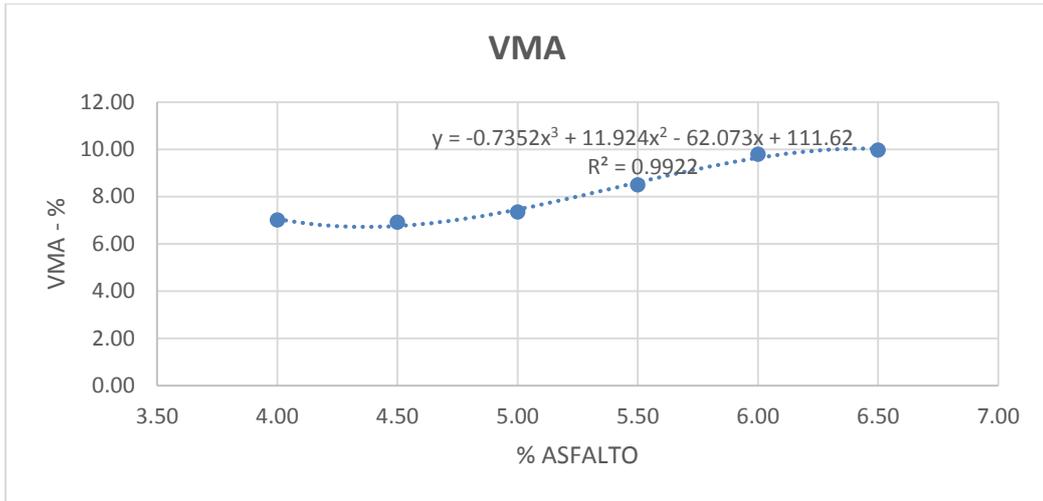


Figura 26. VMA vs % de Asfalto para determinar el óptimo porcentaje de asfalto.

d) VACIOS

A medida que se incrementa el contenido de Asfalto, se reduce el porcentaje de Vacíos como se aprecia en la figura 27.

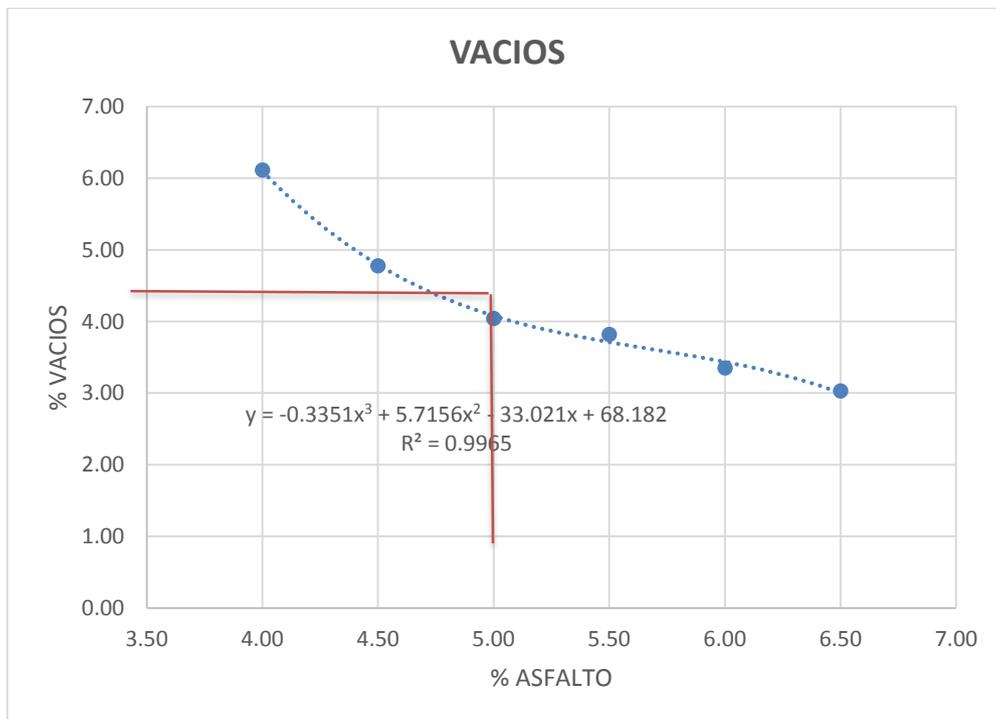


Figura 27. Vacíos vs % de Asfalto para determinar el óptimo porcentaje de asfalto.

e) PESO UNITARIO

En la figura 28 se observa que al incrementar el contenido de asfalto aumenta el peso específico hasta un punto máximo y luego decrece.

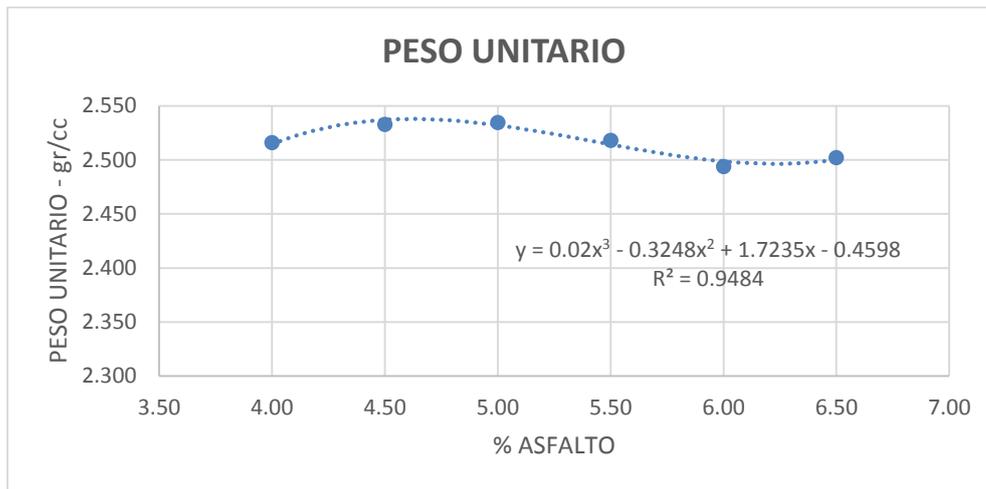


Figura 28. Peso Unitario vs % de Asfalto para determinar el óptimo porcentaje de asfalto.

f) VACIOS LLENOS DE ASFALTO

En la figura 29 se observa que a medida que se incrementa el porcentaje de asfalto, se incrementa el porcentaje de vacíos llenos de asfalto.

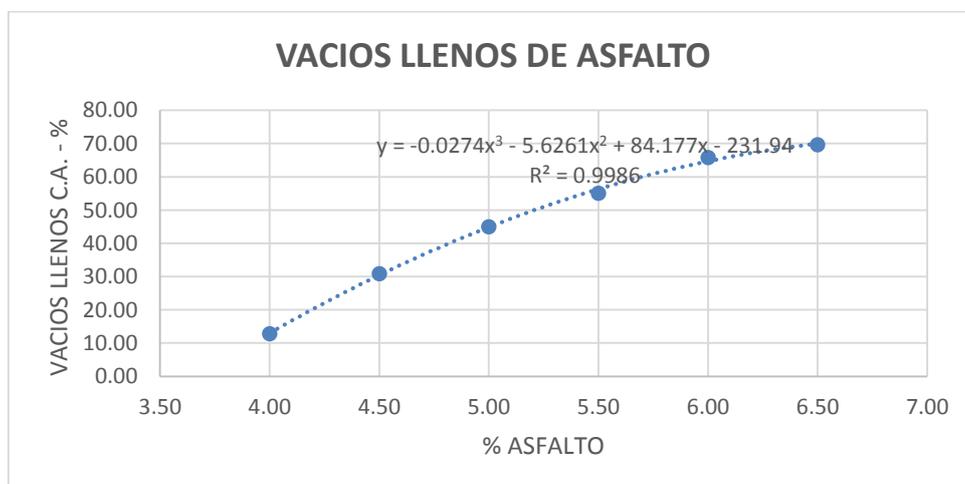


Figura 29. Vacíos Llenos de Asfalto vs % de Asfalto para determinar el óptimo porcentaje de asfalto.

Del análisis de los siguientes gráficos se obtuvo que el contenido óptimo de asfalto es 5%, a partir del cual se fabricaron el resto de probetas las mismas que fueron compactadas a diferentes temperaturas.

4.2. Análisis de la temperatura de compactación

Para poder determinar el efecto de la temperatura de compactación se ha analizado el comportamiento de las propiedades mecánicas a diferentes temperaturas de compactación, tales como la estabilidad, fluencia, vacíos llenos de asfalto, % de vacíos y peso específico bulk de la briqueta. Estas propiedades están sujetas a las especificaciones técnicas estipuladas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones, descritas en la Tabla 31.

Tabla 31.
Promedio de datos hallados

ITEM	DESCRIPCION	UND.	ESPECIFICACIONES
1	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cc	MAX. 2641
2	Vacíos con aire (MTC E 505)	%	3 - 5
3	Flujo	mm	2 - 4
4	Estabilidad corregida	kg	MIN. 831.07
5	V.M.A.	%	MIN. 14
6	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	65 – 75 (Para transito mayor a 3 millones de ejes equivalentes)

4.2.1. Temperatura de compactación a 160°C

Para el análisis respectivo de la temperatura de 160°C de compactación se tiene los siguientes datos descritos en la tabla 32 donde se detalla con letra azul los datos obtenidos en campo y los resaltados en azul oscuro los datos calculados necesario para el análisis de la tesis.

Tabla 32.
Datos a 160°C de temperatura de compactación

TEMPERATURA DE COMPACTACION 160°												
Ítem	BRIQUETAS	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > N° 4	%	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35
3	Agregado fino en peso de la mezcla < N° 4	%	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65
4	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cc	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018
5	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cc	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706
6	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cc	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549
7	Peso de la briketa al aire (P SECO)	gr	1250.0	1249.0	1248.0	1251.0	1251.0	1253.0	1249.0	1248.0	1252.0	1250.0
8	Peso de la briketa saturada (P SSS)	gr	1252.0	1251.0	1253.0	1253.0	1254.0	1255.0	1252.0	1254.0	1256.0	1254.0
9	Peso de la briketa en agua (P SUMERGIDO)	gr	760.0	762.0	764.0	762.0	762.0	760.0	762.0	761.0	764.0	764.0
10	Volumen de briketa	c.c.	492.0	489.0	489.0	491.0	492.0	495.0	490.0	493.0	492.0	490.0
11	Peso específico Bulk de la briketa	gr/cc	2.541	2.554	2.552	2.548	2.543	2.531	2.549	2.531	2.545	2.551
12	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cc	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641
13	Vacíos (MTC E-505)	%	3.8	3.3	3.4	3.5	3.7	4.2	3.5	4.1	3.6	3.4
14	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cc	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599
15	V.M.A.	%	14.6	14.1	14.2	14.4	14.5	15.0	14.3	15.0	14.5	14.2
16	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	74.0	76.7	76.3	75.4	74.4	72.2	75.7	72.3	74.8	76.1
17	Peso específico del agregado total	gr/cc	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883
18	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86
19	Cemento asfáltico efectivo	%	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33
20	Flujo	mm	3.10	3.30	3.20	3.20	3.50	3.40	3.40	3.20	3.50	3.40
21	Estabilidad sin corregir	kg	1333.8	1340.0	1347.0	1341.2	1332.7	1345.0	1333.2	1336.7	1348.0	1337.9

TEMPERATURA DE COMPACTACION 160°												
Ítem	BRIQUETAS	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
22	Factor de estabilidad	K	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09
23	Estabilidad corregida	kg	1454	1461	1468	1462	1453	1466	1453	1457	1469	1458
24	Estabilidad - Flujo	kg/cm	4690	4426	4588	4568	4150	4312	4274	4553	4198	4289
25	Compactación, numero de golpes por cara		75									

En la tabla 33, se observa el promedio de las propiedades de la briqueta que se analizarán según las especificaciones técnicas dadas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

Para el caso de la temperatura de compactación a 160°C se observa que existe buena trabajabilidad y viscosidad de la mezcla, además que entre más alto el Peso específico Bulk de la briqueta, el porcentaje de vacíos disminuye, lo que indica que el rendimiento de la mezcla es duradero. Así mismo, los promedios determinados de las propiedades analizadas cumplen con las especificaciones dadas por la MTC, por cual se garantiza la temperatura de compactación a 160°C.

Tabla 33.

Promedio de datos hallados para la temperatura de compactación de 160°C

ITEM	DESCIPCION - PROMEDIO	UND	CALCULADO	ESPECIFICACION MTC	¿CUMPLE?
1	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cc	2.545	MAX. 2641	SI
2	Vacíos	%	3.7	3 - 5	SI
3	Flujo	mm	3.3	2 - 4	SI
4	Estabilidad corregida	kg	1460.1	MIN. 831.07	SI
5	V.M.A.	%	14.5	MIN. 14	SI
6	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	74.79	65 – 75 (Para tránsito mayor a 3 millones de ejes equivalentes)	SI

4.2.2. Temperatura de compactación a 150°C

Para el análisis respectivo de la temperatura de 150°C de compactación se tiene los siguientes datos descritos en la tabla 34 donde se detalla con letra azul los datos obtenidos en campo y los resaltados en azul oscuro los datos calculados necesarios para el análisis de la investigación.

Tabla 34.
Datos a 150°C de temperatura de compactación

TEMPERATURA DE COMPACTACION 150°												
Ítem	BRIQUETAS	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > N° 4	%	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35
3	Agregado fino en peso de la mezcla < N° 4	%	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65
4	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cc	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018
5	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cc	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706
6	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cc	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549
7	Peso de la briketa al aire (P SECO)	gr	1257.0	1244.0	1247.0	1251.0	1254.0	1243.0	1252.0	1250.0	1246.0	1248.0
8	Peso de la briketa saturada (P SSS)	gr	1263.0	1252.0	1255.0	1256.0	1250.0	1265.0	1260.0	1256.0	1258.0	1254.0
9	Peso de la briketa en agua (P SUMERGIDO)	gr	763.0	760.0	762.0	761.0	755.0	770.0	764.0	759.0	765.0	761.0
10	Volumen de briketa	c.c.	500.0	492.0	493.0	495.0	495.0	495.0	496.0	497.0	493.0	493.0
11	Peso específico Bulk de la briketa	gr/cc	2.514	2.528	2.529	2.527	2.533	2.511	2.524	2.515	2.527	2.531
12	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cc	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641
13	Vacios (MTC E-505)	%	4.8	4.3	4.2	4.3	4.1	4.9	4.4	4.8	4.3	4.1
14	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cc	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599
15	V.M.A.	%	15.6	15.1	15.0	15.1	14.9	15.7	15.2	15.6	15.1	15.0

TEMPERATURA DE COMPACTACION 150°												
Ítem	BRIQUETAS	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	69.2	71.7	71.9	71.5	72.6	68.7	70.9	69.3	71.5	72.3
17	Peso específico del agregado total	gr/cc	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883
18	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86
19	Cemento asfáltico efectivo	%	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33
20	Flujo	mm	3.40	3.60	3.70	3.40	3.20	3.30	3.60	3.40	3.60	3.70
21	Estabilidad sin corregir	kg	1324.1	1321.3	1338.1	1320.0	1335.0	1338.5	1320.6	1321.0	1328.8	1326.7
22	Factor de estabilidad	K	1.04	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.04	1.04	1.09	1.09
23	Estabilidad corregida	kg	1377	1440	1459	1439	1455	1459	1373	1374	1448	1446
24	Estabilidad - Flujo	kg/cm	4050	4001	3942	4232	4547	4421	3815	4041	4023	3908
25	Compactación, numero de golpes por cara	75										

En la tabla 35 se observa el promedio de las propiedades de la briqueta que se analizaran según las especificaciones técnicas dadas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

Para el caso de la temperatura de compactación a 150°C se observa que los promedios determinados de las propiedades analizadas cumplen con las especificaciones dadas por la MTC por cual se acepta la temperatura de compactación a 150°C.

Tabla 35.*Promedio de datos hallados para la temperatura de compactación de 150°C*

ITEM	DESCIPCION - PROMEDIO	UND	CALCULADO	ESPECIFICACION MTC	¿CUMPLE?
1	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cc	2.524	MAX. 2641	SI
2	Vacíos	%	4.4	3 - 5	SI
3	Flujo	mm	3.5	2 - 4	SI
4	Estabilidad corregida	kg	1427.0	MIN. 831.07	SI
5	V.M.A.	%	15.2	MIN. 14	SI
6	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	70.96	65 – 75 (Para transito mayor a 3 millones de ejes equivalentes)	SI

4.2.3. Temperatura de compactación a 140°C

Para el análisis respectivo de la temperatura de 140°C de compactación se tiene los siguientes datos descritos en la tabla 36, donde se detalla con letra azul los datos obtenidos en campo y los resaltados en azul oscuro los datos calculados necesarios para el análisis de la investigación.

Tabla 36.*Datos a 140°C de temperatura de compactación*

TEMPERATURA DE COMPACTACION 140°												
Ítem	BRIQUETAS	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > N° 4	%	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35
3	Agregado fino en peso de la mezcla < N° 4	%	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65
4	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cc	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018
5	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cc	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706

TEMPERATURA DE COMPACTACION 140°												
Ítem	BRIQUETAS	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cc	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549
7	Peso de la briqueta al aire (P SECO)	gr	1250.0	1249.0	1248.0	1249.0	1249.0	1252.0	1248.0	1248.0	1251.0	1249.0
8	Peso de la briqueta saturada (P SSS)	gr	1252.0	1251.0	1250.0	1250.0	1250.0	1252.0	1252.0	1252.0	1253.0	1252.0
9	Peso de la briqueta en agua (P SUMERGIDO)	gr	754.0	754.0	754.0	754.0	753.0	754.0	755.0	755.0	756.0	754.0
10	Volumen de briqueta	c.c.	498.0	501.0	495.0	499.0	503.0	507.0	506.0	507.0	514.0	503.0
11	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cc	2.510	2.493	2.511	2.499	2.475	2.469	2.466	2.454	2.434	2.477
12	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cc	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641
13	Vacíos (MTC E-505)	%	5.0	4.8	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	4.7	5.0
14	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cc	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599
15	V.M.A.	%	15.7	16.4	15.7	16.1	17.0	17.2	17.3	17.8	18.5	16.9
16	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	68.5	65.7	68.7	66.7	63.1	62.3	61.9	60.1	57.7	63.4
17	Peso específico del agregado total	gr/cc	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883
18	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86
19	Cemento asfáltico efectivo	%	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33
20	Flujo	mm	3.70	3.60	3.40	3.80	3.30	3.40	3.60	3.60	3.20	3.80
21	Estabilidad sin corregir	kg	1307.6	1309.8	1317.6	1315.8	1305.2	1325.8	1314.0	1316.7	1307.8	1318.7
22	Factor de estabilidad	K	1.04	1.04	1.09	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.00	1.04
23	Estabilidad corregida	kg	1360	1362	1436	1368	1357	1379	1367	1369	1308	1371
24	Estabilidad - Flujo	kg/cm	3675	3784	4224	3601	4113	4055	3796	3804	4087	3609
25	Compactación, numero de golpes por cara	75										

En la tabla 37, se observa el promedio de las propiedades de la briqueta que se analizarán según las especificaciones técnicas dadas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

Para el caso de la temperatura de compactación a 140°C se observa que los promedios determinados de las propiedades analizadas cumplen en su mayoría con las especificaciones dadas por la MTC por lo cual se acepta la temperatura de compactación a 140°C.

Tabla 37.
Promedio de datos hallados para la temperatura de compactación de 140°C

ITEM	DESCRIPCION - PROMEDIO	UND	CALCULADO	ESPECIFICACION MTC	¿CUMPLE?
1	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cc	2.479	MAX. 2641	SI
2	Vacíos	%	4.8	3 - 5	SI
3	Flujo	mm	3.5	2 - 4	SI
4	Estabilidad corregida	kg	1367.8	MIN. 831.07	SI
5	V.M.A.	%	16.9	MIN. 14	SI
6	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	63.80	65 – 75 (Para tránsito mayor a 3 millones de ejes equivalentes)	NO

4.2.4. Temperatura de compactación a 130°C

Para el análisis respectivo de la temperatura de 130°C de compactación se tiene los siguientes datos descritos en la tabla 38, donde se detalla con letra azul los datos obtenidos en campo y los resaltados en azul oscuro los datos calculados necesarios para el análisis de la investigación.

Tabla 38.
Datos a 130°C de temperatura de compactación

TEMPERATURA DE COMPACTACION 130°												
Ítem	BRIQUETAS	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00

TEMPERATURA DE COMPACTACION 130°												
Ítem	BRIQUETAS	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > N° 4	%	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35
3	Agregado fino en peso de la mezcla < N° 4	%	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65
4	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cc	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018
5	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cc	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706
6	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cc	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549
7	Peso de la briqueta al aire (P SECO)	gr	1251.0	1255.0	1250.0	1258.0	1252.0	1254.0	1257.0	1269.0	1267.0	1249.0
8	Peso de la briqueta saturada (P SSS)	gr	1255.0	1259.0	1260.0	1261.0	1257.0	1260.0	1270.0	1275.0	1273.0	1255.0
9	Peso de la briqueta en agua (P SUMERGIDO)	gr	754.0	765.0	755.0	747.0	741.0	746.0	760.0	758.0	751.0	745.0
10	Volumen de briqueta	c.c.	501.0	494.0	505.0	514.0	516.0	514.0	510.0	517.0	522.0	510.0
11	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cc	2.497	2.540	2.475	2.447	2.426	2.440	2.465	2.455	2.427	2.449
12	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cc	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641
13	Vacíos (MTC E-505)	%	5.5	3.8	6.3	7.3	8.1	7.6	6.7	7.1	8.1	7.3
14	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cc	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599
15	V.M.A.	%	16.2	14.6	17.0	18.0	18.8	18.3	17.4	17.8	18.8	18.0
16	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	66.4	74.0	63.1	59.3	56.8	58.4	61.6	60.3	56.9	59.5
17	Peso específico del agregado total	gr/cc	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883
18	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86
19	Cemento asfáltico efectivo	%	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33
20	Flujo	mm	3.80	3.90	3.10	3.30	3.20	3.00	3.20	3.80	3.20	3.80
21	Estabilidad sin corregir	kg	1276.5	1280.8	1284.3	1255.6	1259.7	1224.8	1250.7	1275.2	1261.5	1246.4
22	Factor de estabilidad	K	1.04	1.09	1.04	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
23	Estabilidad corregida	kg	1328	1396	1336	1256	1260	1225	1251	1275	1262	1246
24	Estabilidad - Flujo	kg/cm	3494	3580	4309	3805	3937	4083	3908	3356	3942	3280

TEMPERATURA DE COMPACTACION 130°												
Ítem	BRIQUETAS	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	Compactación, numero de golpes por cara		75									

En la tabla 39, se observa el promedio de las propiedades de la briqueta que se analizaran según las especificaciones técnicas dadas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

Para el caso de la temperatura de compactación a 130°C se observa que los promedios determinados de las propiedades analizadas cumplen en un 67% con las especificaciones dadas por la MTC.

Tabla 39.

Promedio de datos hallados para la temperatura de compactación de 130°C

ITEM	DESCIPCION - PROMEDIO	UND	CALCULADO	ESPECIFICACION MTC	¿CUMPLE?
1	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cc	2.462	MAX. 2641	SI
2	Vacíos	%	6.8	3 - 5	NO
3	Flujo	mm	3.4	2 - 4	SI
4	Estabilidad corregida	kg	1283.3	MIN. 831.07	SI
5	V.M.A.	%	17.5	MIN. 14	SI
6	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	61.62	65 – 75 (Para transito mayor a 3 millones de ejes equivalentes)	NO

4.2.5. Temperatura de compactación a 120°C

Para el análisis respectivo de la temperatura de 120°C de compactación se tiene los siguientes datos descritos en la tabla 40, donde se detalla con letra azul los datos obtenidos en campo y los resaltados en azul oscuro los datos calculados necesarios para el análisis de la investigación.

Tabla 40.

Datos a 120°C de temperatura de compactación

TEMPERATURA DE COMPACTACION 120°												
Ítem	BRIQUETAS	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > N° 4	%	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35
3	Agregado fino en peso de la mezcla < N° 4	%	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65
4	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cc	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018
5	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cc	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706
6	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cc	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549
7	Peso de la briqueta al aire (P SECO)	gr	1254.0	1251.0	1254.0	1250.0	1258.0	1256.0	1253.0	1261.0	1255.0	1252.0
8	Peso de la briqueta saturada (P SSS)	gr	1259.0	1259.0	1263.0	1257.0	1255.0	1265.0	1256.0	1268.0	1265.0	1256.0
9	Peso de la briqueta en agua (P SUMERGIDO)	gr	766.0	750.0	746.0	741.0	734.0	747.0	745.0	751.0	751.0	744.0
10	Volumen de briqueta	c.c.	493.0	509.0	517.0	516.0	521.0	518.0	511.0	517.0	514.0	512.0
11	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cc	2.544	2.458	2.426	2.422	2.415	2.425	2.452	2.439	2.442	2.445
12	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cc	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641
13	Vacíos (MTC E-505)	%	3.7	6.9	8.2	8.3	8.6	8.2	7.2	7.6	7.5	7.4
14	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cc	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599
15	V.M.A.	%	14.5	17.6	18.8	18.9	19.2	18.9	17.9	18.3	18.2	18.1
16	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	74.6	60.7	56.7	56.3	55.4	56.6	59.9	58.3	58.6	59.1
17	Peso específico del agregado total	gr/cc	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883
18	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86
19	Cemento asfáltico efectivo	%	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33
20	Flujo	mm	3.70	3.50	3.10	3.20	3.30	3.60	3.50	3.50	3.20	4.10
21	Estabilidad sin corregir	kg	1216.5	1200.8	1204.3	1215.6	1210.7	1214.8	1200.7	1205.2	1211.5	1209.4
22	Factor de estabilidad	K	1.09	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
23	Estabilidad corregida	kg	1326	1201	1204	1216	1211	1215	1201	1205	1212	1209
24	Estabilidad - Flujo	kg/cm	3584	3431	3885	3799	3669	3374	3431	3443	3786	2950

TEMPERATURA DE COMPACTACION 120°												
Ítem	BRIQUETAS	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	Compactación, numero de golpes por cara		75									

En la tabla 41, se observa el promedio de las propiedades de la briqueta que se analizaran según las especificaciones técnicas dadas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

Para el caso de la temperatura de compactación a 120°C se observa que los promedios determinados de las propiedades analizadas cumplen en un 67% con las especificaciones dadas por la MTC.

Tabla 41.

Promedio de datos hallados para la temperatura de compactación de 120°C

ITEM	DESCIPCION - PROMEDIO	UND	CALCULADO	ESPECIFICACION MTC	¿CUMPLE?
1	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cc	2.447	MAX. 2641	SI
2	Vacíos	%	7.4	3 - 5	NO
3	Flujo	mm	3.5	2 - 4	SI
4	Estabilidad corregida	kg	1219.9	MIN. 831.07	SI
5	V.M.A.	%	18.1	MIN. 14	SI
6	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	59.61	65 – 75 (Para transito mayor a 3 millones de ejes equivalentes)	NO

4.2.6. Temperatura de compactación a 110°C

Para el análisis respectivo de la temperatura de 110°C de compactación se tiene los siguientes datos descritos en la tabla 42, donde se detalla con letra azul los datos obtenidos en campo y los resaltados en azul oscuro los datos calculados necesarios para el análisis de la investigación.

Tabla 42.
Datos a 110°C de temperatura de compactación

TEMPERATURA DE COMPACTACION 110°												
Ítem	BRIQUETAS	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > N° 4	%	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35
3	Agregado fino en peso de la mezcla < N° 4	%	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65
4	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cc	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018
5	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cc	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706
6	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cc	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549
7	Peso de la briqueta al aire (P SECO)	gr	1245.0	1243.0	1258.0	1242.0	1255.0	1240.0	1249.0	1254.0	1242.0	1256.0
8	Peso de la briqueta saturada (P SSS)	gr	1252.0	1251.0	1266.0	1262.0	1265.0	1248.0	1258.0	1262.0	1250.0	1260.0
9	Peso de la briqueta en agua (P SUMERGIDO)	gr	755.0	753.0	754.0	760.0	755.0	745.0	753.0	757.0	753.0	751.0
10	Volumen de briqueta	c.c.	497.0	498.0	512.0	502.0	510.0	503.0	505.0	505.0	497.0	509.0
11	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cc	2.505	2.496	2.457	2.474	2.461	2.465	2.473	2.483	2.499	2.468
12	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cc	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641
13	Vacíos (MTC E-505)	%	5.1	5.5	7.0	6.3	6.8	6.7	6.4	6.0	5.4	6.6
14	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cc	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599
15	V.M.A.	%	15.9	16.3	17.7	17.1	17.5	17.4	17.1	16.7	16.1	17.3
16	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	67.7	66.2	60.6	62.9	61.1	61.7	62.8	64.3	66.7	62.0
17	Peso específico del agregado total	gr/cc	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883
18	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86
19	Cemento asfáltico efectivo	%	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33
20	Flujo	mm	3.80	4.20	3.70	4.20	4.20	4.10	3.50	3.60	4.30	3.40
21	Estabilidad sin corregir	kg	1136.0	1151.3	1135.0	1150.5	1136.1	1133.1	1135.0	1135.8	1136.2	1137.0
22	Factor de estabilidad	K	1.04	1.04	1.00	1.04	1.00	1.04	1.04	1.04	1.04	1.00
23	Estabilidad corregida	kg	1181	1197	1135	1197	1136	1178	1180	1181	1182	1137
24	Estabilidad - Flujo	kg/cm	3109	2851	3068	2849	2705	2874	3373	3281	2748	3344
25	Compactación, número de golpes por cara		75									

En la tabla 43, se observa el promedio de las propiedades de la briqueta que se analizarán según las especificaciones técnicas dadas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

Para el caso de la temperatura de compactación a 110°C se observa que los promedios determinados de las propiedades analizadas cumplen en un 67% con las especificaciones dadas por la MTC.

Tabla 43.

Promedio de datos hallados para la temperatura de compactación de 110°C

ITEM	DESCIPCION - PROMEDIO	UND	CALCULADO	ESPECIFICACION MTC	¿CUMPLE?
1	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cc	2.447	MAX. 2641	SI
2	Vacíos	%	7.4	3 - 5	NO
3	Flujo	mm	3.5	2 - 4	SI
4	Estabilidad corregida	kg	1219.9	MIN. 831.07	SI
5	V.M.A.	%	18.1	MIN. 14	SI
6	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	59.61	65 – 75 (Para tránsito mayor a 3 millones de ejes equivalentes)	NO

4.2.7. Temperatura de compactación a 100°C

Para el análisis respectivo de la temperatura de 100°C de compactación se tiene los siguientes datos descritos en la tabla 44, donde se detalla con letra azul los datos obtenidos en campo y los resaltados en azul oscuro los datos calculados necesarios para el análisis de la investigación.

Tabla 44.

Datos a 100°C de temperatura de compactación

TEMPERATURA DE COMPACTACION 100°												
Ítem	BRIQUETAS	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > N° 4	%	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35

TEMPERATURA DE COMPACTACION 100°												
Ítem	BRIQUETAS	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	Agregado fino en peso de la mezcla < N° 4	%	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65
4	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cc	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018
5	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cc	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706
6	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cc	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549
7	Peso de la briqueta al aire (P SECO)	gr	1241.0	1255.0	1253.0	1248.0	1244.0	1256.0	1240.0	1246.0	1258.0	1241.0
8	Peso de la briqueta saturada (P SSS)	gr	1244.0	1264.0	1260.0	1258.0	1250.0	1263.0	1246.0	1252.0	1264.0	1250.0
9	Peso de la briqueta en agua (P SUMERGIDO)	gr	750.0	761.0	755.0	757.0	753.0	754.0	751.0	755.0	758.0	756.0
10	Volumen de briqueta	c.c.	494.0	503.0	505.0	501.0	497.0	509.0	495.0	497.0	506.0	494.0
11	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cc	2.512	2.495	2.481	2.491	2.503	2.468	2.505	2.507	2.486	2.512
12	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cc	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641
13	Vacíos (MTC E-505)	%	4.9	5.5	6.1	5.7	5.2	6.6	5.1	5.1	5.9	4.9
14	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cc	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599
15	V.M.A.	%	15.7	16.3	16.8	16.4	16.0	17.3	15.9	15.8	16.6	15.7
16	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	68.8	66.1	64.0	65.4	67.3	62.0	67.7	68.0	64.7	68.8
17	Peso específico del agregado total	gr/cc	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883
18	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86
19	Cemento asfáltico efectivo	%	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33
20	Flujo	mm	4.30	3.70	4.20	4.30	4.10	4.40	3.80	3.70	3.60	3.30
21	Estabilidad sin corregir	kg	919.9	1133.1	918.9	1131.3	918.7	940.1	1132.1	919.6	917.2	917.8
22	Factor de estabilidad	K	1.09	1.04	1.04	1.04	1.04	1.00	1.09	1.04	1.04	1.09
23	Estabilidad corregida	kg	1003	1178	956	1177	955	940	1234	956	954	1000
24	Estabilidad - Flujo	kg/cm	2332	3185	2275	2736	2330	2137	3247	2585	2650	3032
25	Compactación, número de golpes por cara		75									

En la tabla 45, se observa el promedio de las propiedades de la briqueta que se analizarán según las especificaciones técnicas dadas por el Ministerio de

Transporte y Comunicaciones.

Para el caso de la temperatura de compactación a 100°C se observa que los promedios determinados de las propiedades analizadas cumplen en un 83% con las especificaciones dadas por la MTC.

Tabla 45.

Promedio de datos hallados para la temperatura de compactación de 100°C

ITEM	DESCIPCION - PROMEDIO	UND	CALCULADO	ESPECIFICACION MTC	¿CUMPLE?
1	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cc	2.496	MAX. 2641	SI
2	Vacíos	%	5.5	3 - 5	NO
3	Flujo	mm	3.9	2 - 4	SI
4	Estabilidad corregida	kg	1035.4	MIN. 831.07	SI
5	V.M.A.	%	16.2	MIN. 14	SI
6	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	66.29	65 – 75 (Para transito mayor a 3 millones de ejes equivalentes)	SI

4.2.8. Temperatura de compactación a 90°C

Para el análisis respectivo de la temperatura de 90°C de compactación se tiene los siguientes datos descritos en la tabla 46, donde se detalla con letra azul los datos obtenidos en campo y los resaltados en azul oscuro los datos calculados necesarios para el análisis de la investigación.

Tabla 46.

Datos a 90°C de temperatura de compactación

TEMPERATURA DE COMPACTACION 90°												
Ítem	BRIQUETAS	Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > N° 4	%	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35
3	Agregado fino en peso de la mezcla < N° 4	%	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65

TEMPERATURA DE COMPACTACION 90°												
Ítem	BRIQUETAS	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cc	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018
5	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cc	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706
6	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cc	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549
7	Peso de la briqueta al aire (P SECO)	gr	1255.0	1245.0	1247.0	1249.0	1251.0	1241.0	1243.0	1256.0	1244.0	1250.0
8	Peso de la briqueta saturada (P SSS)	gr	1261.0	1255.0	1257.0	1260.0	1258.0	1250.0	1253.0	1261.0	1250.0	1255.0
9	Peso de la briqueta en agua (P SUMERGIDO)	gr	752.0	750.0	750.0	748.0	747.0	750.0	756.0	749.0	749.0	748.0
10	Volumen de briqueta	c.c.	509.0	505.0	507.0	512.0	511.0	500.0	497.0	512.0	501.0	507.0
11	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cc	2.466	2.465	2.460	2.439	2.448	2.482	2.501	2.453	2.483	2.465
12	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cc	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641
13	Vacíos (MTC E-505)	%	6.6	6.7	6.9	7.6	7.3	6.0	5.3	7.1	6.0	6.6
14	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cc	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599
15	V.M.A.	%	17.4	17.4	17.6	18.3	18.0	16.8	16.1	17.8	16.7	17.4
16	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	61.8	61.7	60.9	58.3	59.4	64.1	67.0	60.1	64.2	61.7
17	Peso específico del agregado total	gr/cc	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883
18	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86
19	Cemento asfáltico efectivo	%	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33
20	Flujo	mm	4.10	3.70	4.20	3.70	3.60	3.70	3.90	3.60	4.20	3.70
21	Estabilidad sin corregir	kg	932.5	989.8	987.7	988.8	931.4	988.8	931.5	988.2	930.4	931.7
22	Factor de estabilidad	K	1.00	1.04	1.04	1.00	1.00	1.04	1.04	1.00	1.04	1.04
23	Estabilidad corregida	kg	933	1029	1027	989	931	1028	969	988	968	969
24	Estabilidad - Flujo	kg/cm	2274	2782	2446	2672	2587	2779	2484	2745	2304	2619
25	Compactación, numero de golpes por cara		75									

En la tabla 47, se observa el promedio de las propiedades de la briqueta

que se analizaran según las especificaciones técnicas dadas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

Para el caso de la temperatura de compactación a 90°C se observa que los promedios determinados de las propiedades analizadas cumplen en un 83% con las especificaciones dadas por la MTC.

Tabla 47.

Promedio de datos hallados para la temperatura de compactación de 100°C

ITEM	DESCIPCION - PROMEDIO	UND	CALCULADO	ESPECIFICACION MTC	¿CUMPLE?
1	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cc	2.466	MAX. 2641	SI
2	Vacíos	%	6.6	3 - 5	NO
3	Flujo	mm	3.8	2 - 4	SI
4	Estabilidad corregida	kg	983.1	MIN. 831.07	SI
5	V.M.A.	%	17.3	MIN. 14	SI
6	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	61.93	65 – 75 (Para transito mayor a 3 millones de ejes equivalentes)	SI

4.2.9. Temperatura de compactación a 80°C

Para el análisis respectivo de la temperatura de 80°C de compactación se tiene los siguientes datos descritos en la tabla 48, donde se detalla con letra azul los datos obtenidos en campo y los resaltados en azul oscuro los datos calculados necesarios para el análisis de la investigación.

Tabla 48.

Datos a 80°C de temperatura de compactación

TEMPERATURA DE COMPACTACION 80°												
Ítem	BRIQUETAS	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > N° 4	%	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35

TEMPERATURA DE COMPACTACION 80°												
Ítem	BRIQUETAS	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	Agregado fino en peso de la mezcla < N° 4	%	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65
4	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cc	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018
5	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cc	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706
6	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cc	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549
7	Peso de la briketa al aire (P SECO)	gr	1249.0	1251.0	1251.0	1254.0	1253.0	1254.0	1248.0	1255.0	1254.0	1249.0
8	Peso de la briketa saturada (P SSS)	gr	1256.0	1260.0	1265.0	1265.0	1263.0	1257.0	1255.0	1257.0	1261.0	1256.0
9	Peso de la briketa en agua (P SUMERGIDO)	gr	751.0	750.0	753.0	752.0	751.0	749.0	748.0	750.0	749.0	750.0
10	Volumen de briketa	c.c.	505.0	510.0	512.0	513.0	512.0	508.0	507.0	507.0	512.0	506.0
11	Peso específico Bulk de la briketa	gr/cc	2.473	2.453	2.443	2.444	2.447	2.469	2.462	2.475	2.449	2.468
12	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cc	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641
13	Vacíos (MTC E-505)	%	6.4	7.1	7.5	7.4	7.3	6.5	6.8	6.3	7.3	6.5
14	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cc	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599
15	V.M.A.	%	17.1	17.8	18.2	18.1	18.0	17.3	17.5	17.0	18.0	17.3
16	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	62.8	60.1	58.8	59.0	59.3	62.2	61.2	63.1	59.6	62.1
17	Peso específico del agregado total	gr/cc	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883
18	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86
19	Cemento asfáltico efectivo	%	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33
20	Flujo	mm	4.30	3.80	4.50	3.60	3.50	3.40	4.20	3.70	3.80	4.00
21	Estabilidad sin corregir	kg	768.8	741.9	785.5	801.5	776.2	792.6	784.6	758.7	800.1	791.5
22	Factor de estabilidad	K	1.04	1.00	1.00	1.00	1.00	1.04	1.04	1.04	1.00	1.04
23	Estabilidad corregida	kg	800	742	786	802	776	824	816	789	800	823
24	Estabilidad - Flujo	kg/cm	1859	1952	1746	2226	2218	2424	1943	2133	2106	2058
25	Compactación, numero de golpes por cara	75										

En la tabla 49, se observa el promedio de las propiedades de la briqueta que se analizarán según las especificaciones técnicas dadas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

Para el caso de la temperatura de compactación a 80°C se observa que los promedios determinados de las propiedades analizadas cumplen en un 50% con las especificaciones dadas por la MTC.

Tabla 49.

Promedio de datos hallados para la temperatura de compactación de 80°C

ITEM	DESCRIPCION - PROMEDIO	UND	CALCULADO	ESPECIFICACION MTC	¿CUMPLE?
1	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cc	2.458	MAX. 2641	SI
2	Vacíos	%	6.9	3 - 5	NO
3	Flujo	mm	3.9	2 - 4	SI
4	Estabilidad corregida	kg	795.7	MIN. 831.07	NO
5	V.M.A.	%	17.6	MIN. 14	SI
6	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	60.81	65 – 75 (Para tránsito mayor a 3 millones de ejes equivalentes)	NO

4.2.10. Temperatura de compactación a 70°C

Para el análisis respectivo de la temperatura de 70°C de compactación se tiene los siguientes datos descritos en la tabla 50, donde se detalla con letra azul los datos obtenidos en campo y los resaltados en azul oscuro los datos calculados necesarios para el análisis de la investigación.

Tabla 50.

Datos a 70°C de temperatura de compactación

TEMPERATURA DE COMPACTACION 70°												
Ítem	BRIQUETAS	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > N° 4	%	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35

TEMPERATURA DE COMPACTACION 70°												
Ítem	BRIQUETAS	Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	Agregado fino en peso de la mezcla < N° 4	%	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65
4	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cc	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018
5	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cc	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706
6	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cc	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549
7	Peso de la briqueta al aire (P SECO)	gr	1249.0	1258.0	1257.0	1253.0	1250.0	1251.0	1251.0	1252.0	1254.0	1256.0
8	Peso de la briqueta saturada (P SSS)	gr	1257.0	1264.0	1265.0	1261.0	1258.0	1259.0	1259.0	1260.0	1262.0	1264.0
9	Peso de la briqueta en agua (P SUMERGIDO)	gr	740.0	730.0	734.0	736.0	732.0	738.0	735.0	729.0	730.0	731.0
10	Volumen de briqueta	c.c.	517.0	534.0	531.0	525.0	526.0	521.0	524.0	531.0	532.0	533.0
11	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cc	2.416	2.356	2.367	2.387	2.376	2.401	2.387	2.358	2.357	2.356
12	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cc	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641
13	Vacíos (MTC E-505)	%	8.5	10.8	10.4	9.6	10.0	9.1	9.6	10.7	10.7	10.8
14	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cc	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599
15	V.M.A.	%	19.2	21.4	21.0	20.2	20.6	19.7	20.2	21.3	21.3	21.4
16	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	55.6	49.5	50.5	52.4	51.4	53.9	52.5	49.7	49.6	49.5
17	Peso específico del agregado total	gr/cc	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883
18	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86
19	Cemento asfáltico efectivo	%	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33
20	Flujo	mm	4.20	4.20	4.30	4.10	4.10	4.50	4.20	4.20	4.00	4.10
21	Estabilidad sin corregir	kg	569.9	571.2	570.0	570.8	572.6	568.4	601.5	587.6	577.3	594.6
22	Factor de estabilidad	K	1.00	0.96	0.96	0.96	0.96	1.00	0.96	0.96	0.96	0.96
23	Estabilidad corregida	kg	570	548	547	548	550	568	577	564	554	571
24	Estabilidad - Flujo	kg/cm	1357	1306	1273	1337	1341	1263	1375	1343	1386	1392
25	Compactación, numero de golpes por cara		75									

En la tabla 51, se observa el promedio de las propiedades de la briqueta que se analizarán según las especificaciones técnicas dadas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

Para el caso de la temperatura de compactación a 70°C se observa que los promedios determinados de las propiedades analizadas cumplen en un 33.3% con las especificaciones dadas por la MTC.

Tabla 51.

Promedio de datos hallados para la temperatura de compactación de 70°C

ITEM	DESCIPCION - PROMEDIO	UND	CALCULADO	ESPECIFICACION MTC	¿CUMPLE?
1	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cc	2.376	MAX. 2641	SI
2	Vacíos	%	10.0	3 - 5	NO
3	Flujo	mm	4.2	2 - 4	NO
4	Estabilidad corregida	kg	559.8	MIN. 831.07	NO
5	V.M.A.	%	20.6	MIN. 14	SI
6	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	51.47	65 – 75 (Para tránsito mayor a 3 millones de ejes equivalentes)	NO

4.2.11. Temperatura de compactación a 60°C

Para el análisis respectivo de la temperatura de 60°C de compactación se tiene los siguientes datos descritos en la tabla 52, donde se detalla con letra azul los datos obtenidos en campo y los resaltados en azul oscuro los datos calculados necesarios para el análisis de la investigación.

Tabla 52.

Datos a 60°C de temperatura de compactación

TEMPERATURA DE COMPACTACION 60°												
Ítem	BRIQUETAS	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00

TEMPERATURA DE COMPACTACION 60°												
Ítem	BRIQUETAS	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > N° 4	%	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35	31.35
3	Agregado fino en peso de la mezcla < N° 4	%	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65
4	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cc	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018
5	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cc	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706
6	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cc	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549
7	Peso de la briqueta al aire (P SECO)	gr	1254.0	1250.0	1251.0	1250.0	1255.0	1253.0	1254.0	1251.0	1253.0	1252.0
8	Peso de la briqueta saturada (P SSS)	gr	1268.0	1261.0	1262.0	1264.0	1266.0	1261.0	1262.0	1263.0	1267.0	1264.0
9	Peso de la briqueta en agua (P SUMERGIDO)	gr	737.0	728.0	730.0	733.0	730.0	732.0	735.0	737.0	731.0	735.0
10	Volumen de briqueta	c.c.	531.0	533.0	532.0	531.0	536.0	529.0	527.0	526.0	536.0	529.0
11	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cc	2.362	2.345	2.352	2.354	2.341	2.369	2.380	2.378	2.338	2.367
12	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cc	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641
13	Vacíos (MTC E-505)	%	10.6	11.2	11.0	10.9	11.3	10.3	9.9	9.9	11.5	10.4
14	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cc	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599	2.599
15	V.M.A.	%	21.2	21.8	21.5	21.4	21.9	20.9	20.5	20.6	22.0	21.0
16	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	50.0	48.5	49.1	49.3	48.2	50.7	51.7	51.6	47.9	50.5
17	Peso específico del agregado total	gr/cc	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883
18	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86
19	Cemento asfáltico efectivo	%	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33
20	Flujo	mm	4.80	4.30	4.50	4.60	4.70	4.80	4.50	4.50	4.40	4.50
21	Estabilidad sin corregir	kg	320.7	264.9	275.6	345.2	336.5	338.0	295.8	301.7	317.9	317.1

TEMPERATURA DE COMPACTACION 60°												
Ítem	BRIQUETAS	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
22	Factor de estabilidad	K	0.96	0.96	0.96	0.96	0.93	0.96	0.96	0.96	0.93	0.96
23	Estabilidad corregida	kg	308	254	265	331	313	324	284	290	296	304
24	Estabilidad - Flujo	kg/cm	641	591	588	720	666	676	631	644	672	676
25	Compactación, numero de golpes por cara	75										

En la tabla 53, se observa el promedio de las propiedades de la briqueta que se analizaran según las especificaciones técnicas dadas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

Para el caso de la temperatura de compactación a 60°C se observa que los promedios determinados de las propiedades analizadas cumplen en un 33.3% con las especificaciones dadas por la MTC.

Tabla 53.

Promedio de datos hallados para la temperatura de compactación de 60°C

ITEM	DESCIPCION - PROMEDIO	UND	CALCULADO	ESPECIFICACION MTC	¿CUMPLE?
1	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cc	2.358	MAX. 2641	SI
2	Vacíos	%	10.7	3 - 5	NO
3	Flujo	mm	4.6	2 - 4	NO
4	Estabilidad corregida	kg	296.9	MIN. 831.07	NO
5	V.M.A.	%	21.3	MIN. 14	SI
6	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	49.76	65 – 75 (Para transito mayor a 3 millones de ejes equivalentes)	NO

4.2.12. Análisis de las propiedades

Para poder analizar las propiedades de la mezcla asfáltica se determinó

la normalidad de datos, para cual se ha empleado el programa SPSS cual nos ha facilitado analizar los datos para cada temperatura de compactación de acuerdo con cada una de las propiedades de las mezclas asfálticas.

4.2.12.1. Estabilidad

En la tabla 54, se observa el análisis descriptivo de los resultados obtenidos de la estabilidad de las briquetas ensayadas por cada temperatura de compactación.

Tabla 54.
Análisis descriptivo de la estabilidad por temperatura de compactación.

DESCRIPCION	TEMPERATURA	ESTADÍSTICO	
ESTABILIDAD	60	Media	296,9000
		Mediana	300,0000
		Varianza	600,322
		Desviación estándar	24,50147
		Mínimo	254,00
		Máximo	331,00
	70	Media	559,7000
		Mediana	559,0000
		Varianza	131,344
		Desviación estándar	11,46056
		Mínimo	547,00
		Máximo	577,00
	80	Media	795,8000
		Mediana	800,0000
		Varianza	605,067
		Desviación estándar	24,59810
		Mínimo	742,00
		Máximo	824,00
	90	Media	983,1000
		Mediana	978,5000
		Varianza	1328,767
		Desviación estándar	36,45225
		Mínimo	931,00
		Máximo	1029,00
100	Media	1035,3000	
	Mediana	978,0000	

DESCRIPCION	TEMPERATURA	ESTADÍSTICO	
		Varianza	12992,233
		Desviación estándar	113,98348
		Mínimo	940,00
		Máximo	1234,00
	110	Media	1170,4000
		Mediana	1180,5000
		Varianza	608,489
		Desviación estándar	24,66757
		Mínimo	1135,00
		Máximo	1197,00
	120	Media	1220,0000
		Mediana	1210,0000
		Varianza	1416,222
		Desviación estándar	37,63273
		Mínimo	1201,00
		Máximo	1326,00
	130	Media	1283,5000
		Mediana	1261,0000
		Varianza	2791,167
		Desviación estándar	52,83149
		Mínimo	1225,00
		Máximo	1396,00
	140	Media	1367,7000
		Mediana	1367,5000
Varianza		952,900	
Desviación estándar		30,86908	
Mínimo		1308,00	
Máximo		1436,00	
150	Media	1427,0000	
	Mediana	1443,0000	
	Varianza	1352,444	
	Desviación estándar	36,77560	
	Mínimo	1373,00	
	Máximo	1459,00	
160	Media	1460,1000	
	Mediana	1459,5000	
	Varianza	36,989	
	Desviación estándar	6,08185	
	Mínimo	1453,00	
	Máximo	1469,00	

En la tabla 55, se observa la tendencia de normalidad para cada tipo de temperatura de compactación, cual fue gracias al programa SPSS.

Tabla 55.
Prueba de normalidad para la estabilidad de la mezcla asfáltica.

TEMPERATURA (°C)	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
60	,114	10	,200*	,968	10	,875
70	,201	10	,200*	,872	10	,105
80	,168	10	,200*	,914	10	,306
90	,186	10	,200*	,893	10	,183
100	,312	10	,007	,757	10	,004
110	,321	10	,004	,788	10	,010
120	,442	10	,000	,501	10	,000
130	,264	10	,047	,856	10	,068
140	,264	10	,046	,821	10	,026
150	,328	10	,003	,747	10	,003
160	,142	10	,200*	,912	10	,292

Para el caso de la estabilidad que presenta la mezcla asfáltica se analizara su normalidad por medio de Shapiro – Wilk, pues se emplea este método para casos que tomen como muestras menores a 50 datos como la presente investigación. Para poder analizarla se debe de tener en cuenta que si el nivel significancia de los datos analizados es mayor a 0.05 en su totalidad de casos se concluirá que, si existe una distribución normal de datos, pero si en caso no cumple lo especificado no será una distribución normal.

En la tabla 55, se observa que el nivel de significancia es mayor para el caso de las temperaturas de 60°C, 70°C, 80°C, 90°C,

130°C y 160°C los datos en estas temperaturas son normales con respecto a los otros; el resto son menores a 0.05 por este motivo se indica que no existe una distribución normal de datos,

En la figura 30, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 60°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

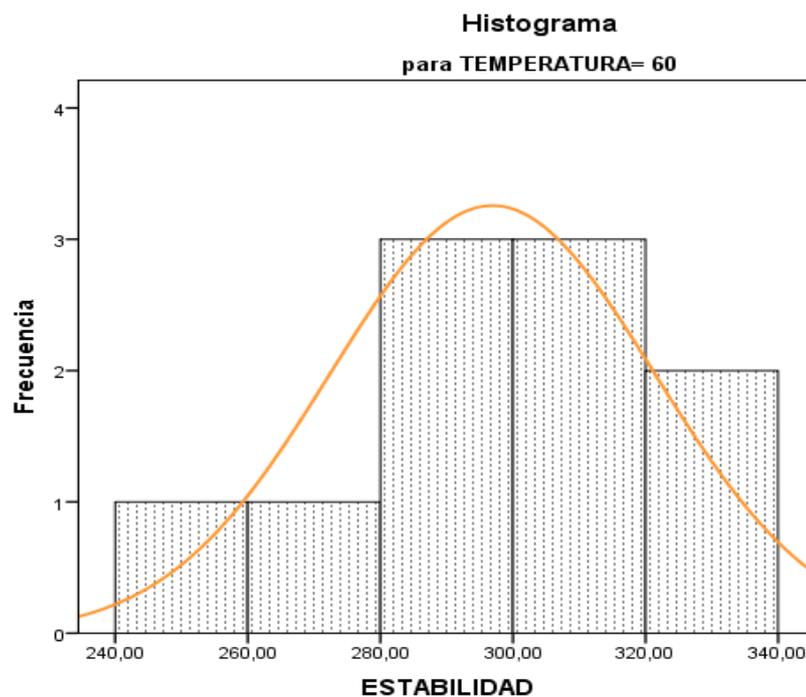


Figura 30. Curva de normalidad de datos para temperatura de compactación a 60°C.

En la figura 31 se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 70°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

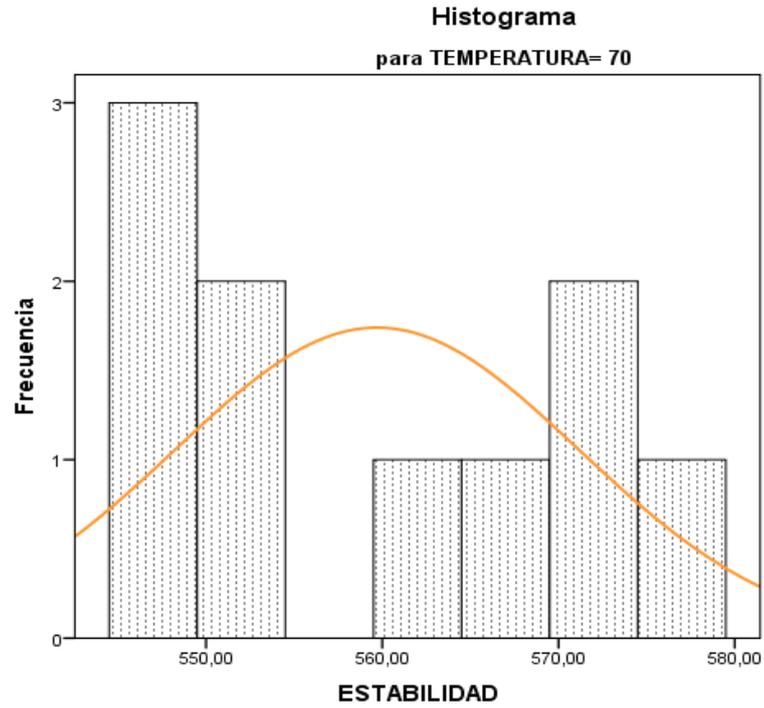


Figura 31. Curva de normalidad de datos para temperatura de compactación a 70°C.

En la figura 32 se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 80°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

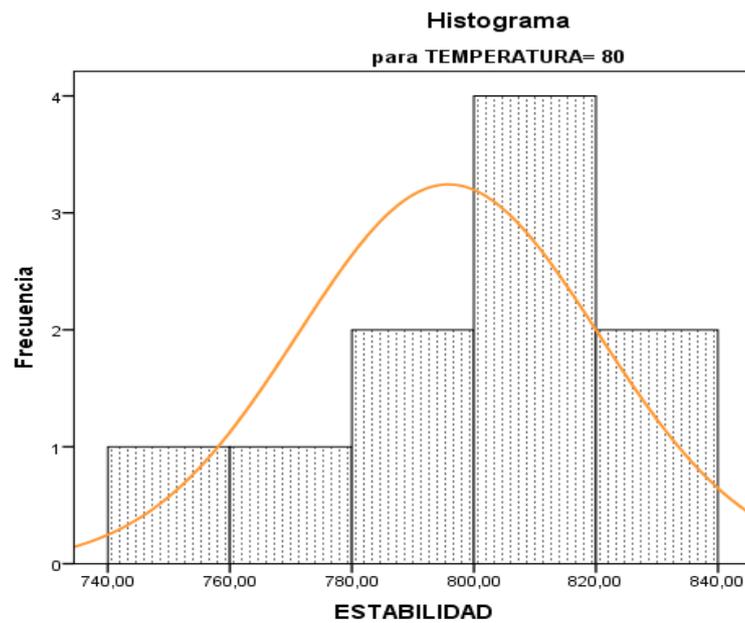


Figura 32. Curva de normalidad de datos para temperatura de compactación a 80°C.

En la figura 33 se observa la curva de distribución normal para

la temperatura de 90°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

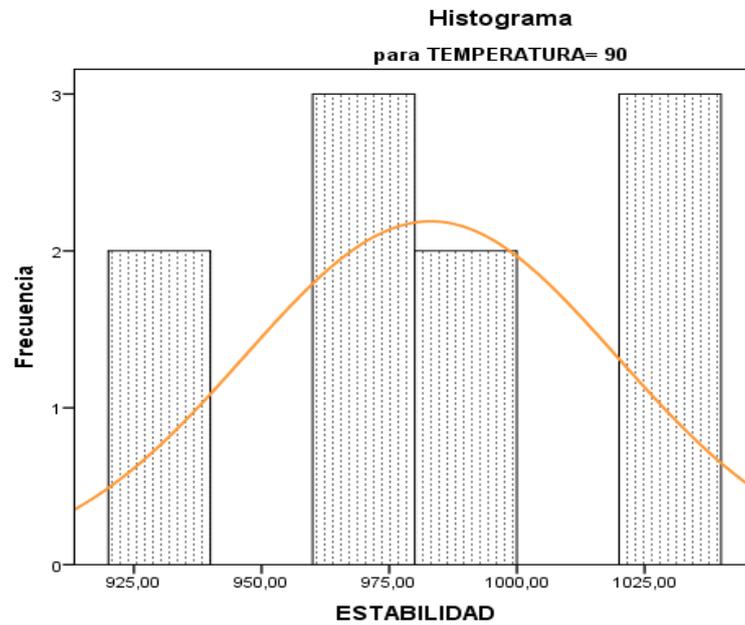


Figura 33. Curva de normalidad de datos para temperatura de compactación a 90°C.

En la figura 34 se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 100°C donde se observa la no existencia de normalidad en los datos analizados.

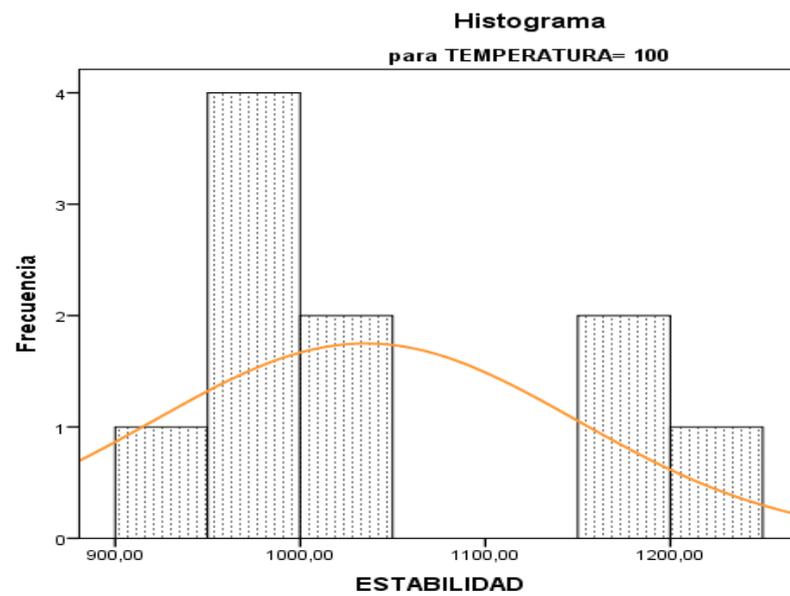


Figura 34. Curva de normalidad de datos para temperatura de compactación a 100°C.

En la figura 35 se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 110°C donde se observa la no existencia de normalidad en los datos analizados.

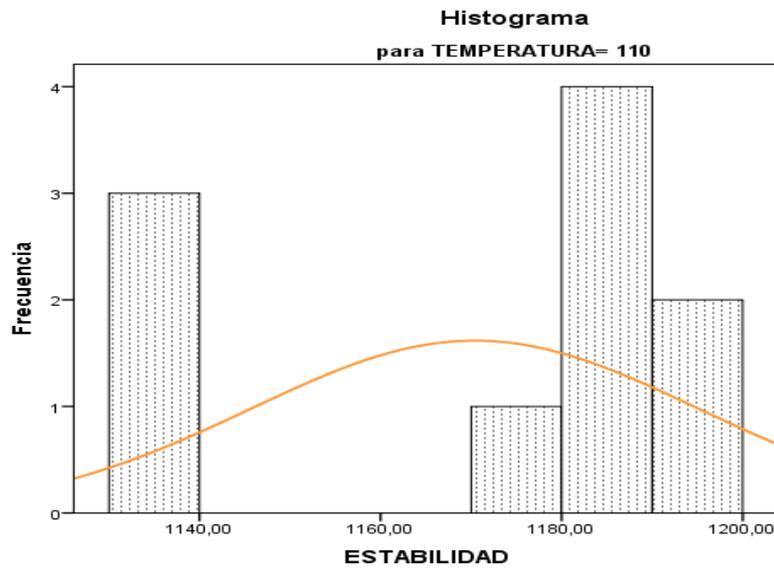


Figura 35. Curva de normalidad de datos para temperatura de compactación a 110°C.

En la figura 36 se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 120°C donde se observa la no existencia de normalidad en los datos analizados.

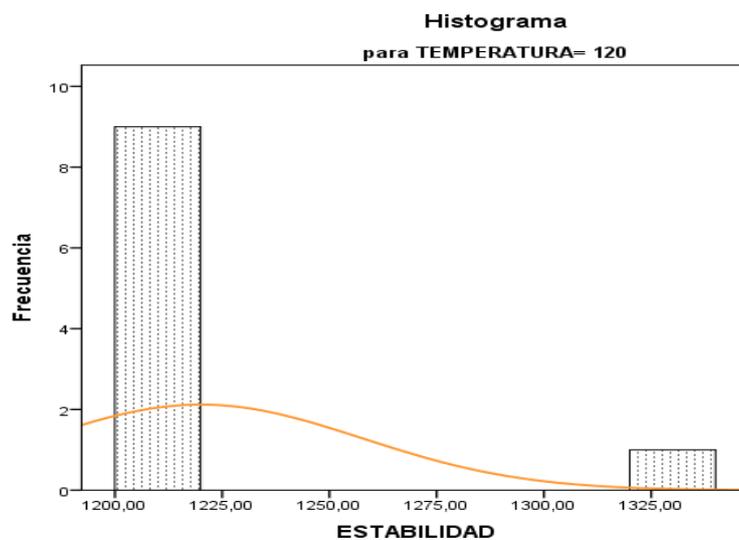


Figura 36. Curva de normalidad de datos para temperatura de compactación a 120°C.

En la figura 37 se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 130°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

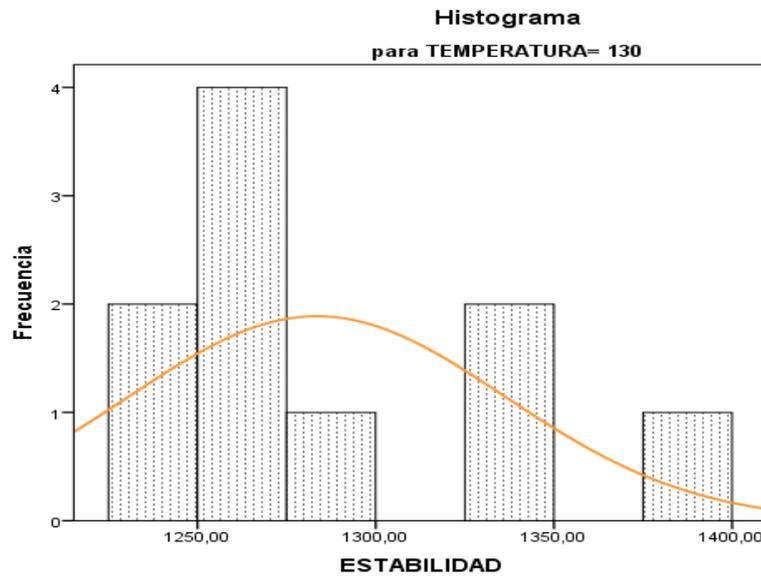


Figura 37. Curva de normalidad de datos para temperatura de compactación a 130°C.

En la figura 38 se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 140°C donde se observa la no existencia de normalidad en los datos analizados.

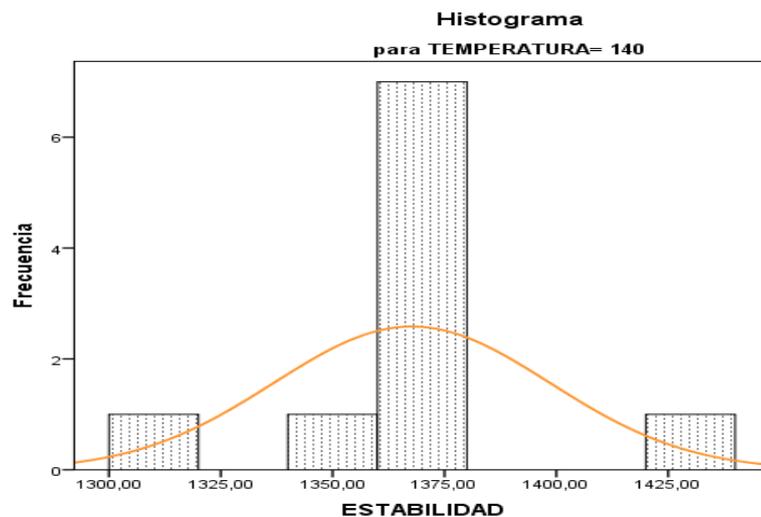


Figura 38. Curva de normalidad de datos para temperatura de compactación a 140°C.

En la figura 39 se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 150°C donde se observa la no existencia de normalidad en los datos analizados.

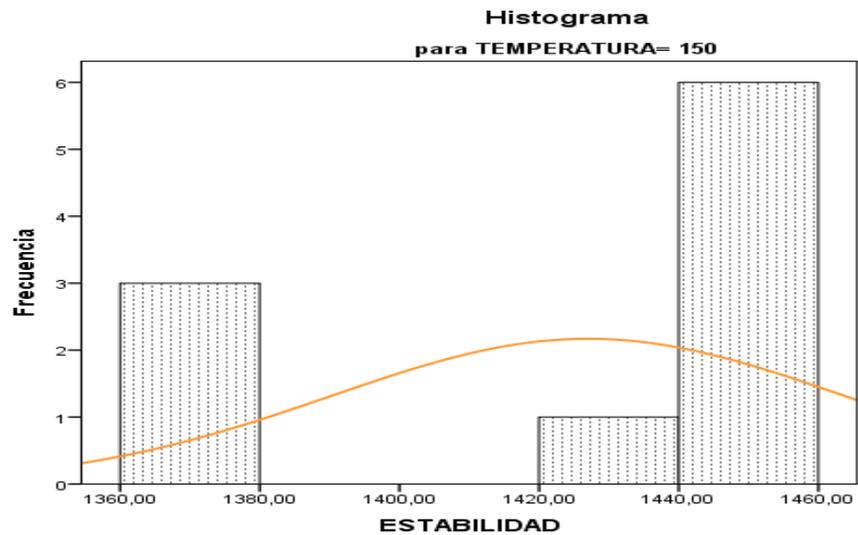


Figura 39. Curva de normalidad de datos para temperatura de compactación a 150°C.

En la figura 40 se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 160°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

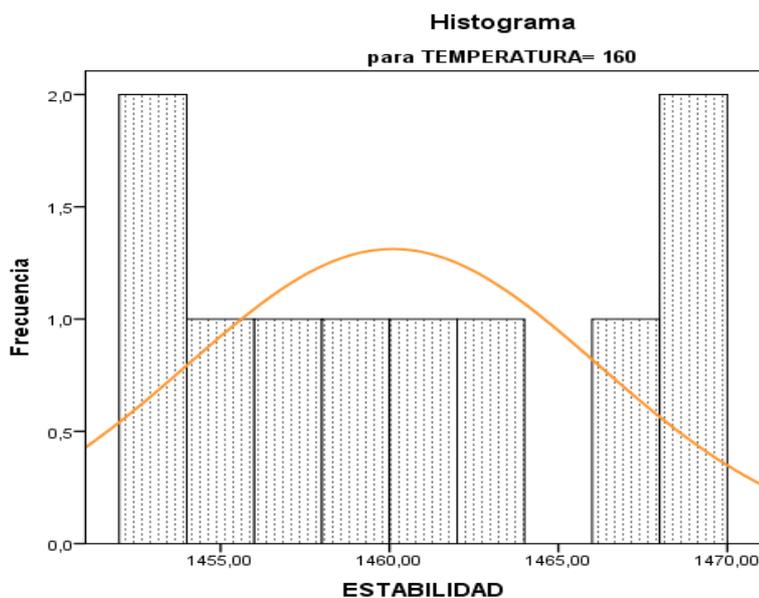


Figura 40. Curva de normalidad de datos para temperatura de compactación a 160°C.

Analizado la normalidad de datos se procede a analizar la correlación existente entre la estabilidad y temperatura de compactación.

Para el análisis se empleó el Coeficiente de Correlación de Spearman pues este método se emplea para datos no paramétricos quiere decir para datos que no cumple una normalidad, como es para este caso que la mayoría de las temperaturas no cumplen con la normalidad de datos.

En la tabla 56, se observa el análisis realizado por el programa SPSS para la correlación de datos.

Tabla 56.
Correlación de Spearman para datos de estabilidad de la mezcla asfáltica.

			Correlaciones	
			TEMPERATU RA	ESTABILIDAD
Rho de Spearman	TEMPERATURA	Coefficiente de correlación	1,000	,984**
		Sig. (bilateral)	.	,000
		N	110	110
	ESTABILIDAD	Coefficiente de correlación	,984**	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	.
		N	110	110

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

En la tabla 56, se observa que, si existe una correlación entre Temperatura de compactación y Estabilidad, siendo una correlación positiva perfecta (Rho = 0.984). Teniendo en cuenta la correlación existente se analiza gráficamente los datos tomados, como se observa en la figura 41, donde se detalla una gráfica de Estabilidad vs Temperatura de compactación.

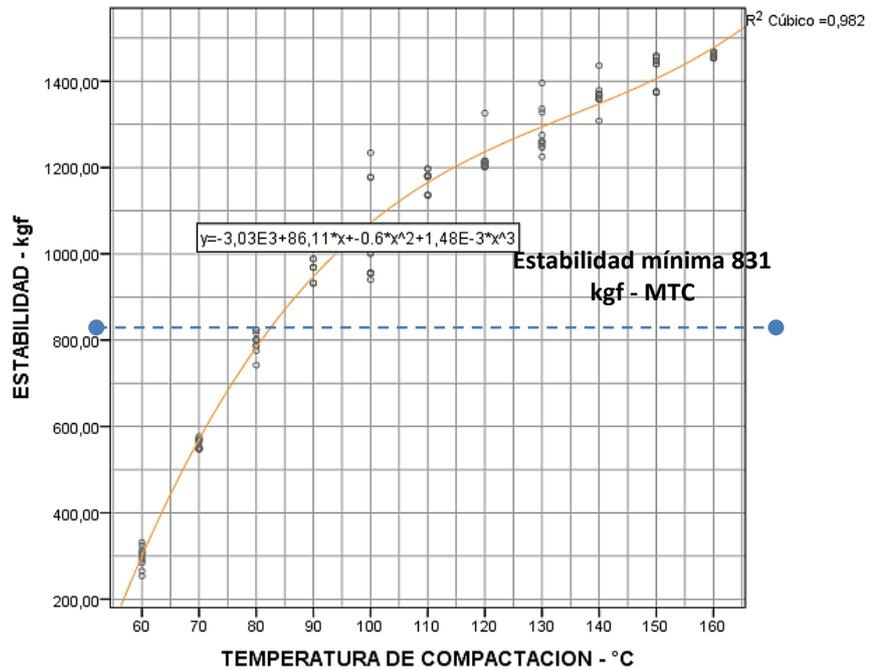


Figura 41. Estabilidad vs Temperatura de compactación

La curva generada por la estabilidad y temperatura de compactación genera una ecuación cual se describe en (1):

$$Y = -3.03 * 10^3 + 86.11 * X - 0.6 * X^2 + 1.48 * 10^{-3} * X^3.(1)$$

Según la ecuación se determina que para cumplir con la estabilidad mínima requerida por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones se debe de compactar como mínimo a una temperatura de 83°C.

4.2.12.2. Fluencia o deformación

En la tabla 57, se observa el análisis descriptivo de los resultados obtenidos de fluencia o deformación de las briquetas ensayadas por cada temperatura de compactación.

Tabla 57.*Análisis descriptivo de la fluencia por temperatura de compactación.*

DESCRIPCION	TEMPERATURA	ESTADÍSTICO	
FLUENCIA O DEFORMACION	60	Media	4,5600
		Mediana	4,5000
		Varianza	,027
		Desviación estándar	,16465
		Mínimo	4,30
		Máximo	4,80
	70	Media	4,1900
		Mediana	4,2000
		Varianza	,019
		Desviación estándar	,13703
		Mínimo	4,00
		Máximo	4,50
	80	Media	3,8800
		Mediana	3,8000
		Varianza	,131
		Desviación estándar	,36148
		Mínimo	3,40
		Máximo	4,50
	90	Media	3,8400
		Mediana	3,7000
		Varianza	,058
		Desviación estándar	,24129
		Mínimo	3,60
		Máximo	4,20
	100	Media	3,9400
		Mediana	3,9500
		Varianza	,136
		Desviación estándar	,36878
		Mínimo	3,30
		Máximo	4,40
110	Media	3,9000	
	Mediana	3,9500	
	Varianza	,113	
	Desviación estándar	,33665	
	Mínimo	3,40	
	Máximo	4,30	
120	Media	3,4700	
	Mediana	3,5000	
	Varianza	,087	

DESCRIPCION	TEMPERATURA	ESTADÍSTICO	
		Desviación estándar	,29458
		Mínimo	3,10
		Máximo	4,10
	130	Media	3,4300
		Mediana	3,2500
		Varianza	,122
		Desviación estándar	,34976
		Mínimo	3,00
		Máximo	3,90
	140	Media	3,5400
		Mediana	3,6000
		Varianza	,043
		Desviación estándar	,20656
		Mínimo	3,20
		Máximo	3,80
	150	Media	3,4900
		Mediana	3,5000
		Varianza	,030
		Desviación estándar	,17288
		Mínimo	3,20
		Máximo	3,70
	160	Media	3,3200
		Mediana	3,3500
		Varianza	,020
Desviación estándar		,13984	
Mínimo		3,10	
Máximo		3,50	

En la tabla 58, se observa la tendencia de normalidad para cada tipo de temperatura de compactación, cual fue gracias al programa SPSS.

Tabla 58.
Prueba de normalidad para la fluencia de la mezcla asfáltica.

TEMPERATURA (°C)	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
60	,242	10	,099	,919	10	,351
70	,271	10	,036	,883	10	,142

TEMPERATURA (°C)	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
80	,188	10	,200*	,955	10	,727
90	,319	10	,005	,811	10	,020
100	,168	10	,200*	,924	10	,390
110	,224	10	,169	,882	10	,139
120	,159	10	,200*	,922	10	,372
130	,255	10	,065	,825	10	,029
140	,214	10	,200*	,930	10	,447
150	,238	10	,115	,907	10	,260
160	,216	10	,200*	,907	10	,263

Para el caso de la fluencia que presenta la mezcla asfáltica, se analizará su normalidad por medio de Shapiro – Wilk, pues se emplea este método para casos que tomen como muestra menos a 50 datos como la presente investigación. En la tabla 58, se observa que el nivel de significancia es mayor para las temperaturas de 60°C, 70°C, 80°C, 100°C, 100°C, 110°C, 120°C, 140°C, 150°C y 160°C; el resto son menores a 0.05 por este motivo se indica que no existe una distribución normal de datos.

En la figura 42 se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 60°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

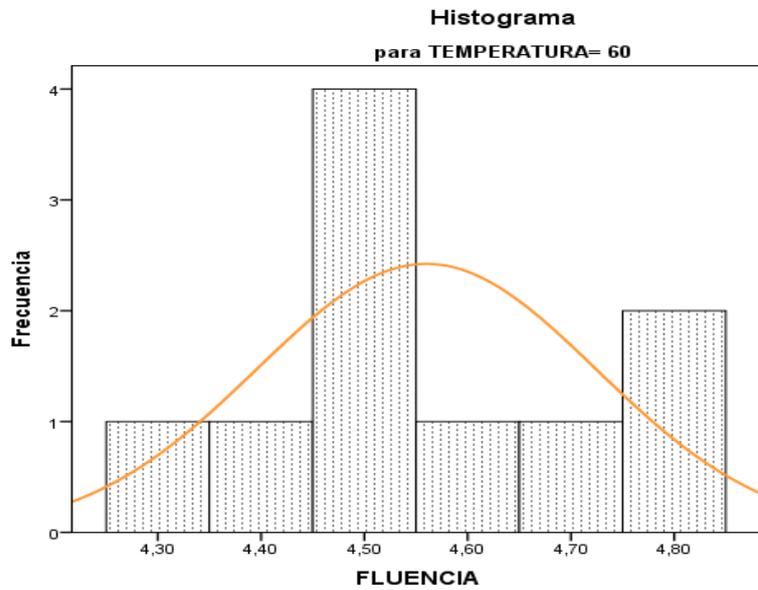


Figura 42. Curva de normalidad de datos de fluencia para temperatura de compactación a 60°C.

En la figura 43 se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 70°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

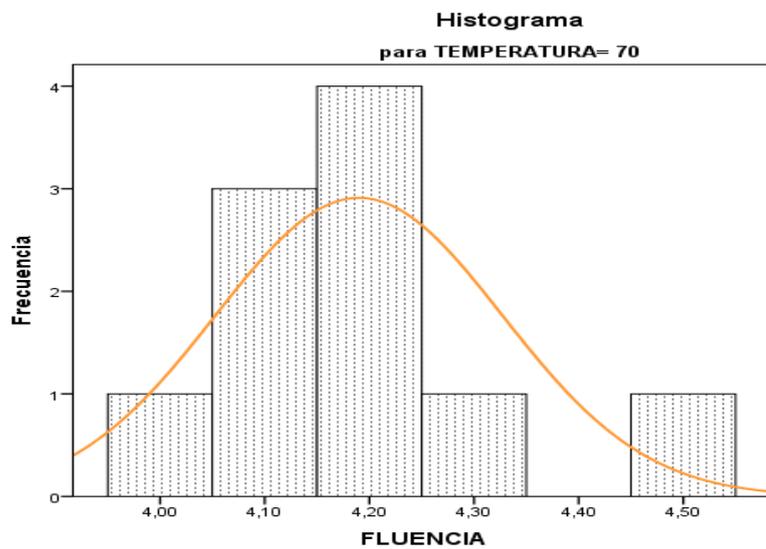


Figura 43. Curva de normalidad de datos de fluencia para temperatura de compactación a 70°C.

En la figura 44, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 80°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

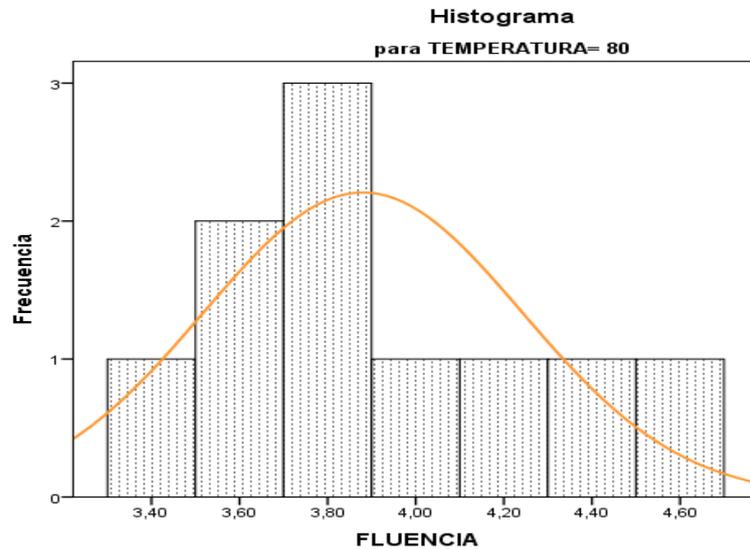


Figura 44. Curva de normalidad de datos de fluencia para temperatura de compactación a 80°C.

En la figura 45, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 90°C donde se observa la no existencia de normalidad en los datos analizados.

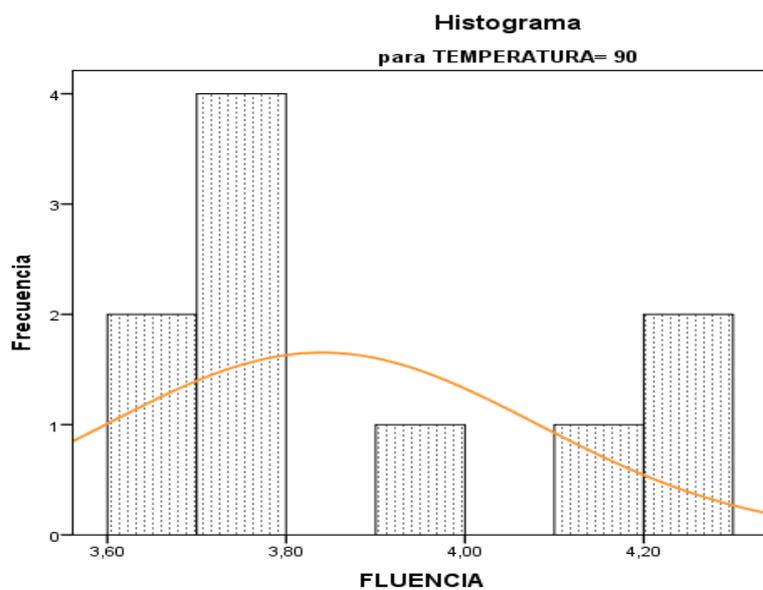


Figura 45. Curva de normalidad de datos de fluencia para temperatura de compactación a 90°C.

En la figura 46, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 100°C donde se observa la no existencia de normalidad en los datos analizados.

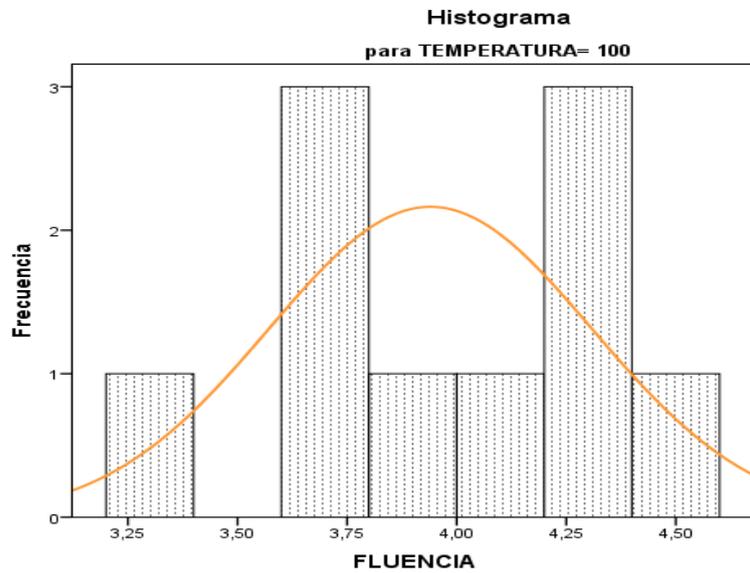


Figura 46. Curva de normalidad de datos de fluencia para temperatura de compactación a 100°C.

En la figura 47, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 110°C donde se observa la no existencia de normalidad en los datos analizados.

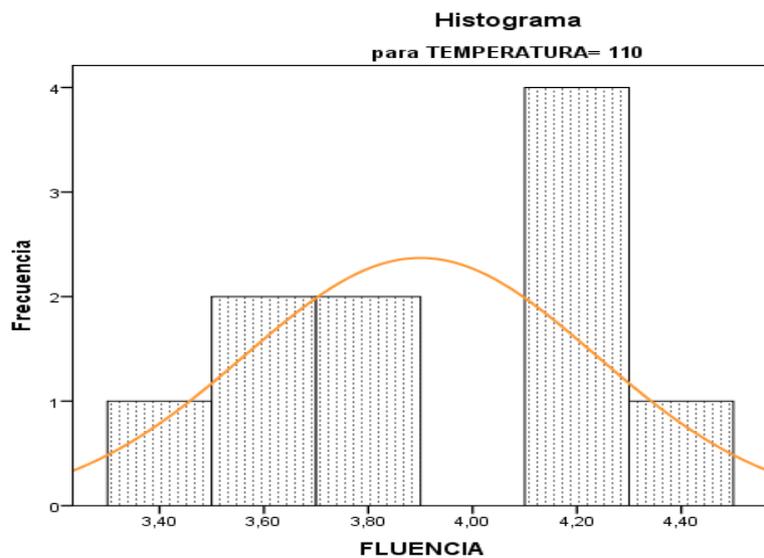


Figura 47. Curva de normalidad de datos de fluencia para temperatura de compactación a 110°C.

En la figura 48, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 120°C donde se observa la no existencia de normalidad en los datos analizados.

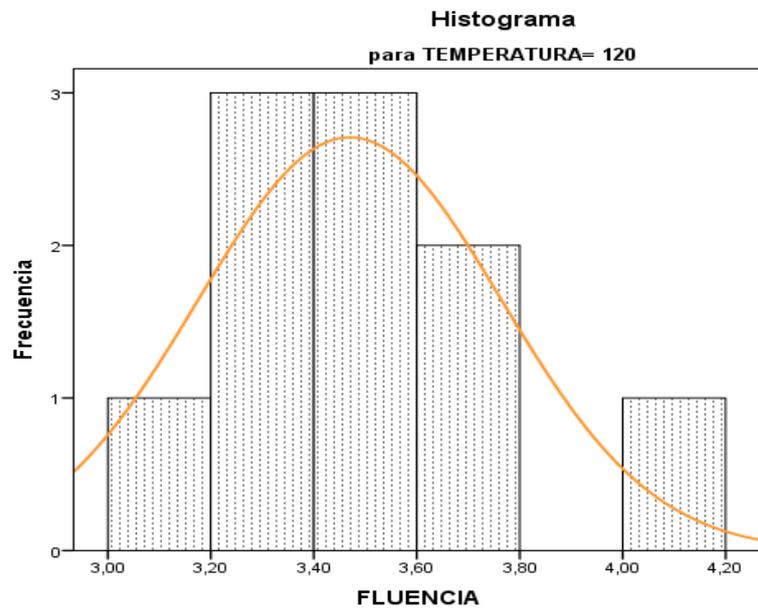


Figura 48. Curva de normalidad de datos de fluencia para temperatura de compactación a 120°C.

En la figura 49, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 130°C donde se observa la no existencia de normalidad en los datos analizados.

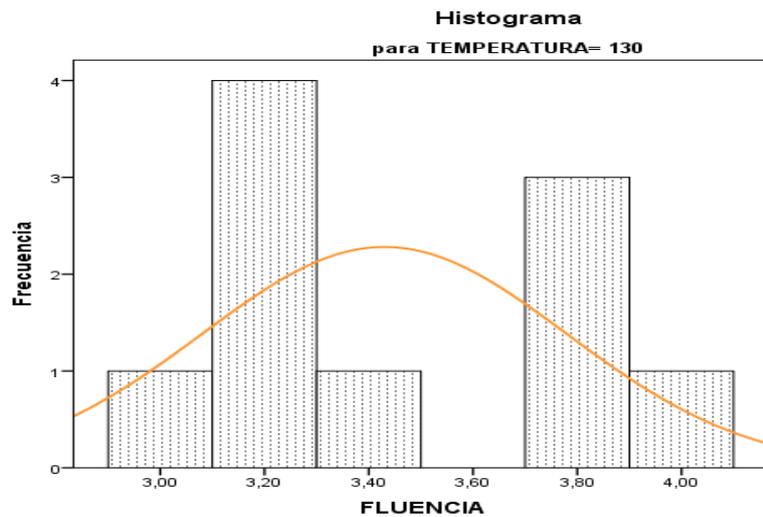


Figura 49. Curva de normalidad de datos de fluencia para temperatura de compactación a 130°C.

En la figura 50, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 140°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

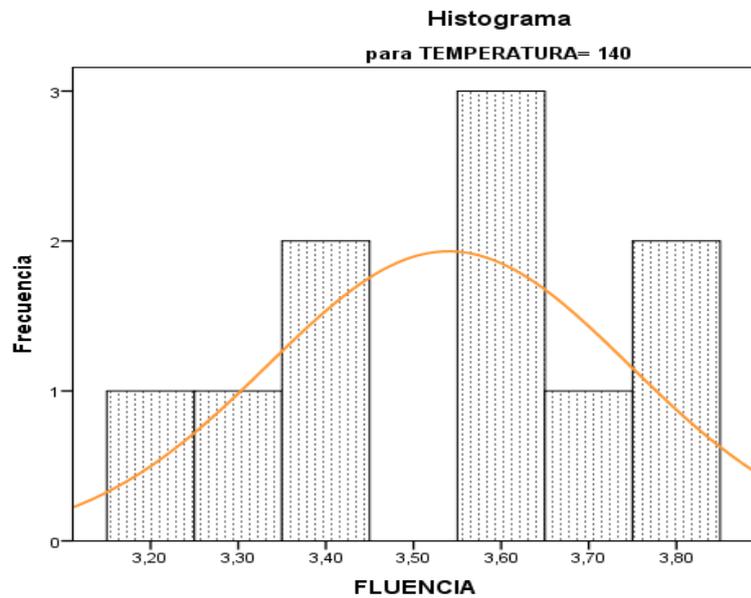


Figura 50. Curva de normalidad de datos de fluencia para temperatura de compactación a 140°C.

En la figura 51, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 150°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

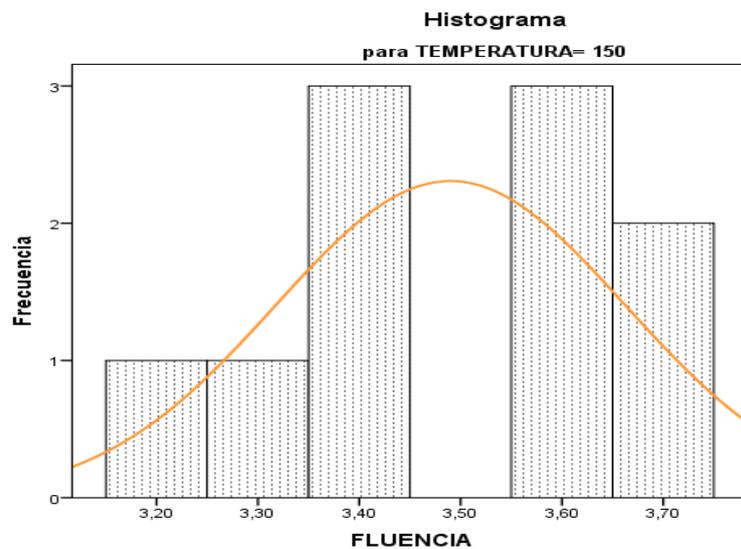


Figura 51. Curva de normalidad de datos de fluencia para temperatura de compactación a 150°C.

En la figura 52, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 160°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

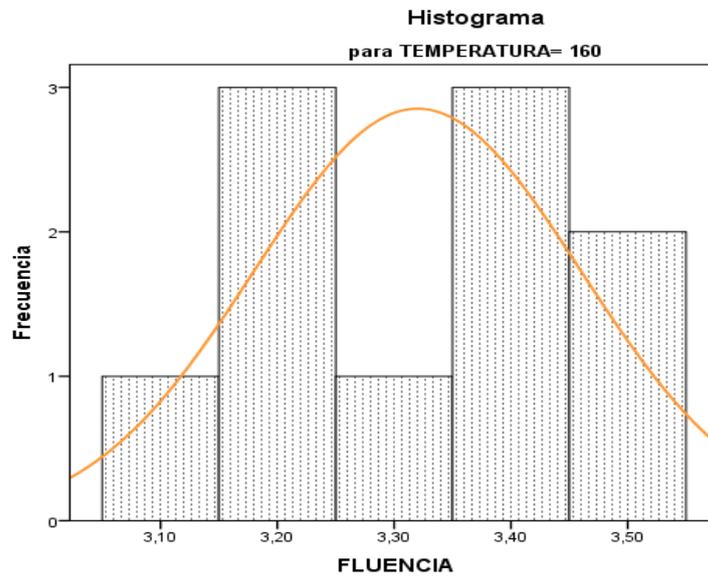


Figura 52. Curva de normalidad de datos para temperatura de compactación a 160°C.

Analizado la normalidad de datos se procede a analizar la correlación existente entre la fluencia y temperatura de compactación.

Para el análisis se empleó el Coeficiente de Correlación de Spearman pues este método se emplea para datos no paramétricos quiere decir para datos que no cumple una normalidad, como es para este caso que la mayoría de las temperaturas no cumplen con la normalidad de datos.

En la tabla 59, se observa el análisis realizado por el programa SPSS para la correlación de datos.

Tabla 59.
Correlación de Spearman para datos de fluencia de la mezcla asfáltica.

Correlaciones			TEMPERATU RA	FLUEN CIA
Rho de Spearman	TEMPERATURA	Coefficiente de correlación	1,000	-,731**
		Sig. (bilateral)	.	,000
		N	110	110
	FLUENCIA	Coefficiente de correlación	-,731**	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	.
		N	110	110

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

En la tabla 59, se observa que, si existe una correlación entre Temperatura de compactación y Fluencia, siendo una correlación negativa considerable (Rho = -0.731). Teniendo en cuenta la correlación existente se analiza gráficamente los datos tomados, como se observa en la figura 53, donde se detalla una gráfica de Fluencia vs Temperatura de compactación.

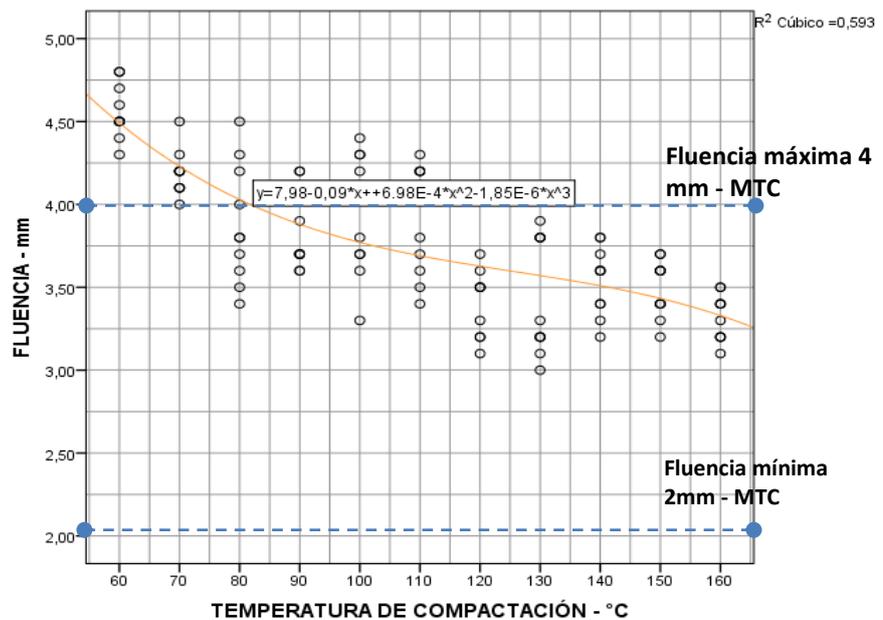


Figura 53. Fluencia vs Temperatura de compactación

La curva generada por la fluencia y temperatura de compactación genera una ecuación cual se describe en (2):

$$Y = 7.983 - 0.0934 * X + 6.98 * 10^{-4} * X^2 - 1.85 * 10^{-6} * X^3 \dots(2)$$

Según la ecuación y grafica se observa que todas las temperaturas cumplen con la fluencia mínima de 2mm, pero para la fluencia máxima de 4mm solo es aceptable la temperatura de compactación mínima de 81.85°C según la ecuación descrita.

4.2.12.3. % de vacíos de aire

En la tabla 60, se observa el análisis descriptivo de los resultados obtenidos de % de vacíos de aire de las briquetas ensayadas por cada temperatura de compactación.

Tabla 60.

Análisis descriptivo de % de vacíos de aire por temperatura de compactación.

DESCRIPCION	TEMPERATURA	ESTADÍSTICO	
VACIOS DE AIRE	60	Media	10,7000
		Mediana	10,7500
		Varianza	,324
		Desviación estándar	,56960
		Mínimo	9,90
		Máximo	11,50
	70	Media	10,0200
		Mediana	10,2000
		Varianza	,644
		Desviación estándar	,80250
		Mínimo	8,50
		Máximo	10,80
	80	Media	6,9100
		Mediana	6,9500
		Varianza	,212
		Desviación estándar	,46056
		Mínimo	6,30
		Máximo	7,50
	90	Media	6,6100
		Mediana	6,6500
		Varianza	,472
		Desviación estándar	,68710
		Mínimo	5,30

DESCRIPCION	TEMPERATURA	ESTADÍSTICO	
		Máximo	7,60
	100	Media	5,5000
		Mediana	5,3500
		Varianza	,322
		Desviación estándar	,56765
		Mínimo	4,90
		Máximo	6,60
	110	Media	6,1800
		Mediana	6,3500
		Varianza	,426
		Desviación estándar	,65286
		Mínimo	5,10
		Máximo	7,00
	120	Media	7,3600
		Mediana	7,5500
		Varianza	1,949
		Desviación estándar	1,39619
		Mínimo	3,70
		Máximo	8,60
	130	Media	6,7800
		Mediana	7,2000
		Varianza	1,728
		Desviación estándar	1,31470
		Mínimo	3,80
		Máximo	8,10
	140	Media	4,8300
		Mediana	4,8000
		Varianza	,013
		Desviación estándar	,11595
		Mínimo	4,70
		Máximo	5,00
	150	Media	4,4200
		Mediana	4,3000
		Varianza	,091
		Desviación estándar	,30111
		Mínimo	4,10
		Máximo	4,90
	160	Media	3,6500
		Mediana	3,5500
		Varianza	,092
		Desviación estándar	,30277
		Mínimo	3,30
		Máximo	4,20

En la tabla 61, se observa la tendencia de normalidad para cada

tipo de temperatura de compactación, cual fue gracias al programa SPSS.

Tabla 61.

Prueba de normalidad para % de vacíos de aire de la mezcla asfáltica.

TEMPERATURA (°C)	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
60	,137	10	,200*	,940	10	,558
70	,202	10	,200*	,886	10	,151
80	,213	10	,200*	,884	10	,146
90	,194	10	,200*	,964	10	,830
100	,201	10	,200*	,913	10	,303
110	,173	10	,200*	,927	10	,417
120	,271	10	,036	,734	10	,002
130	,196	10	,200*	,872	10	,105
140	,126	10	,200*	,962	10	,812
150	,255	10	,065	,845	10	,050
160	,190	10	,200*	,898	10	,211

Para el caso de % de vacíos de aire que presenta la mezcla asfáltica, se analizará su normalidad por medio de Shapiro – Wilk, pues se emplea este método para casos que tomen como muestra menos de 50 datos como la presente investigación. En la tabla 61, se observa que el nivel de significancia es mayor para las temperaturas de 60°C, 70°C, 80°C, 90°C, 100°C, 110°C, 130°C, 140°C, 150°C y 160°C; el resto son menores a 0.05 por este motivo se indica que no existe una distribución normal de datos.

En la figura 54, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 60°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

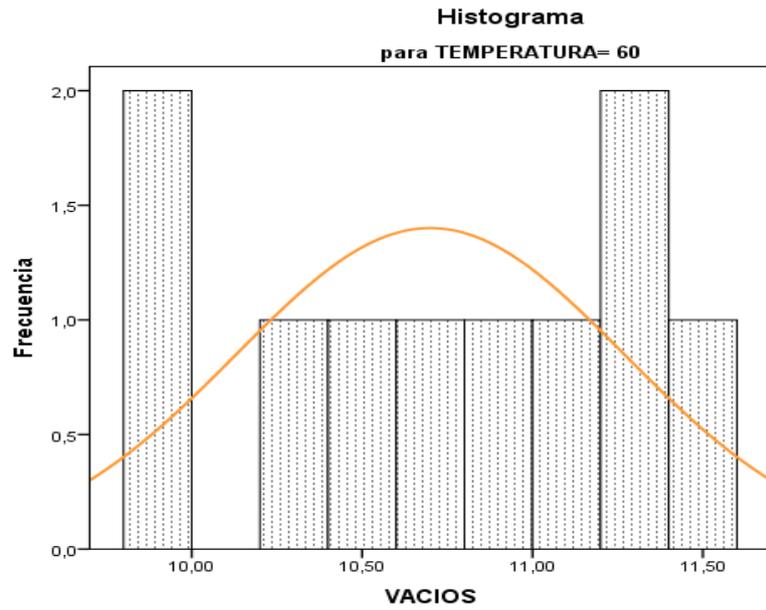


Figura 54. Curva de normalidad de datos de vacíos de aire para temperatura de compactación a 60°C.

En la figura 55, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 70°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

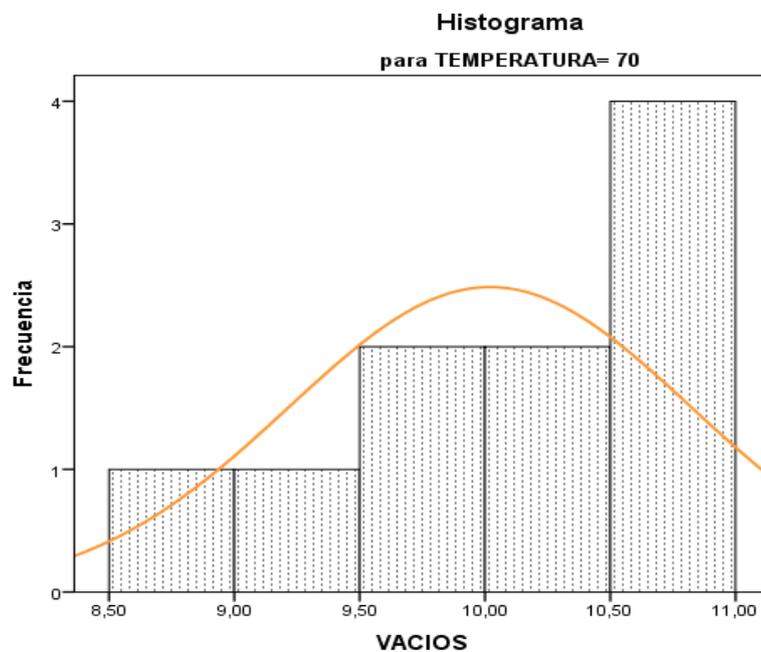


Figura 55. Curva de normalidad de datos de vacíos de aire para temperatura de compactación a 70°C.

En la figura 56, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 80°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

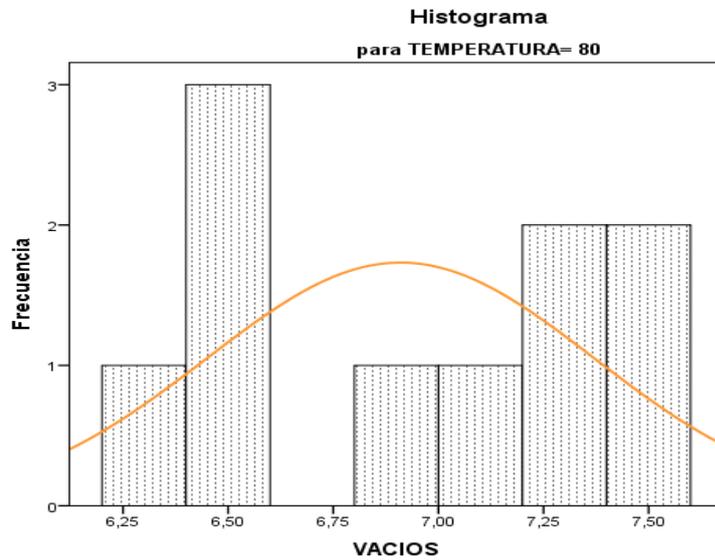


Figura 56: Curva de normalidad de datos de vacíos de aire para temperatura de compactación a 80°C.

En la figura 57, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 90°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

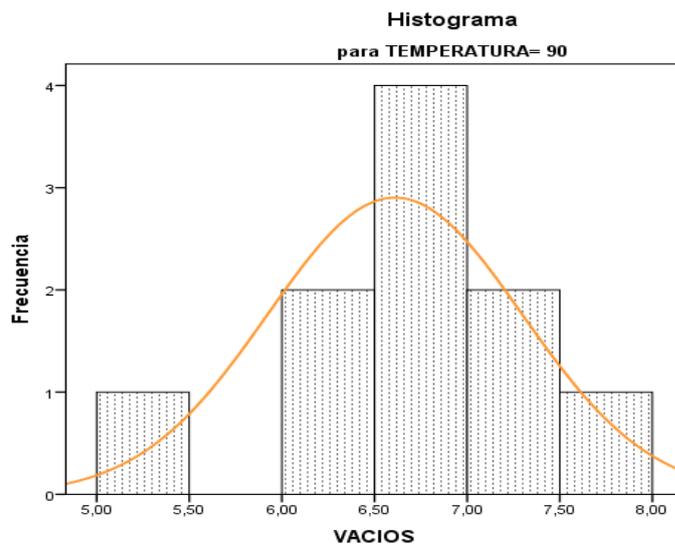


Figura 57. Curva de normalidad de datos de vacíos de aire para temperatura de compactación a 90°C.

En la figura 58, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 100°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

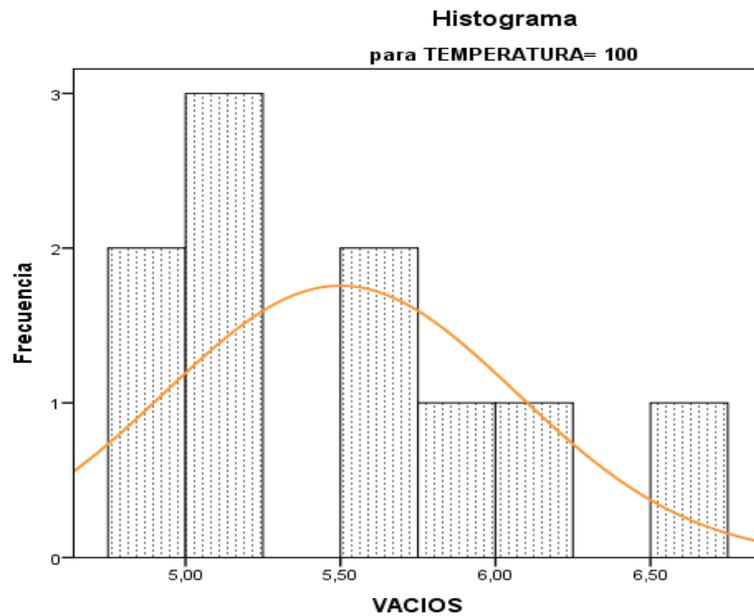


Figura 58. Curva de normalidad de datos vacíos de aire para temperatura de compactación a 100°C.

En la figura 59, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 110°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

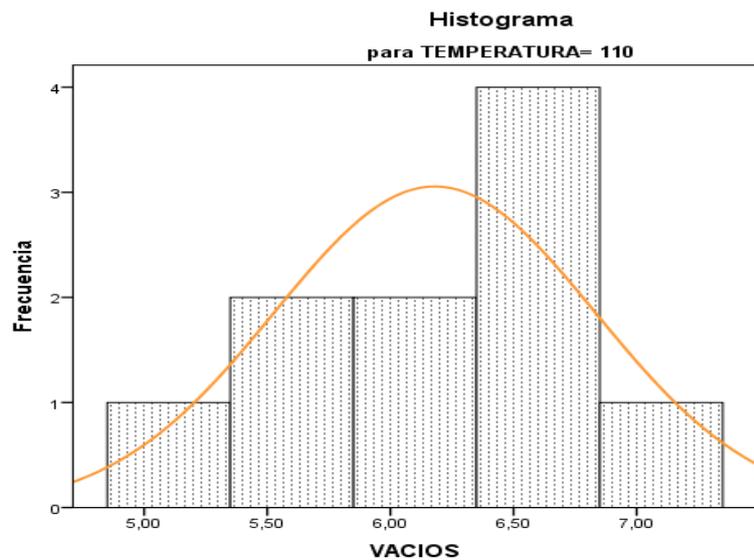


Figura 59. Curva de normalidad de datos de vacíos de aire para temperatura de compactación a 110°C.

En la figura 60, se observa la curva de distribución normal para

la temperatura de 120°C donde se observa la no existencia de normalidad en los datos analizados.

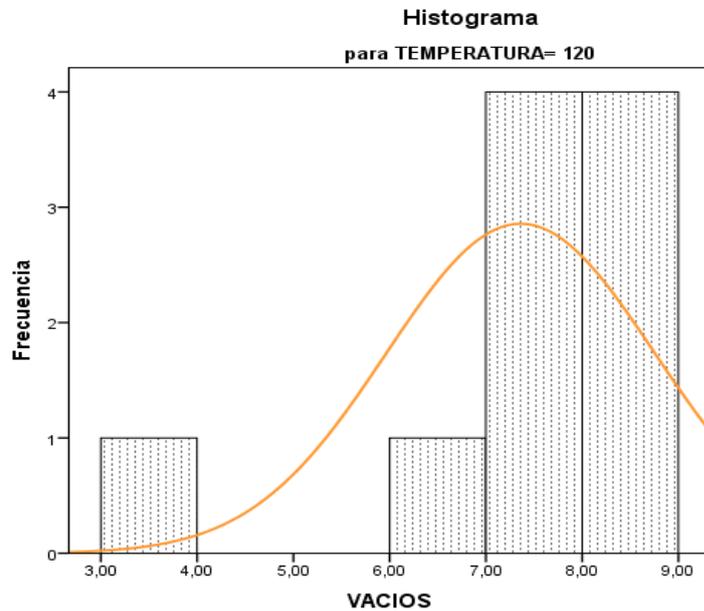


Figura 60. Curva de normalidad de datos de vacíos de aire para temperatura de compactación a 120°C.

En la figura 61, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 130°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

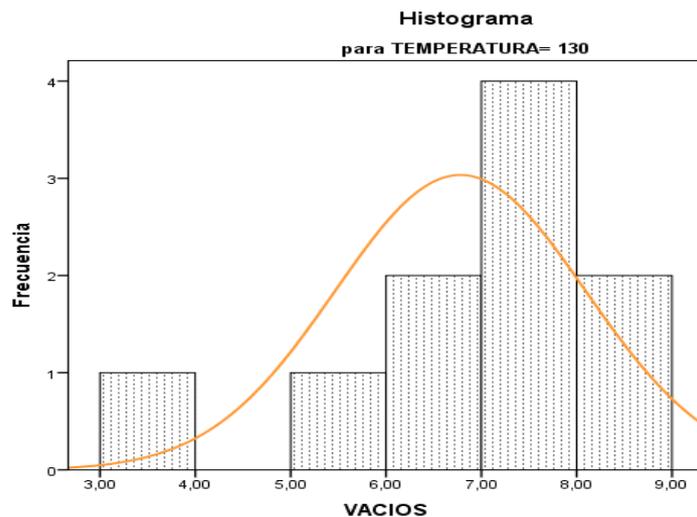


Figura 61. Curva de normalidad de datos de vacíos de aire para temperatura de compactación a 130°C.

En la figura 62, se observa la curva de distribución normal para

la temperatura de 140°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

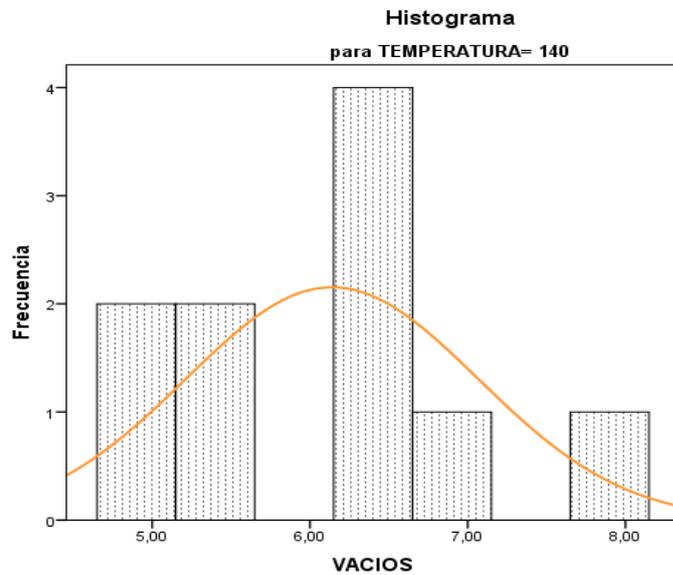


Figura 62. Curva de normalidad de datos de vacíos de aire para temperatura de compactación a 140°C.

En la figura 63, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 150°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

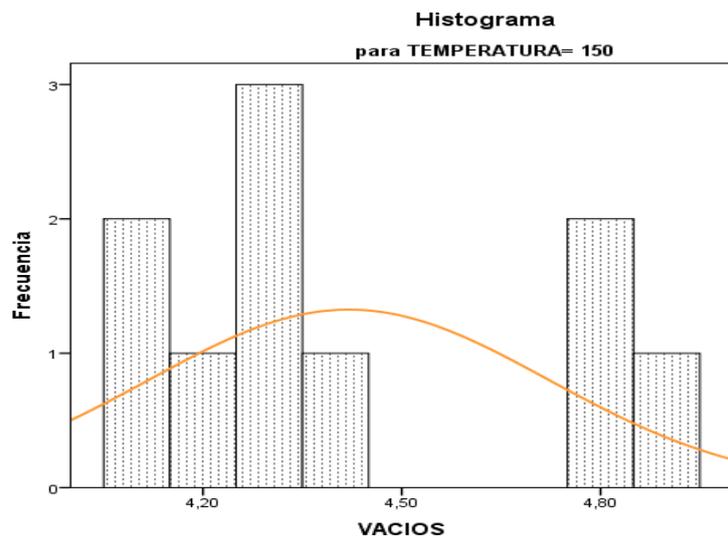


Figura 63. Curva de normalidad de datos de vacíos de aire para temperatura de compactación a 150°C.

En la figura 64, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 160°C donde se observa la existencia de normalidad

en los datos analizados.

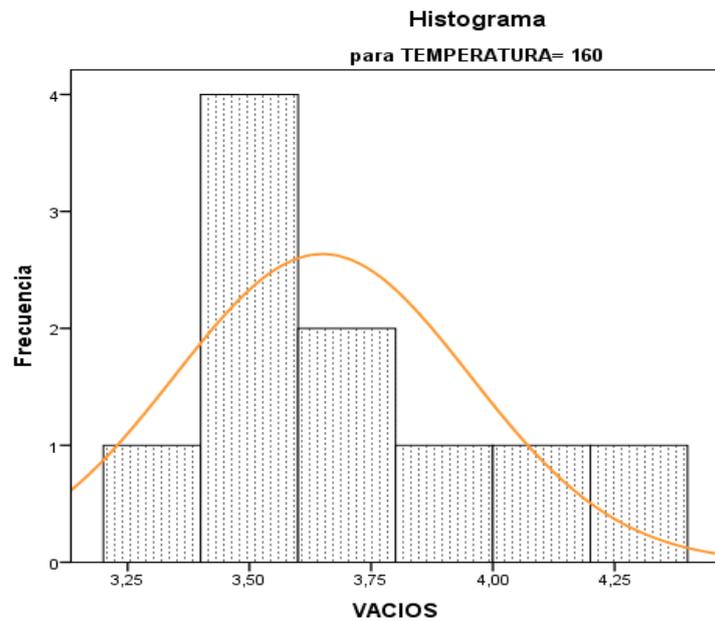


Figura 64. Curva de normalidad de datos de vacíos de aire para temperatura de compactación a 160°C.

Analizado la normalidad de datos se procede a analizar la correlación existente entre % de vacíos de aire y temperatura de compactación.

Para el análisis se empleó la Correlación de Pearson pues este método se emplea para datos no paramétricos quiere decir para datos que no cumple una normalidad, como es para este caso que la mayoría de las temperaturas no cumplen con la normalidad de datos.

En la tabla 62, se observa el análisis realizado por el programa SPSS para la correlación de datos.

Tabla 62.

Correlación de Pearson para datos de % de vacíos de aire de la mezcla asfáltica.

		TEMPERATURA	VACIOS
TEMPERATURA	Correlación de Pearson	1	-,809**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	110	110
VACIOS	Correlación de Pearson	-,809**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	110	110

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

En la tabla 65, se observa que, si existe una correlación entre Temperatura de compactación y % de Vacíos de aire, siendo una correlación negativa considerable (Rho = -0.809). Teniendo en cuenta la correlación existente se analiza gráficamente los datos tomados, como se observa en la figura 61 donde se detalla una gráfica de % de vacíos de aire vs Temperatura de compactación.

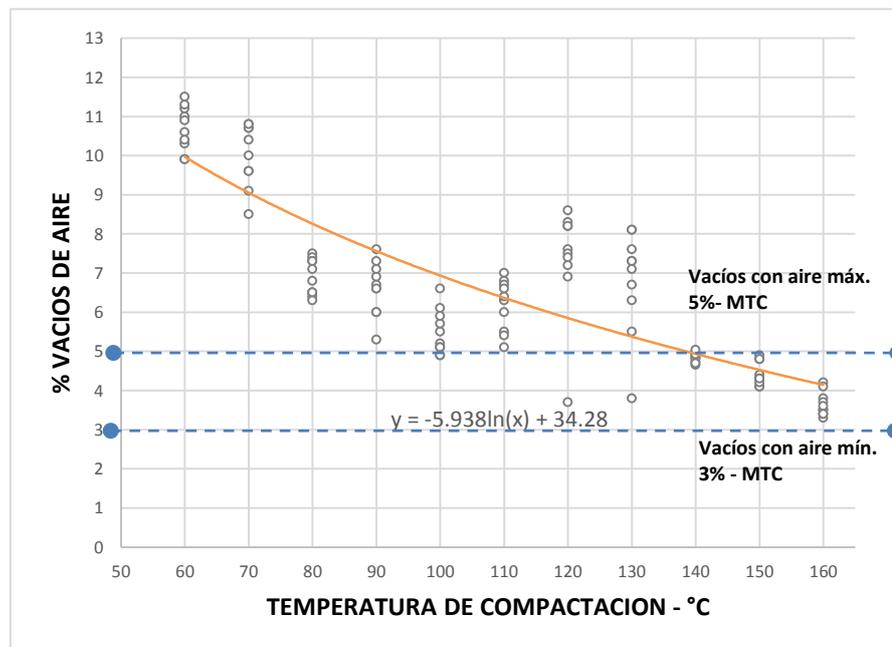


Figura 65. % de vacíos de aire vs Temperatura de compactación

La curva generada por el % de vacíos de aire y temperatura de compactación genera una ecuación cual se describe en (3):

$$Y = -5.938 * \ln(X) + 34.28.....(3)$$

Según la ecuación y grafica se observa que todas las temperaturas cumplen con el % de vacíos de aire mínimo de 2%, pero para el % de vacíos máximo de 5% solo es aceptable la temperatura de compactación mínima de 138.5°C según la ecuación descrita.

4.2.12.4. Peso bulk de la briqueta

En la tabla 63, se observa el análisis descriptivo de los resultados obtenidos del peso específico Bulk de las briquetas ensayadas por cada temperatura de compactación.

Tabla 63.
Análisis descriptivo del peso específico bulk por temperatura de compactación.

DESCRIPCION	TEMPERATURA	ESTADÍSTICO	
PESOBULK	60	Media	2,35860
		Mediana	2,35800
		Varianza	,000
		Desviación estándar	,014938
		Mínimo	2,338
		Máximo	2,380
	70	Media	2,37610
		Mediana	2,37150
		Varianza	,000
		Desviación estándar	,021168
		Mínimo	2,356
		Máximo	2,416
	80	Media	2,45830
		Mediana	2,45750
		Varianza	,000
		Desviación estándar	,012464
		Mínimo	2,443
		Máximo	2,475
	90	Media	2,46620
		Mediana	2,46500
Varianza		,000	
Desviación estándar		,018347	
Mínimo		2,439	
Máximo		2,501	
100	Media	2,49600	
	Mediana	2,49900	
	Varianza	,000	

DESCRIPCION	TEMPERATURA	ESTADÍSTICO	
		Desviación estándar	,014522
		Mínimo	2,468
		Máximo	2,512
	110	Media	2,47810
		Mediana	2,47350
		Varianza	,000
		Desviación estándar	,016862
		Mínimo	2,457
		Máximo	2,505
	120	Media	2,44680
		Mediana	2,44050
		Varianza	,001
		Desviación estándar	,036850
		Mínimo	2,415
	130	Máximo	2,544
		Media	2,46210
		Mediana	2,45200
		Varianza	,001
	140	Desviación estándar	,034857
		Mínimo	2,426
		Máximo	2,540
		Media	2,47880
		Mediana	2,47600
	150	Varianza	,001
Desviación estándar		,024765	
Mínimo		2,434	
Máximo		2,511	
Media		2,52390	
160	Mediana	2,52700	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,007738	
	Mínimo	2,511	
	Máximo	2,533	
	Media	2,54450	
	Mediana	2,54650	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,008168	
	Mínimo	2,531	
		Máximo	2,554

En la tabla 64, se observa la tendencia de normalidad para cada tipo de temperatura de compactación, cual fue gracias al programa SPSS.

Tabla 64.
Prueba de normalidad para el peso específico bulk de la mezcla asfáltica.

TEMPERATURA (°C)	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
60	,121	10	,200*	,945	10	,615
70	,204	10	,200*	,880	10	,131
80	,182	10	,200*	,892	10	,177
90	,204	10	,200*	,964	10	,828
100	,185	10	,200*	,929	10	,435
110	,196	10	,200*	,922	10	,372

TEMPERATURA (°C)	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
120	,281	10	,025	,724	10	,002
130	,181	10	,200*	,885	10	,150
140	,129	10	,200*	,958	10	,757
150	,256	10	,063	,874	10	,112
160	,166	10	,200*	,889	10	,165

Para el caso del peso específico bulk que presenta la mezcla asfáltica, se analizará su normalidad por medio de Shapiro – Wilk, pues se emplea este método para casos que tomen como muestra menos de 50 datos como la presente investigación. En la tabla 64, se observa que el nivel de significancia es menor para la temperatura de 120°C; el resto son mayores a 0.05 por este motivo se indica que no existe una distribución normal de datos.

En la figura 66, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 60°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

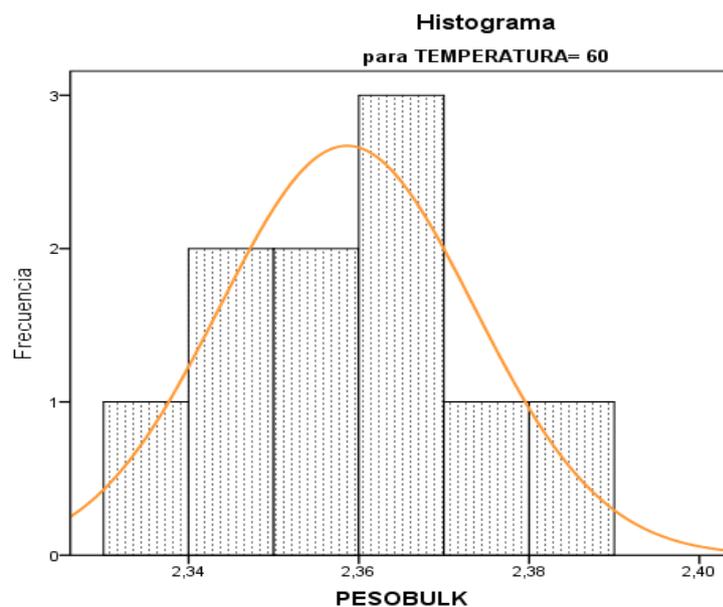


Figura 66. Curva de normalidad de datos de peso específico bulk para temperatura de compactación a 60°C.

En la figura 67, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 70°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

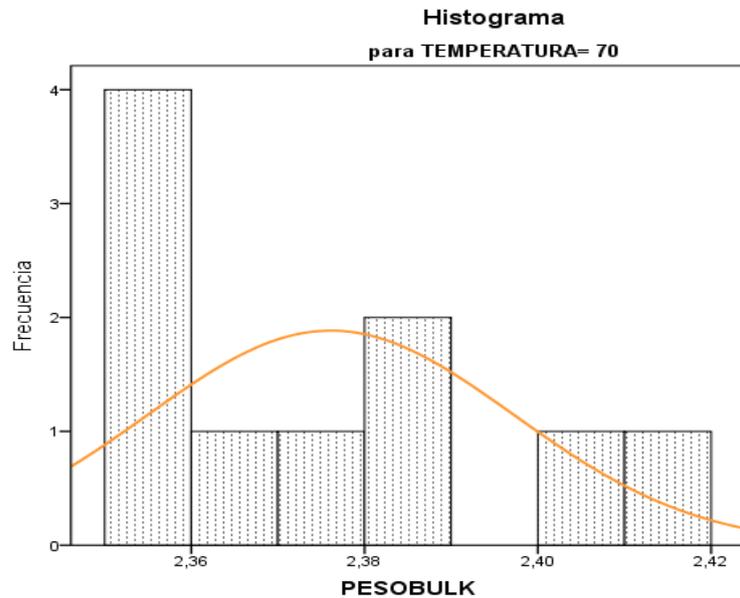


Figura 67. Curva de normalidad de datos de peso específico bulk para temperatura de compactación a 70°C.

En la figura 68, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 80°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

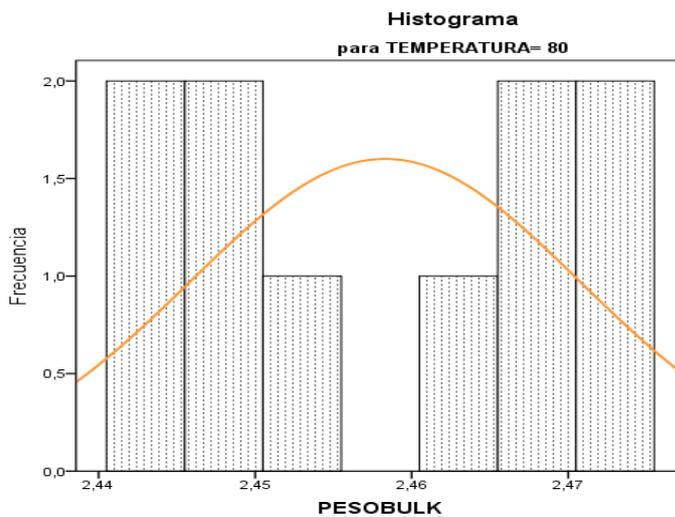


Figura 68. Curva de normalidad de datos de peso específico bulk para temperatura de compactación a 80°C.

En la figura 69, se observa la curva de distribución normal para

la temperatura de 90°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

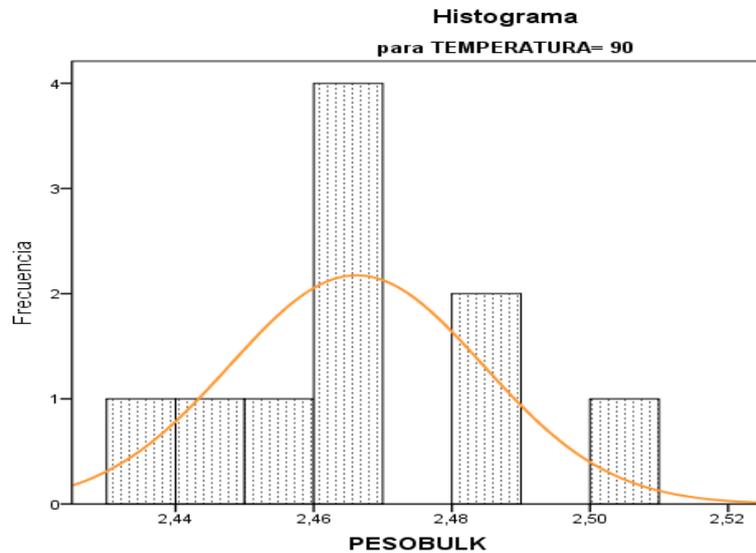


Figura 69. Curva de normalidad de datos de peso específico bulk para temperatura de compactación a 90°C.

En la figura 70, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 100°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

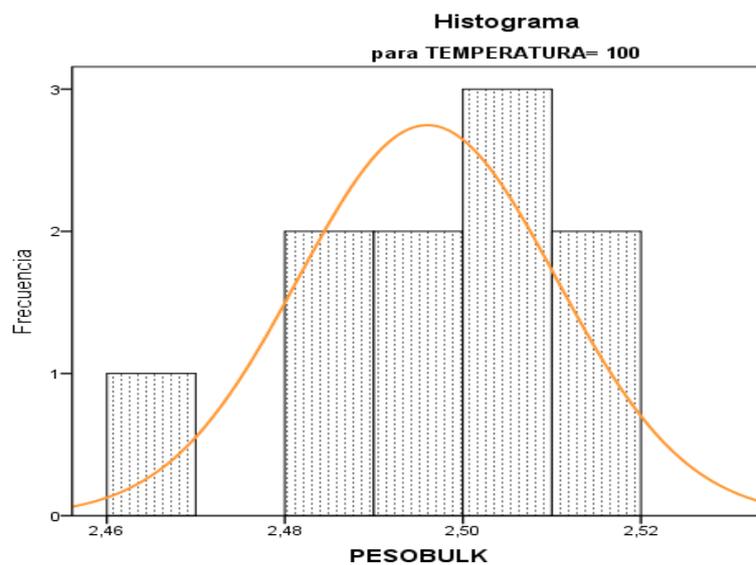


Figura 70. Curva de normalidad de datos de peso específico bulk para temperatura de compactación a 100°C.

En la figura 71, se observa la curva de distribución normal para

la temperatura de 110°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

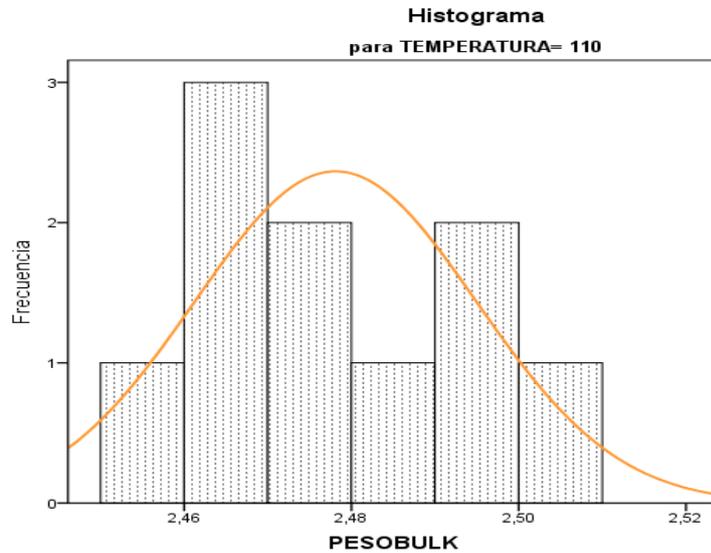


Figura 71. Curva de normalidad de datos de peso específico bulk para temperatura de compactación a 110°C.

En la figura 72, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 120°C donde se observa la no existencia de normalidad en los datos analizados.

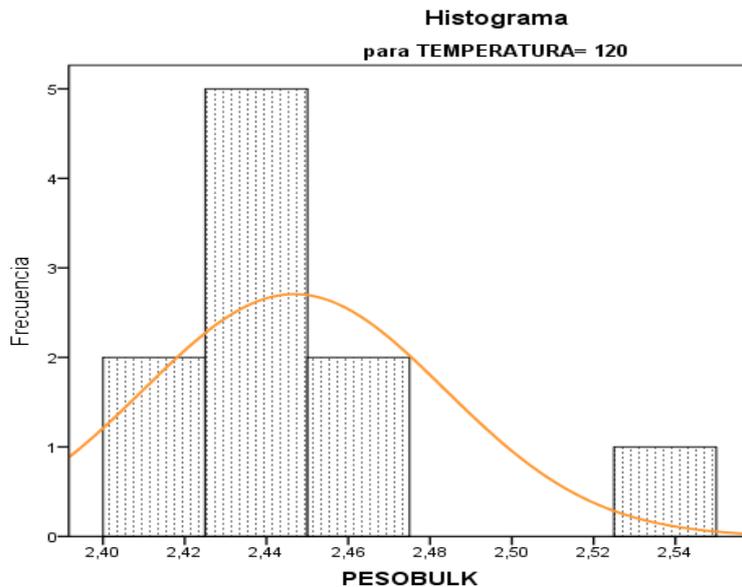


Figura 72. Curva de normalidad de datos de peso específico bulk para temperatura de compactación a 120°C.

En la figura 73, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 130°C donde se observa la existencia de normalidad

en los datos analizados.

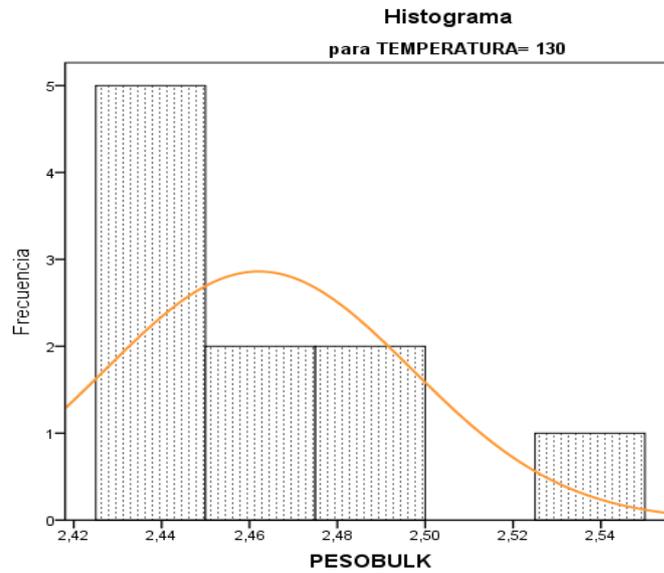


Figura 73. Curva de normalidad de datos de peso específico bulk para temperatura de compactación a 130°C.

En la figura 74, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 140°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

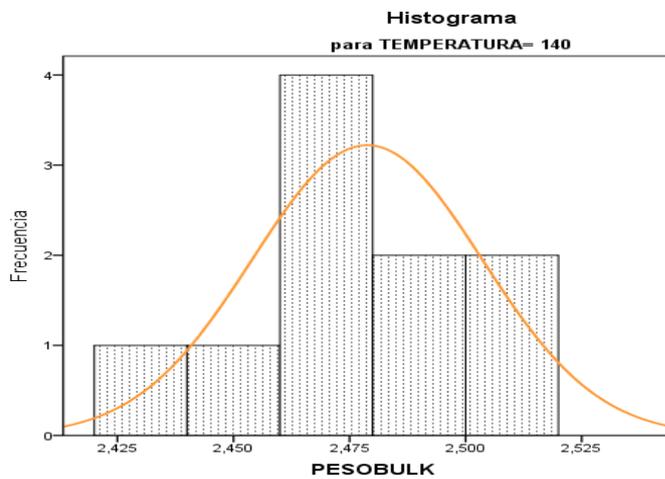


Figura 74. Curva de normalidad de datos de peso específico bulk para temperatura de compactación a 140°C.

En la figura 75, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 150°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

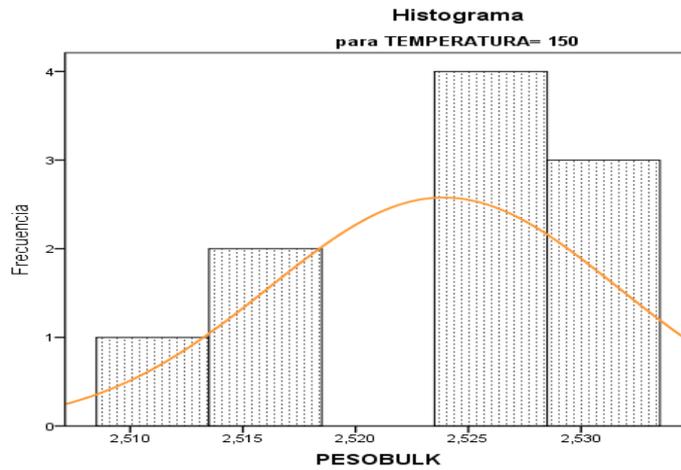


Figura 75. Curva de normalidad de datos de peso específico bulk para temperatura de compactación a 150°C.

En la figura 76, se observa la curva de distribución normal para la temperatura de 160°C donde se observa la existencia de normalidad en los datos analizados.

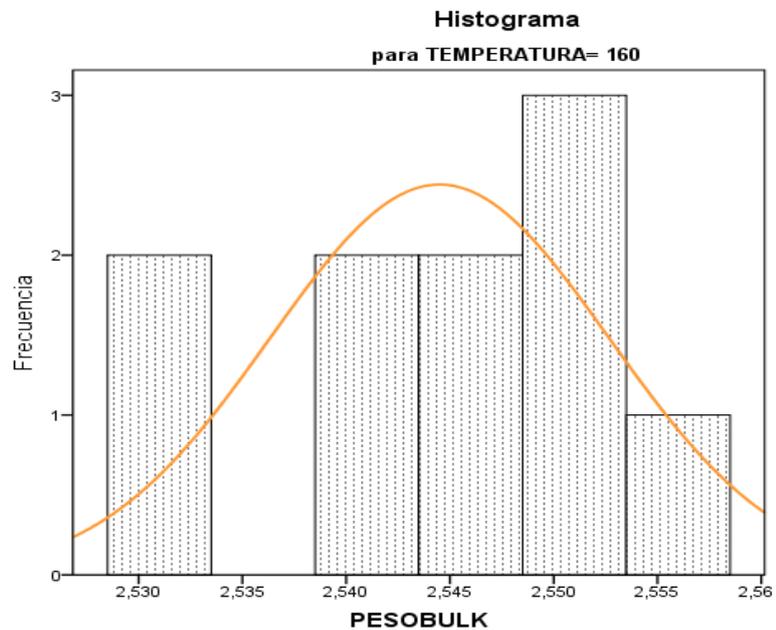


Figura 76. Curva de normalidad de datos de peso específico bulk para temperatura de compactación a 160°C.

Analizado la normalidad de datos se procede a analizar la correlación existente entre el peso específico bulk y temperatura de compactación.

Para el análisis se empleó el Coeficiente de Correlación de Spearman pues este método se emplea para datos no paramétricos quiere decir para datos que no cumple una normalidad, como es para este caso que la mayoría de las temperaturas no cumplen con la normalidad de datos.

En la tabla 65, se observa el análisis realizado por el programa SPSS para la correlación de datos.

Tabla 65.
Correlación de Spearman para datos de peso específico bulk de la mezcla asfáltica.

			Correlaciones	
			TEMPERATU RA	PESOBULK
Rho de Spearman	TEMPERATUR A	Coeficiente de correlación	1,000	,731**
		Sig. (bilateral)	.	,000
		N	110	110
	PESOBULK	Coeficiente de correlación	,731**	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	.
		N	110	110

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

En la tabla 65, se observa que, si existe una correlación entre Temperatura de compactación y Peso específico Bulk, siendo una correlación positiva muy fuerte (Rho = 0.713). Teniendo en cuenta la correlación existente se analiza gráficamente los datos tomados, como se observa en la figura 77, donde se detalla una gráfica de Peso específico bulk vs Temperatura de compactación.

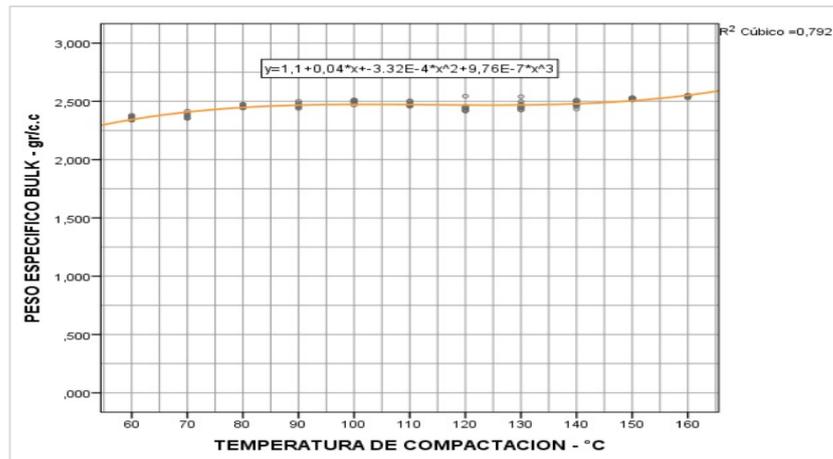


Figura 77. Peso específico bulk vs Temperatura de compactación

La curva generada por el peso específico bulk y temperatura de compactación genera una ecuación cual se describe en (4):

$$Y = 1.1 + 0.04 * X - 3.32 * 10^{-4} * X^2 + 9.76 * 10^{-7} * X^3 \dots(4)$$

4.2.13. Análisis de distancia de transporte

Para analizar la distancia de transporte, se midió el tiempo de enfriamiento desde la temperatura de mezclado (160°C) hasta la temperatura mínima de compactación (138.ªC) obteniendo un periodo de 23 min y 38 seg. Con fines de cálculo se convirtió a 0.394 hr. Hay que tener en consideración que el tiempo obtenido de enfriamiento está sujeto a los periodos de carga y descarga de la mezcla asfáltica.

Una vez determinado este tiempo se realizó un análisis para hallar las distancias de transporte alcanzado con diferentes velocidades mediante la siguiente formula:

$$\text{Distancia} = \text{Velocidad} \times \text{Tiempo}$$

Se analizó velocidades desde 5 km/h hasta 60km/h con un intervalo de

cada 5km/h, se busca ver el comportamiento frente a varias velocidades y así analizar las más usuales en la Región Centro, como se detalla en los siguientes cuadros:

Para el caso de la velocidad de 5 km/h se observa en la tabla 66 el análisis realizado donde se infiere que el área de influencia de la planta de asfalto puede llegar hasta 2 km.

Tabla 66: Análisis de distancia de transporte a una velocidad de 5km/h

T salida	T llegada	Δ Tiempo			Velocidad	Distancia
		min.	seg.	hora		
°C	°C				km/h	Km
160	160	0	0	0.000	5	0.0
160	150	14	46	0.246	5	1.2
160	140	23	6	0.385	5	1.9
160	138.5	23	38	0.394	5	2.0
160	130	26	49	0.447	5	2.2

Para el caso de la velocidad de 10 km/h se observa en la tabla 67 el análisis realizado donde se infiere que el área de influencia de la planta de asfalto puede llegar hasta 3.9 km.

Tabla 67: Análisis de distancia de transporte a una velocidad de 10km/h

T salida	T llegada	Δ Tiempo			Velocidad	Distancia
		min.	seg.	hora		
°C	°C				km/h	Km
160	160	0	0	0.000	10	0.0
160	150	14	46	0.246	10	2.5
160	140	23	6	0.385	10	3.9
160	138.5	23	38	0.394	10	3.9
160	130	26	49	0.447	10	4.5

Para el caso de la velocidad de 15 km/h se observa en la tabla 68 el análisis realizado donde se infiere que el área de influencia de la planta de asfalto puede llegar hasta 5.9 km.

Tabla 68: Análisis de distancia de transporte a una velocidad de 15km/h

T salida	T llegada	Δ Tiempo			Velocidad	Distancia
		min.	seg.	hora		
°C	°C				km/h	Km
160	160	0	0	0.000	15	0.0
160	150	14	46	0.246	15	3.7
160	140	23	6	0.385	15	5.8
160	138.5	23	38	0.394	15	5.9
160	130	26	49	0.447	15	6.7

Para el caso de la velocidad de 20 km/h se observa en la tabla 69 el análisis realizado donde se infiere que el área de influencia de la planta de asfalto puede llegar hasta 7.9 km.

Tabla 69: Análisis de distancia de transporte a una velocidad de 20km/h

T salida	T llegada	Δ Tiempo			Velocidad	Distancia
		min.	seg.	hora		
°C	°C				km/h	Km
160	160	0	0	0.000	20	0.0
160	150	14	46	0.246	20	4.9
160	140	23	6	0.385	20	7.7
160	138.5	23	38	0.394	20	7.9
160	130	26	49	0.447	20	8.9

Para el caso de la velocidad de 25 km/h se observa en la tabla 70 el análisis realizado donde se infiere que el área de influencia de la planta de asfalto puede llegar hasta 9.9 km.

Tabla 70: Análisis de distancia de transporte a una velocidad de 25km/h

T salida	T llegada	Δ Tiempo			Velocidad	Distancia
		min.	seg.	hora		
°C	°C				km/h	Km
160	160	0	0	0.000	25	0.0
160	150	14	46	0.246	25	6.2
160	140	23	6	0.385	25	9.6
160	138.5	23	38	0.394	25	9.9
160	130	26	49	0.447	25	11.2

Para el caso de la velocidad de 30 km/h se observa en la tabla 71 el

análisis realizado donde se infiere que el área de influencia de la planta de asfalto puede llegar hasta 11.8 km.

Tabla 71: Análisis de distancia de transporte a una velocidad de 30km/h

T salida	T llegada	Δ Tiempo			Velocidad	Distancia
		min.	seg.	hora		
°C	°C				km/h	Km
160	160	0	0	0.000	30	0.0
160	150	14	46	0.246	30	7.4
160	140	23	6	0.385	30	11.6
160	138.5	23	38	0.394	30	11.8
160	130	26	49	0.447	30	13.4

Para el caso de la velocidad de 35 km/h se observa en la tabla 72 el análisis realizado donde se infiere que el área de influencia de la planta de asfalto puede llegar hasta 13.8 km.

Tabla 72: Análisis de distancia de transporte a una velocidad de 35km/h

T salida	T llegada	Δ Tiempo			Velocidad	Distancia
		min.	seg.	hora		
°C	°C				km/h	Km
160	160	0	0	0.000	35	0.0
160	150	14	46	0.246	35	8.6
160	140	23	6	0.385	35	13.5
160	138.5	23	38	0.394	35	13.8
160	130	26	49	0.447	35	15.6

Para el caso de la velocidad de 40 km/h se observa en la tabla 73 el análisis realizado donde se infiere que el área de influencia de la planta de asfalto puede llegar hasta 15.8 km.

Tabla 73: Análisis de distancia de transporte a una velocidad de 40km/h

T salida	T llegada	Δ Tiempo			Velocidad	Distancia
		min.	seg.	hora		
°C	°C				km/h	Km
160	160	0	0	0.000	40	0.0
160	150	14	46	0.246	40	9.8
160	140	23	6	0.385	40	15.4
160	138.5	23	38	0.394	40	15.8
160	130	26	49	0.447	40	17.9

Para el caso de la velocidad de 45 km/h se observa en la tabla 74 el análisis realizado donde se infiere que el área de influencia de la planta de asfalto puede llegar hasta 17.1 km.

Tabla 74: Análisis de distancia de transporte a una velocidad de 45km/h

T salida	T llegada	Δ Tiempo			Velocidad	Distancia
		min.	seg.	hora		
°C	°C				km/h	Km
160	160	0	0	0.000	45	0.0
160	150	14	46	0.246	45	11.1
160	140	23	6	0.385	45	17.3
160	138.5	23	38	0.394	45	17.7
160	130	26	49	0.447	45	20.1

Para el caso de la velocidad de 50 km/h se observa en la tabla 75 el análisis realizado donde se infiere que el área de influencia de la planta de asfalto puede llegar hasta 19.7 km.

Tabla 75: Análisis de distancia de transporte a una velocidad de 50km/h

T salida	T llegada	Δ Tiempo			Velocidad	Distancia
		min.	seg.	hora		
°C	°C				km/h	Km
160	160	0	0	0.000	50	0.0
160	150	14	46	0.246	50	12.3
160	140	23	6	0.385	50	19.3
160	138.5	23	38	0.394	50	19.7
160	130	26	49	0.447	50	22.3

Para el caso de la velocidad de 55 km/h se observa en la tabla 76 el

análisis realizado donde se infiere que el área de influencia de la planta de asfalto puede llegar hasta 21.7 km.

Tabla 76: Análisis de distancia de transporte a una velocidad de 55km/h

T salida °C	T llegada °C	Δ Tiempo			Velocidad km/h	Distancia Km
		min.	seg.	hora		
160	160	0	0	0.000	55	0.0
160	150	14	46	0.246	55	13.5
160	140	23	6	0.385	55	21.2
160	138.5	23	38	0.394	55	21.7
160	130	26	49	0.447	55	24.6

Para el caso de la velocidad de 60 km/h se observa en la tabla 77 el análisis realizado donde se ve que se puede llegar hasta 23.7 km.

Tabla 77: Análisis de distancia de transporte a una velocidad de 60km/h

T salida °C	T llegada °C	Δ Tiempo			Velocidad km/h	Distancia Km
		min.	seg.	hora		
160	160	0	0	0.000	60	0.0
160	150	14	46	0.246	60	14.8
160	140	23	6	0.385	60	23.1
160	138.5	23	38	0.394	60	23.7
160	130	26	49	0.447	60	26.8

En la Figura 78 se aprecia el tiempo transcurrido de enfriamiento hasta la temperatura de 140 °C , en cuyo procedimiento se simuló las condiciones de transporte , utilizando una lona para cubrir la mezcla.



Figura 78. Medición de tiempo de enfriamiento hasta 140°C

4.3. Discusión de Resultados

Se obtuvo los siguientes resultados de las pruebas elaboradas:

Tabla 78.

Cuadro resumen a todas las temperaturas y la influencia en las propiedades mezcla asfáltica

DESCRIPCION	UND	160°C	150°C	140°C	130°C	120°C	110°C	100°C	90°C	80°C	70°C	60°C	ESPECIFICACION MTC
Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cc	2.545	2.524	2.479	2.462	2.447	2.447	2.496	2.466	2.458	2.376	2.358	Max. 2641
Vacíos	%	3.7	4.4	4.8	6.8	7.4	7.4	5.5	6.6	6.9	10	10.7	3-5
Flujo	mm	3.3	3.5	3.5	3.4	3.5	3.5	3.9	3.8	3.9	4.2	4.6	2-4
Estabilidad corregida	kg	1460.1	1427	1367.8	1283.3	1219.9	1219.9	1035.4	983.1	795.7	559.8	296.9	Min. 831.07

LEYENDA:

	NO CUMPLE LAS ESPECIFICACIONES
	CUMPLE LAS ESPECIFICACIONES

En la tabla 78, se puede observar que la temperatura de compactación si influye en las propiedades de la mezcla asfáltica, en el caso del Peso específico, la aplicación de la temperatura de compactación influye de manera directamente proporcional, para el caso del % de vacíos influye inversamente proporcional, el caso de flujo o deformación la temperatura influye inversamente proporcional y en el caso de la estabilidad influye directamente proporcional.

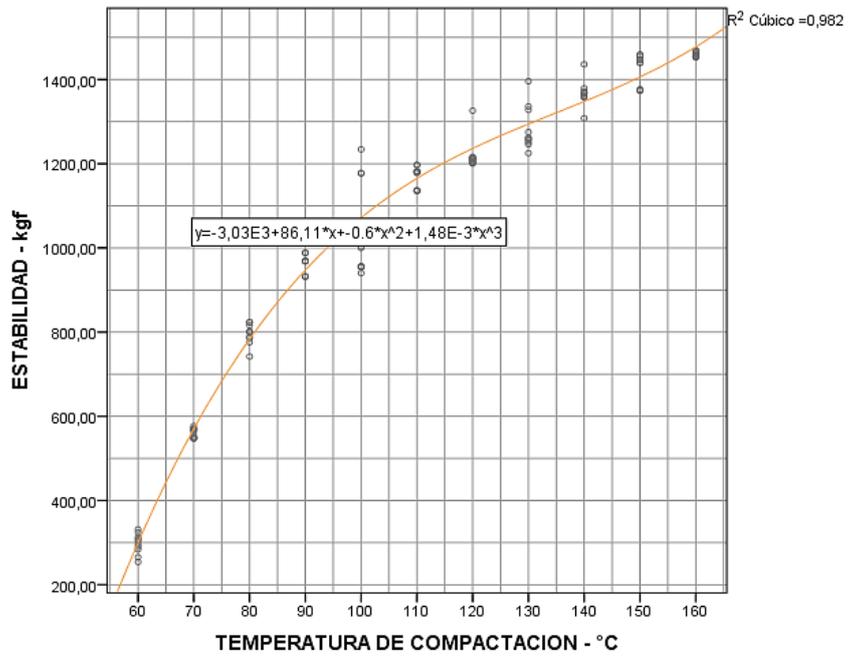


Figura 79. Estabilidad vs Temperatura de compactación

En la figura 79, se observa la curva tendencia entre estabilidad y temperatura de compactación donde según la ecuación dada se deduce que la temperatura de compactación mínima es de 83°C.

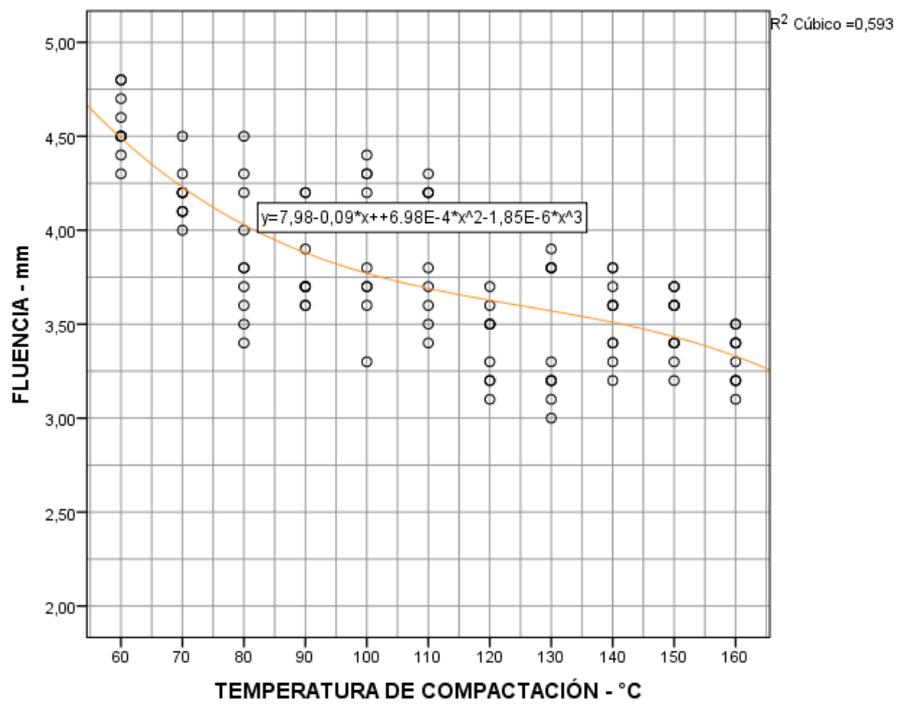


Figura 80. Fluenca vs Temperatura de compactación

En la figura 80, se observa la curva tendencia entre fluencia y temperatura de compactación donde según la ecuación dada se deduce que la temperatura de compactación mínima es de 81.85°C.

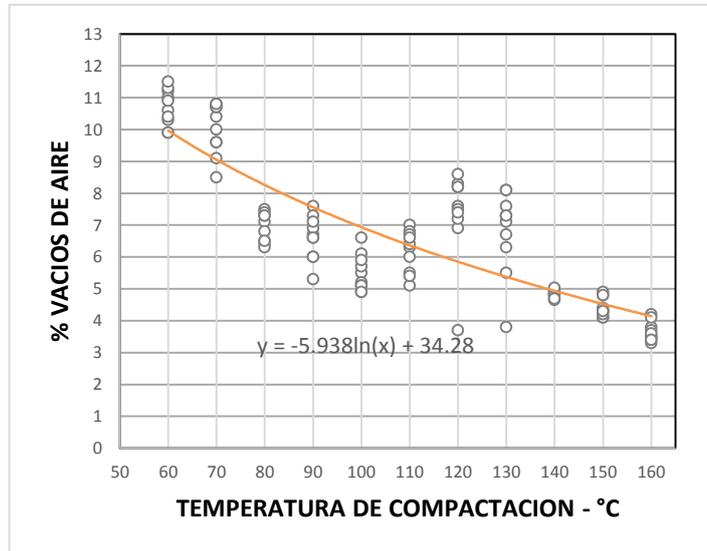


Figura 81. % de vacíos de aire vs Temperatura de compactación

En la figura 81, se observa la curva tendencia entre % de vacíos y temperatura de compactación donde según la ecuación dada se deduce que la temperatura de compactación mínima es de 138.5°C.

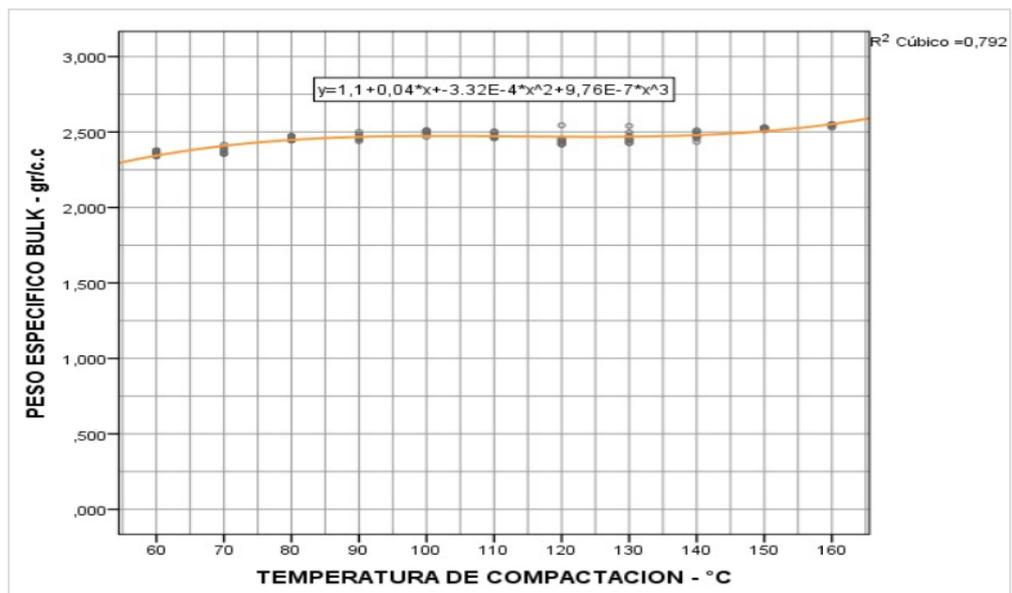


Figura 82. Peso específico bulk vs Temperatura de compactación

En la figura 82, se observa la curva tendencia entre peso específico bulk y temperatura de compactación donde según la ecuación dada se deduce que la temperatura de compactación mínima es de 47.7°C.

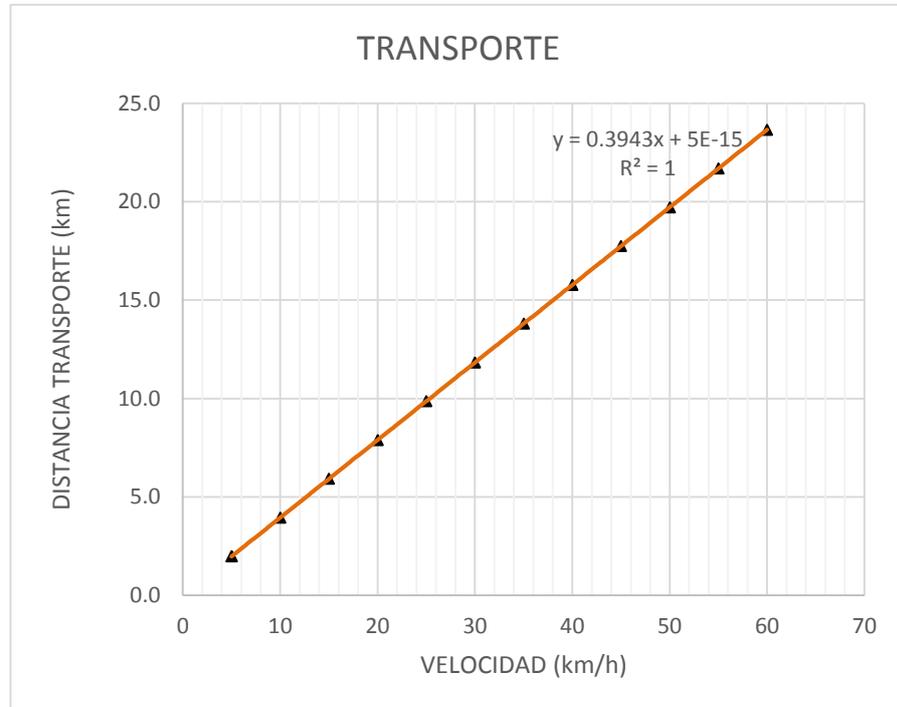


Figura 83. Grafica resumen de velocidad y distancia máxima de transporte a 140° C de compactación

En la figura 83, se observa la curva resumen con las distancias máximas que puede alcanzar a una temperatura de compactación de 138.5°C y así los resultados de la mezcla asfáltica sean aceptables, es decir se encuentren dentro del rango de aceptación descrita por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Además, se deduce que a rendimientos de velocidad de transporte de mezcla asfáltica descritas por Provias del Ministerio de Transporte llega a alcanzar una distancia de 5.9km (15 km/h) y 7.9km (20 km/h). sin embargo, se calculó también otras distancias aleatorias puesto que las velocidades son variables dependiendo del punto de localización de la planta.

Tabla 79.
Cuadro resumen de viscosidad

Temp. (°C)	Temp. (°F)	Log Temp (°Rankine)	Pen. (0.1mm)	Viscosidad (Poise)	Viscosidad (cP)	Log Visc (cP)
25	77.0	2.7297	87.0	1.36E+06	1.36E+08	9.10E-01
100	212.0	2.8272			2729	5.36E-01
135	275.0	2.8661			341	4.04E-01

La Viscosidad es una propiedad fundamental del asfalto para cuantificar su consistencia. Esta información determina el comportamiento del material con respecto a la temperatura, este parámetro se utiliza en el cálculo de temperaturas de mezclado y compactación.

En la tabla 79, se observa los datos de la viscosidad por cada temperatura la cual ha sido obtenida por la ficha técnica proporcionada por “REFINERIA LA PAMPILLA”.

El método usado para determinar las temperaturas de mezclado y compactación, es el presentado en el “Asphalt Institute”. En dicho método se recomienda elaborar una curva Viscosidad vs Temperatura en una gráfica logarítmica (en el eje de las Y), los rangos de temperatura de mezclado y compactación son los equivalentes a las viscosidades de 0.17 ± 0.02 Pa-s para el mezclado y 0.28 ± 0.03 Pa-s para la compactación.

Este método caracteriza la susceptibilidad a la temperatura como la pendiente de la relación del logaritmo-logaritmo de la viscosidad versus logaritmo de la temperatura, con la siguiente ecuación:

$$\text{LogLog } \eta = A + VTS \cdot \text{LOGTR}$$

donde:

- η = viscosidad, cP.
- TR = temperatura, Ranking. $TR = 9/5 * (°C) + 491,67$.
- A = Intercepto de la regresión.
- VTS = pendiente de la regresión de la susceptibilidad a la temperatura de la viscosidad.

En la figura 84, se observa la curva de relación entre viscosidad y temperatura, donde se puede deducir que a mayor temperatura la viscosidad disminuye y al emplear el asfalto a menor viscosidad la adherencia entre asfalto y agregado es mejor.

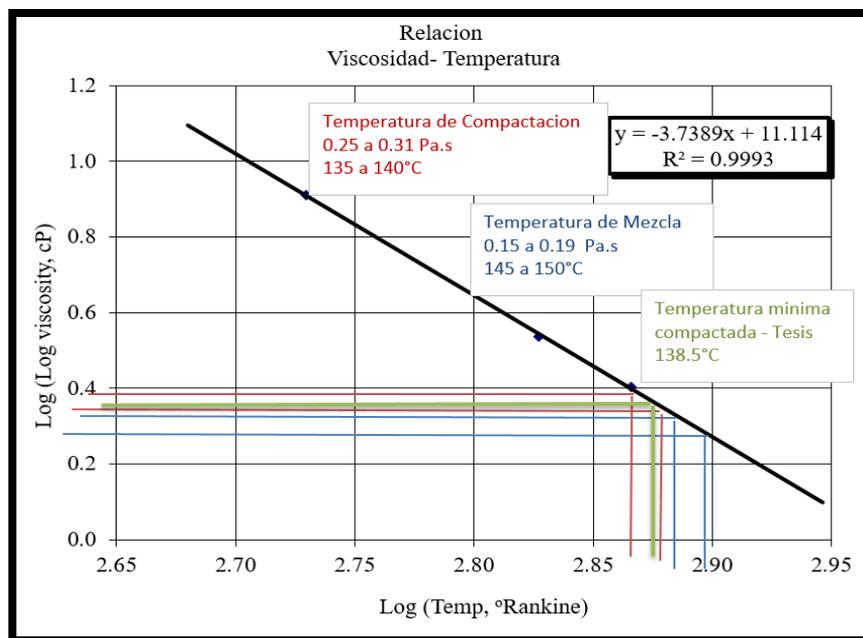


Figura 84. Viscosidad vs Temperatura

Teniendo en cuenta la curva anterior se obtiene las temperaturas máximas y mínimas tanto de mezcla y compactación a partir de:

- Temperatura mín. de Mezcla = 145.25°C
- Temperatura máx. de Mezcla = 150.44°C
- Temperatura mín. de Compactación = 135.38°C
- Temperatura máx. de Compactación = 139.58°C

CONCLUSIÓN

- Se concluye que la temperatura aceptable a compactar es de 138.5°C donde se consigue que la mezcla asfáltica cumple con todas las condiciones establecidas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones, alcanzando una estabilidad de 1318.86 kgf, flujo de 3.52mm, % de vacíos de 5 y peso específico bulk de 2.864 gr/c.c. Además, la temperatura de 138.5°C se encuentra dentro del rango establecido de acuerdo con la carta de Viscosidad – Temperatura (Figura 84) lo que significa que mejora la adherencia y consistencia de los materiales (Asfalto y agregado).
- La temperatura de compactación afecta drásticamente en las propiedades de la mezcla asfáltica, se ha determinado que, para el caso de la estabilidad, esta decrece mientras más disminuye la temperatura compactación. Además, en las lecturaciones alcanzadas en la prensa Marshall de los intervalos de tiempo desde la mezcla a la compactación a diferentes temperaturas se ha visto que el periodo máximo a temperatura ambiente es 23 min 38 seg. A partir de esto se estableció distancias acordes a la velocidad en la que se transporte la mezcla asfáltica, esto está detallado en las tablas de análisis de distancia.
- La temperatura de compactación de la mezcla asfáltica afecta de manera directa a la Estabilidad y Fluencia, cuando la temperatura es baja la estabilidad decrece, desde valores de 1469 kgf (160°C) hasta 254 kgf (60°C). Para el caso del flujo se concluye que esta se ve afectada de manera inversa debido a que cuando disminuye la temperatura de compactación el flujo incrementa desde 3.5mm(160°C) hasta a 4.8mm(60°C).

- La temperatura de compactación de la mezcla asfáltica tiene un efecto directo sobre el peso específico bulk de la mezcla asfáltica, se presenció que a menor temperatura de compactación el peso específico bulk ha decrecido desde 2.554 gr/c.c. (160°C) hasta 2.338 gr/c.c. (60°C), se puede inducir que se vuelve más ligera a menor temperatura sea compactada debido a que incrementa el % de vacíos en la mezcla.
- La distancia de transporte ha sido afectada por la temperatura de compactación analizada, siguiendo el rendimiento de velocidad establecido por Provias del Ministerio de Transporte y Comunicaciones se calculó que para una velocidad de 15 km/h se tiene una distancia de influencia de la planta de asfalto de 5.9 km y para el caso de 20km/h es de 7.9 km. Del mismo modo se planteó distancias aleatorias debido a que estas varían de acuerdo a la zona y al tráfico. Tener estas distancias ayuda a controlar las velocidades de los camiones transportadores de la mezcla asfáltica.

RECOMENDACIÓN

- Se recomienda compactar la carpeta asfáltica a 138.5°C, se ha evidenciado en la presente investigación que la temperatura de compactación cumple con todas las condiciones mínimas establecidas además que se encuentra dentro del rango de temperaturas de compactación acorde con la viscosidad cual es de 135.38°C a 139.58°C.
- El análisis de la presente investigación fue realizado con un cemento asfáltico de la capacidad de penetración de 85-100, todo el análisis se recomienda emplearlas si en caso se esté usando este tipo de cemento asfáltico.
- La presente tesis se ha empleado en un lugar cerrado pues para el caso de la distancia de transporte no se ha considerado las condiciones desfavorables que se puedan presentar durante el proceso de transporte de la mezcla asfáltica.
- Al culminar las obras se debería tener mayor control, ya que es evidente que se realizan ensayos de controles de calidad para estabilidad y flujo, sin embargo, no realizan ensayos de % de vacíos el cual puede ser perjudicial para la durabilidad del pavimento asfáltico.
- Es necesario que luego de realizar adecuadamente el diseño de la mezcla asfáltica, se haga un tramo experimental en obra, antes de su colocación a lo largo de la carretera, para verificar el comportamiento de la mezcla asfáltica diseñada previamente en el laboratorio.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Alvarez Calisto, Cristian Fabian. 2007.** *Estudio experimental de la resistencia de la adherencia entre capas en la construccion de carpetas asfalticas en caliente.* Chile : Universidad de Chile facultad de ciencias fisicas y matematicas, 2007.
- Ciaffaroni, Guido Rios. 2011.** Cueva del Ingeniero Civil. [En línea] 01 de 05 de 2011.
- Condor Alfaro, Jimy Julian. 2015.** *Tratamiento Superficial Bicapa con Emulsion Asfaltica de la Carretera Valle Yacus Provincia de Jauja - Region Junin 2015.* Jauja : Universidad Peruana los Andes, 2015.
- Cornejo Perez, Jose Mauricio Antonio. 2014.** *Analisis de la optimizacion del riego de liga en la colocacion de carpeta asfaltica en caliente.* Salvador : Universidad de el Salvador, 2014.
- Estrada Escalante, Victor Rafael. 2017.** *Estudio y Analisis de desempeño de Mezcla Asfaltica convencional PEN 85-100 Plus y Mezcla Asfaltica Modificada con Polimero Tipo SBS PG 70-28.* Cusco : Universidad Andina de Cusco, 2017.
- Fernandez Larrauri, Vladimir Cesar. 2012.** *Reciclado en Frio de Pavimentos Flexibles, con el Uso de Emulsiones Asfalticas Cationicas.* Lima : Universidad Nacional de Ingenieria, 2012.
- Hernandez Martinez, Oscar. 2014.** *Comportamiento de las mezclas asfalticas a diferentes niveles de compactacion.* Mexico D.F : s.n., 2014.
- Ibañez Aguilera. 2003.** *USO DE EMULSIONES.* 2003.
- INSTITUTO LATINOAMERICANO DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS VIALES. 2015.** Congreso Nacional de Pavimentos Asfalticos. *IER Congreso Nacional de Pavimentos Asfalticos.* Lima : s.n., 2015.
- Maila Paucar, Manuel Elias. 2013.** *Comportamiento de una mezcla asfaltica modificada con polimero Etileno Vinil Acetato (EVA).* Quito : Universidad Central del Ecuador, 2013.
- MARTÍNEZ HERNÁNDEZ, 2014.** *COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS A DIFERENTES NIVELES DE COMPACTACIÓN”, MEXICO-2014.*
- MARTÍNEZ, OSCAR.**
- . 2014. 2014.
- . 2014. *COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS A DIFERENTES NIVELES DE COMPACTACIÓN”, MEXICO-2014.* . 2014.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. 2013.** *Manual de Carreteras: Especificaciones Tecnicas para la Construccion - EG2013.* Lima : s.n., 2013.

Ontiveros Rojas, Leticia. 2013. *Evaluacion de la adherencia entre capas de pavimento empleando diferentes emulsiones asfálticas.* Mexico : Universidad Nacional de Mexico, 2013.

Ortega Cuan, Osvaldo Jose y Paternina Medina, Luis Alfredo. 2012. *Propuesta para la implementacion de Mezclas Asfálticas Tibias en la ciudad de Medellin.* Medellin : Universidad de Medellin, 2012.

OSCAR MARTÍNEZ, 2014. *COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS A DIFERENTES NIVELES DE COMPACTACIÓN”, MEXICO-2014.*

Ramirez Montenegro, Marco Antonio. 2015. *Optimizacion de las Mezclas Asfálticas en frio utilizando Asfalto liquido MC-30 y agregados de las canteras San Martin y Cerro Campana.* La Libertad : s.n., 2015.

Ruiz, Ramón. 2007. *El metodo científico y sus etapas.* Mexico : s.n., 2007.

Santa Cruz, Ismael Ernesto, Crespín Molina, Rafael Alexander y Torres Linares, Pablo Alberto. 2012. *APLICACION DEL METODO MARSHALL Y GRANULOMETRIA SUPERPAVE EN EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON ASFALTO CLASIFICACION.* San Salvador : s.n., 2012.

Universidad Nacional de Ingenieria. 2006. *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos.* Lima : Instituto de Construcción y Gerencia, 2006.

Villa Chaman, Victor Manuel. 2007. *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.

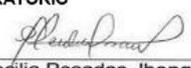
ANEXOS

ANEXO 01: FICHA TECNICA DEL CEMENTO ASFALTICO PEN 85-100



REPORTE DE ANÁLISIS DE CEMENTO ASFALTICO

LOTE No. 85/100-001-03-2018

REFINERÍA LA PAMPILLA Carretera a Ventanilla km 25 S/N Ventanilla, Lima – Perú	RECEPCIÓN DE LA MUESTRA 05/03/2018 10:35:27 a.m.	FECHA DE CERTIFICACIÓN 06/03/2018 08:43:28 p.m.
PRODUCTO Cemento Asfáltico 85/100	TANQUE 331A	DESTINO DEL PRODUCTO Operaciones de Despacho
PROCEDENCIA Almacenamiento.	VOLÚMEN CERTIFICADO , m³ 2000	BUQUE TANQUE
PROPIEDADES	MÉTODOS	RESULTADOS
	ASTM/OTROS	
PENETRACIÓN		
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 1/10 mm	D 5 / AASHTO T 49	87
DUCTILIDAD		
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	D 113 / AASHTO T 51	>105
VOLATILIDAD		
Gravedad Específica a 15.6 °C/15.6°C	D 70 / AASHTO T 228	1.0175
Punto de Inflamación, °C	D 92 / AASHTO T 48	300.0
Gravedad API	D 70 / AASHTO T 228	7.6
FLUIDEZ		
Punto de Ablandamiento, °C	D 36	47.0
Viscosidad cinemática a 100 °C, cSt	D 445	2729
Viscosidad cinemática a 135 °C, cSt	D 2170 / AASHTO T 201	341
ENSAYO DE PELÍCULA FINA		
Pérdida por Calentamiento, %m	D 1754 / AASHTO T 179	0.17
Penetración retenida, 100g, 5s, 1/10 mm, % del original	D 5 / AASHTO T 49	57.5
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm	D 113 / AASHTO T 51	107.1
SOLUBILIDAD		
Solubilidad en tricloroetileno, % m	D 2042 / AASHTO T 44	99.50
OTROS		
Índice de Penetración	UNE 104-281 / 1-5	-0.6
Spot Test (Nafta-Xileno)	AASHTO T102	20% xileno, negativo
OBSERVACIONES:		
Producto cumple con las especificaciones ASTM D946, AASHTO M 20-70 y NTP 321.051.2014		
DISTRIBUCIÓN : Original : Operaciones de despacho Copia 1: Movimiento de Productos Copia 2: Laboratorio	FECHA DE EMISIÓN 06/03/2018	LABORATORIO  Cecilia Posadas Jhong Jefe de Laboratorio

PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARCIAL

ANEXO 02: PANEL FOTOGRAFICO

Fotografía 01: Se muestra el material del cual se realizó la granulometría.



Fuente: Muestra de la Cantera de Matahuasi

Fotografía 02: Se pesa la cantidad que será tamizada.



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 03: Tamizado de la muestra, de cada material.



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 04: Pesado de la muestra retenida en cada tamiz.



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 05: Calentamiento del asfalto a 160°.



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 06: Pesado de porcentaje de agregado y asfalto, para su combinación.



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 07: Combinación de agregado y asfalto a 160°.



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 08: Vaciado de la mezcla a la briqueta ubicada en el pedestal de compactación.



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 09: Compactación de la muestra a 75 golpes, para cada porcentaje de asfalto.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 10: Desmolde de la briqueta, después de enfriar a temperatura ambiente



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 11: Briqueta que será ensayada en la Prensa Marshall.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 12: Briqueta elaborada con 4% de asfalto.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 13: Especímenes inmergidos en agua a temperatura de 60° por un periodo entre 30 a 40 min.



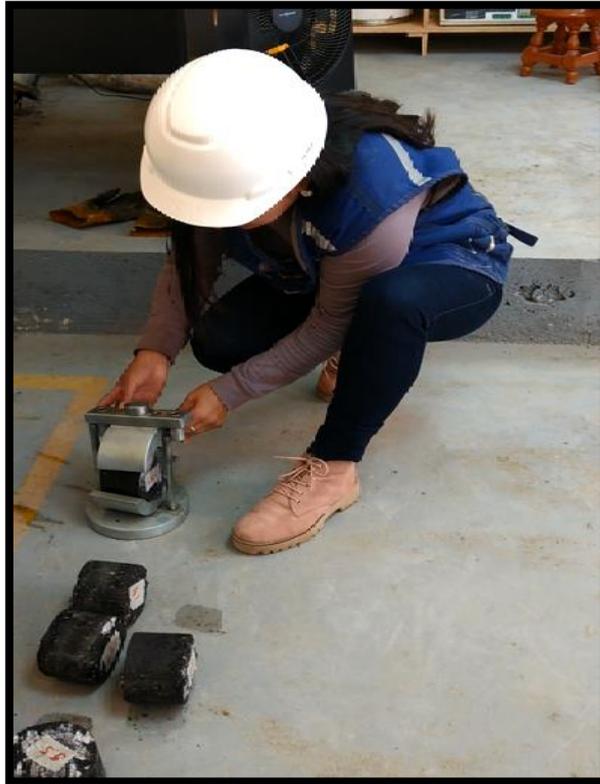
Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 14: Estabilidad alcanzada de un espécimen de 5% de contenido de asfalto.



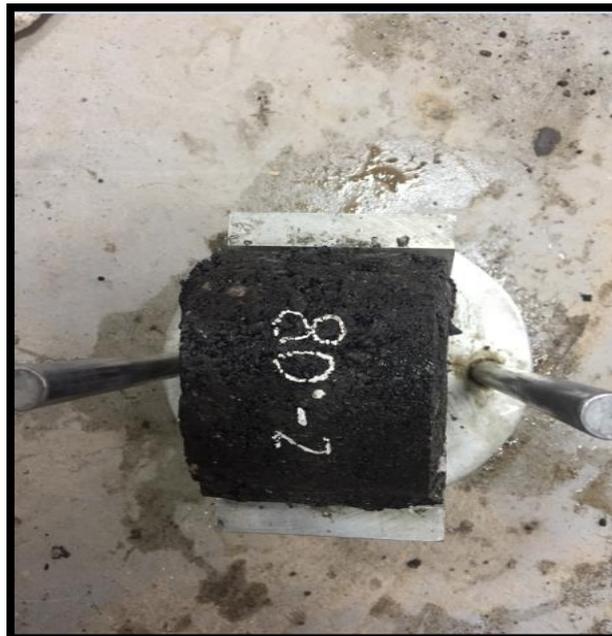
Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 15: Especímenes ensayados en la Prensa de Marshall.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 16: Especimen N°2 a temperatura de compactación de 80°, del cual se observa que incrementa el volumen de vacíos de aire.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 17: Protección de la mezcla utilizando una lona con características similares a las utilizadas normalmente en obra.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 18: Verificación del tiempo de descenso de temperaturas con la mezcla cubierta.



Fuente: Elaboración propia.