



Universidad
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Influencia del tiempo de espera para compactación,
en las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica
en frío con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito
de Quilcas-Huancayo 2017**

Próspero Lolín Cuba Cárdenas

Huancayo, 2018

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

DEDICATORIA

A toda mi familia, en principal a mis padres, Mercurio y Elva, por sus consejos y su motivación constante que impulsaron a terminar mi carrera universitaria; a mis hermanos Roddy, Aldair y Anita por acompañarme en todo momento y por la confianza que siempre depositaron en mí.

ASESOR

Ing. Augusto García Corzo

SUMARIO

La presente investigación se centra en determinar la influencia del tiempo de espera para compactación sobre las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica en frío elaborada con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas.

La tesis muestra los ensayos realizados a 140 especímenes que han sido moldeados en campo, en intervalos que varían entre 2h, 4h, 6h, 8h, 10h, 12h, 14h, 16h, 18h, 20h, 24h, 36h, 48h y 72h, con la intención de observar alguna diferencia en sus propiedades mecánicas. Los ensayos se han centrado en 3 características: densidad, estabilidad y fluencia en cada una de las briquetas.

Los resultados muestran que, de las 3 características, la que presenta diferencias apreciables es la estabilidad, obteniéndose estabilidades desde 1589.72 kg a 2827.44 kg, los valores más bajos se han observado en el primer tercio de 0 a 12 horas y en el tercer tercio de 36 a 72 horas de la escala de tiempo estudiado, los valores más altos de estabilidad se apreciaron en el tercio central en el periodo de 12 a 36 horas siendo los más altos concentrados de 22 a 24 horas. También se pudo apreciar que los especímenes de estabilidad baja mostraban desmoronamiento. Respecto a las propiedades de fluencia y densidad no se muestra mucha diferencia. Sin embargo, la densidad tiene la misma tendencia que la estabilidad, pero en menor grado.

Palabras clave: tiempo, compactación, emulsión, propiedades mecánicas, carpeta asfáltica, estabilidad, fluencia y densidad.

ABSTRACT

The present investigation focuses on determining the influence of the waiting time for compaction on the mechanical properties of the cold asphalt binder made with CSS-1h emulsion, applied in the district of Quilcas.

The thesis shows the tests carried out on 140 specimens that have been molded in the field, in intervals that vary between 2h, 4h, 6h, 8h, 10h, 12h, 14h, 16h, 18h, 20h, 24h, 36h, 48h and 72h, with the intention of observe some difference in their mechanical properties. The tests have focused on 3 characteristics: density, stability and creep in each of the briquettes.

The results show that of the 3 characteristics, the one that presents appreciable differences is the stability, obtaining stabilities from 1589.72 kg to 2827.44 kg, the lowest values have been observed in the first third from 0 to 12 hours and in the third third of 36 at 72 hours of the time scale studied, the highest values of stability were observed in the central third in the period from 12 to 36 hours, with the highest concentrations being from 22 to 24 hours. It was also observed that the low stability specimens showed crumbling. Regarding the properties of creep and density does not show much difference. However, density has the same tendency as stability but to a lesser degree.

KEYWORDS: time, compaction, emulsion, mechanical properties, asphalt binder, stability, creep and density.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y bendecirme en mi etapa universitaria, por darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de mi vida, gracias Dios por brindarme la oportunidad de realizar el objetivo trazado que siempre tuve presente al momento que inicié la carrera.

A mi alma mater la Universidad Continental, por haberme permitido formarme en ella. Así mismo a los ingenieros de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, por compartirnos sus conocimientos y experiencias adquiridas en su vida profesional. En particular, a mi asesor, el ingeniero Augusto García Corzo, por apoyarme constantemente. A mis colegas de la promoción que fueron parte de las noches de desvelo y los buenos momentos en mi etapa universitaria.

A los ingenieros de InfraEnercom S.A.C y Mercury Ingenieros S.A.C.; al Arq. Jossef Montiveros Toribio por brindarme la oportunidad de laborar con su persona y brindarme todo su apoyo para acoplarme al grupo de trabajo. Al laboratorio por permitir realizar mi proyecto de tesis y proporcionarme todas las herramientas para su realización.

Y, por supuesto, el agradecimiento a mi familia por apoyarme en cada decisión y proyecto, así mismo a mis abuelitos por su paciencia y amor, también a Próspero Lolín Ponce Huayta por guiar mi camino, gracias por confiar en mí, sin su apoyo no lo hubiera logrado y hago presente mi gran afecto hacia ustedes.

INDICE

DEDICATORIA	ii
SUMARIO	iv
ABSTRACT	v
AGRADECIMIENTOS	vi
INTRODUCCIÓN	xiv

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1.	Planteamiento del problema	16
1.2.	Formulación del problema.....	17
1.1.1.	Problema general	18
1.1.2.	Problemas específicos	18
1.3.	Objetivos de la investigación.....	19
1.3.1.	Objetivo general.....	19
1.3.2.	Objetivos específicos	19
1.4.	Justificación e importancia	19
1.4.1.	Justificación metodológica.....	19
1.4.2.	Justificación práctica.....	20
1.4.3.	Justificación económica	20
1.4.4.	Justificación ambiental.....	20
1.5.	Hipótesis	21
1.5.1.	Hipótesis general.....	21
1.5.2.	Hipótesis específicas	21
1.6.	Variables.....	22
1.6.1.	Variable independiente	22
1.6.2.	Variable dependiente.....	22
1.7.	Operacionalización de la variable.....	22
1.7.1.	Definición conceptual	22
1.7.2.	Dimensión	22
1.7.3.	Subdimensión.....	23
1.7.4.	Indicadores	23

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes del estudio	25
2.1.1.	Antecedentes internacionales.....	27
2.1.2.	Antecedentes nacionales	28
2.2.	Generalidades del Distrito de Quilcas	29
2.2.1.	Ubicación	29
2.2.2.	Clima.....	30
2.2.3.	Accesibilidad.....	30
2.2.4.	Topografía.....	31
2.2.5.	Tipos de vías del distrito	32

2.3.	Bases teóricas	33
2.3.1.	Clasificación de vías por demanda.....	33
2.3.2.	Tipos de pavimentos para vías	36
2.3.3.	Clasificación de los pavimentos.....	37
2.3.4.	Capas Asfálticas	39
2.3.5.	Mezcla asfáltica en Frío	39
2.3.6.	Tipos de emulsiones.....	39
2.3.7.	Formulación de emulsiones asfálticas.....	44
2.3.8.	Rotura y curado de una emulsión.....	46
2.3.9.	Propiedades consideradas en el diseño de mezclas en frío	52
2.3.10.	Requisitos para pavimento de concreto asfáltico en frío	60
2.3.11.	Método de Diseño de Mezcla Asfáltica, Método Marshall	68
2.3.12.	Ensayos a los agregados según normas ASSHTO 2006.....	77
2.3.13.	Ensayos realizados a la emulsión asfáltica CSS-1h.....	81
2.3.14.	Uso de emulsión de rotura lenta	86
2.3.15.	Especificación técnica para emulsión asfáltica.....	86
2.4.	Estadística inferencial.....	88
2.4.1.	Prueba de distribución normal	88
2.4.2.	Correlación.....	90
2.4.3.	Comparación de los coeficientes de Pearson y Spearman	91

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1.	Método y alcance de la investigación.....	95
3.1.1.	Método de la investigación	95
3.1.2.	Tipo de la investigación	95
3.1.3.	Nivel de la investigación.....	96
3.2.	Diseño de la investigación	96
3.3.	Población y muestra.....	97
3.3.1.	Población.....	97
3.3.2.	Muestra	97
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	98
3.4.1.	Instrumentos de recolección de datos	98
3.4.2.	Técnicas de recolección de datos	98
3.4.3.	Técnicas de tratamiento de datos	99
3.5.	Procedimiento para la recolección de datos	100
3.5.1.	Procedimiento de metodología	100

CAPÍTULO IV ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS Y RESULTADOS

4.1.	Propiedades Físico-mecánicas del material de cantera.....	127
4.1.1.	Análisis granulométrico por tamizado	127
4.1.2.	Procedimiento de elaboración del espécimen	135
4.1.3.	Ensayo de Resistencia Mediante el Aparato Marshall.....	136
4.2.	Moldeo para diseño Marshall para mezclas con un 7.41% de emulsión asfáltica.....	146
4.3.	Ensayo de estabilidad de especímenes para diferentes tiempos de compactación	155
4.4.	Análisis estadístico de Estabilidad, Fluencia y Densidad.....	170

4.4.1.	Análisis estadístico de Estabilidad vs Tiempo.....	170
4.4.2.	Análisis estadístico de Fluencia vs Tiempo	181
4.4.3.	Análisis estadístico de Densidad vs Tiempo.....	192
4.5.	Análisis comparativo entre la Estabilidad, Fluencia y Densidad entre el tiempo para la compactación.	202

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	Conclusiones.....	205
5.2.	Recomendaciones	206

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	208
---------------------------------	-----

ANEXOS	210
--------------	-----

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Requisitos de los agregados pétreos para pavimento asfáltico en frío	64
Tabla 2: Requisitos de los agregados pétreos para pavimento asfáltico en frío	65
Tabla 3: Gradaciones para mezclas densas en frío.	66
Tabla 4: Tipos de mezcla en función del tipo y espesor compacto de la capa	66
Tabla 5: Especificaciones para emulsiones asfálticas catiónicas	87
Tabla 6: Rango de correlación.	94
Tabla 7: Serie de Tamices.....	103
Tabla 8: Peso por tamices	104
Tabla 9: Tipo de Gradación	108
Tabla 10: Tipos de Gradaciones con respecto a la masa por tamices.....	108
Tabla 11: Factores de Corrección.	119
Tabla 12: Resultados de la granulometría para piedra chancada de $\frac{3}{4}$ " – 1".....	129
Tabla 13: Resultados de la granulometría para piedra chancada de $\frac{1}{2}$ " – $\frac{3}{4}$ ".....	130
Tabla 14: Resultados de la granulometría para arena natural zarandeada	131
Tabla 15: Resultados de la granulometría para arena procesada crushing	132
Tabla 16: Resultados de la granulometría para las especificaciones técnicas	134
Tabla 17: Porcentajes por tipo de material y peso según malla para 6 % de emulsión.	136
Tabla 18: Porcentajes por tipo de material y peso según malla para 6.5 % de emulsión. ...	137
Tabla 19: Porcentajes por tipo de material y peso según malla para 7 % de emulsión.	138
Tabla 20: Porcentajes por tipo de material y peso según malla para 7.5 % de emulsión. ...	139
Tabla 21: Porcentajes por tipo de material y peso según malla para 8 % de emulsión.	140
Tabla 22: Porcentajes por tipo de material y peso según malla para 8.5 % de emulsión. ...	141
Tabla 23: Resumen de Ensayo Marshall.....	142
Tabla 24: El cuadro de resultados proviene de los gráficos realizados para distintos porcentaje de emulsión.	145
Tabla 25: Porcentajes por tipo de material y peso según malla para % emulsión asfáltica optima.	146
Tabla 26: Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 02 horas.....	148
Tabla 27: Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 04 horas.....	148
Tabla 28: Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 06 horas.....	149
Tabla 29: Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 08 horas.....	149
Tabla 30: Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 10 horas.....	150
Tabla 31: Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 12 horas.....	150
Tabla 32: Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 14 horas.....	151
Tabla 33: Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 16 horas.....	151
Tabla 34: Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 18 horas.....	152
Tabla 35: Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 20 horas.....	152

Tabla 36: Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 24 horas.....	153
Tabla 37: Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 36 horas.....	153
Tabla 38: Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 48 horas.....	154
Tabla 39: Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 72 horas.....	154
Tabla 40: Lecturado de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 02 horas.....	156
Tabla 41: Lecturado de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 04 horas.....	157
Tabla 42: Lecturado de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 06 horas.4.....	158
Tabla 43: Lecturado de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 08 horas.....	159
Tabla 44: Lecturado de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 10 horas.....	160
Tabla 45: Lecturado de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 12 horas.....	161
Tabla 46: Lecturado de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 14 horas.....	162
Tabla 47: Lecturado de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 16 horas.....	163
Tabla 48: Lecturado de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 18 horas.....	164
Tabla 49: Lecturado de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 20 horas.....	165
Tabla 50: Lecturado de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 24 horas.....	166
Tabla 51: Lecturado de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 36 horas.....	167
Tabla 52: Lecturado de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 48 horas.....	168
Tabla 53: Lecturado de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 72 horas.....	169
Tabla 54: Datos estadísticos de estabilidad de 2 horas a 14 horas.....	170
Tabla 55: Datos estadísticos de estabilidad de 16 horas a 72 horas.....	170
Tabla 56: Pruebas de Normalidad de estabilidad de 2 horas a 72 horas.....	171
Tabla 57: Correlación de Pearson, Estabilidad vs Tiempo.....	179
Tabla 58: Datos estadísticos de Fluencia de 2 horas a 14 horas.....	181
Tabla 59: Datos estadísticos de Fluencia de 16 horas a 72 horas.....	181
Tabla 60: Pruebas de Normalidad de Fluencia de 2 horas a 72 horas.....	182
Tabla 61: Correlación de Pearson , Fluencia vs Tiempo.....	190
Tabla 62: Datos estadísticos de densidad de 2 horas a 14 horas.....	192
Tabla 63: Datos estadísticos de densidad de 16 horas a 72 horas.....	192
Tabla 64: Pruebas de normalidad de densidad de 2 horas a 72 horas.....	193
Tabla 65: Correlación de Pearson, Densidad vs Tiempo.....	201

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa general del distrito de Quilcas.....	30
Figura 2: Estado de vías del distrito de Quilcas.....	33
Figura 3: Tipos de superficies de rodadura en pavimentos flexibles.....	39
Figura 4: Glóbulos de cemento asfáltico en fase acuosa.	40
Figura 5: Moléculas de agente emulsificante cubriendo glóbulo del cemento asfáltico.	41
Figura 6: Protección eficaz del glóbulo de asfalto.....	41
Figura 7: Radicales sumergidos en glóbulos de asfalto, también el nitrógeno se encuentra en la fase acuosa disociado de aniones.....	43
Figura 8: Emulsión estable.La carga repulsiva de los glóbulos evita que se acerquen demasiado.....	45
Figura 9: Concentración de emulsificante en la interfaz agua – Asfalto.	46
Figura 10: Conjunto de Mordazas,ensayo Estabilidad Marshall.	72
Figura 11: Propiedades mecánicas para determinar el contenido óptimo de asfalto.	75
Figura 12: Criterios de Diseño Marshall,LNV (Tránsito Pesado).	77
Figura 13: Porcentaje Mínimo de Vacíos en el Agregado Mineral (VAM).	77
Figura 14: Correlación, Pearson =+1, Spearman = +1	91
Figura 15: Correlación, Pearson =+0.851, Spearman = +1	92
Figura 16: Correlación, Pearson = -0.093, Spearman = -0.093	92
Figura 17: Correlación, Pearson = -1, Spearman = -1	92
Figura 18: Correlación, Pearson =+1, Spearman = +1	93
Figura 19: Pasos para el cuarteo manual.....	102
Figura 20: Molde de Compactación.....	111
Figura 21: Martillo de Compactación.	112
Figura 22: Cabezal de Ruptura.	114
Figura 23: Máquina de Carga a Compresión.	114
Figura 24: Cantera de donde se extrajo las muestras.	128
Figura 25: Muestras de material chancado y material natural zarandeado.	128
Figura 26: Curva granulométrica para piedra chancada de ¾” – 1”	130
Figura 27: Curva granulométrica para piedra chancada de ½” – ¾”	131
Figura 28: Curva granulométrica para arena natural zarandeada	132
Figura 29: Curva granulométrica para arena procesada crushing.....	133
Figura 30: Agregado final analizado.....	133
Figura 31: Curva granulométrica según especificaciones técnicas MTC y el promedio.....	134
Figura 32: Elaboracion del espécimen.	135
Figura 33: Especímenes con diferentes porcentaje de emulsión.	142
Figura 34: Posicionamiento para determinar las propiedades mecánicas.....	143
Figura 35: Aquí el análisis de las propiedades mecánicas para el contenido de asfalto óptimo.....	144
Figura 36: Especímenes realizado a diferentes intervalos de tiempo.	147
Figura 37: Especímen sometido a ensayo.	155
Figura 38: Distribución normal de estabilidad a 2 horas.	172
Figura 39: Distribución normal de estabilidad a 4 horas.	172
Figura 40: Distribución normal de estabilidad a 6 horas.	173
Figura 41: Distribución normal de estabilidad a 8 horas.	173
Figura 42: Distribución normal de estabilidad a 10 horas.	174
Figura 43: Distribución normal de estabilidad a 12 horas.	174

Figura 44: Distribución normal de estabilidad a 14 horas.	175
Figura 45: Distribución normal de estabilidad a 16 horas.	175
Figura 46: Distribución normal de estabilidad a 18 horas.	176
Figura 47: Distribución normal de estabilidad a 20 horas.	176
Figura 48: Distribución normal de estabilidad a 24 horas.	177
Figura 49: Distribución normal de estabilidad a 36 horas.	177
Figura 50: Distribución normal de estabilidad a 48 horas.	178
Figura 51: Distribución normal de estabilidad a 72 horas.	178
Figura 52: Estabilidad vs Tiempo.	180
Figura 53: Distribución normal de fluencia a 2 horas.	183
Figura 54: Distribución normal de fluencia a 4 horas.	183
Figura 55: Distribución normal de fluencia a 6 horas.	184
Figura 56: Distribución normal de fluencia a 8 horas.	184
Figura 57: Distribución normal de fluencia a 10 horas.	185
Figura 58: Distribución normal de fluencia a 12 horas.	185
Figura 59: Distribución normal de fluencia a 14 horas.	186
Figura 60: Distribución normal de fluencia a 16 horas.	186
Figura 61: Distribución normal de fluencia a 18 horas.	187
Figura 62: Distribución normal de fluencia a 20 horas.	187
Figura 63: Distribución normal de fluencia a 24 horas.	188
Figura 64: Distribución normal de fluencia a 36 horas.	188
Figura 65: Distribución normal de fluencia a 48 horas.	189
Figura 66: Distribución normal de fluencia a 72 horas.	189
Figura 67: Fluencia vs Tiempo.	191
Figura 68: Distribución normal de densidad a 2 horas.	194
Figura 69: Distribución normal de densidad a 4 horas.	194
Figura 70: Distribución normal de densidad a 6 horas.	195
Figura 71: Distribución normal de densidad a 8 horas.	195
Figura 72: Distribución normal de densidad a 10 horas.	196
Figura 73: Distribución normal de densidad a 12 horas.	196
Figura 74: Distribución normal de densidad a 14 horas.	197
Figura 75: Distribución normal de densidad a 16 horas.	197
Figura 76: Distribución normal de densidad a 18 horas.	198
Figura 77: Distribución normal de densidad a 20 horas.	198
Figura 78: Distribución normal de densidad a 24 horas.	199
Figura 79: Distribución normal de densidad a 36 horas.	199
Figura 80: Distribución normal de densidad a 48 horas.	200
Figura 81: Distribución normal de densidad a 72 horas.	200
Figura 82: Densidad vs Tiempo.	202
Figura 83: Variación de la estabilidad en función del tiempo de compactación.	203
Figura 84: Variación de la deformación en función del tiempo de compactación.	204
Figura 85: Variación de la Densidad en función del tiempo de compactación.	204

INTRODUCCIÓN

La presente investigación consiste en el tiempo que se debe esperar para compactar la mezcla asfáltica en frío utilizando emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas. El principal interés es buscar y divulgar el tiempo óptimo a través de la aplicación de una serie de ensayos realizados en campo los cuales fueron determinantes para los resultados finales obtenidos. Por ello se consideró aspectos de planteamiento y formulación del problema general y específicos; así como también, objetivos, justificación, marco teórico, hipótesis, metodología de la investigación y la definición de las variables; las cuales fueron esenciales para demostrar la aplicabilidad del método.

En el capítulo I se muestra el planteamiento del estudio que se realizó, resaltando el problema general y los específicos, también se propone los objetivos de la investigación que se deben alcanzar, para demostrar la justificación e importancia de realizar este estudio, así mismo frente a la interrogante se planteó la hipótesis tentativa y las variables correspondientes al tema de investigación.

En el capítulo II se estructura el marco teórico, considerando los antecedentes previos al estudio. Asimismo, se cataloga el proceso de elaboración del ensayo Marshall en frío, donde se especifican cada paso de acuerdo a la norma técnica vigente, también se menciona el tipo de emulsión utilizado en el ensayo, por ello se describen las características que influirán en su evaluación y la colocación del asfalto en frío.

En el capítulo III se menciona la metodología de investigación a utilizar, asimismo se describe el tipo de investigación y el nivel alcanzado, también se especifica el diseño de la investigación, incluso aún podemos limitar la investigación con una población y muestra;

además se especifican los instrumentos de recolección de datos, de la misma forma las técnicas de tratamiento de datos y el procedimiento de recolección de datos.

En el capítulo IV se desarrolla el análisis e interpretación de resultados, se especifican los resultados de los ensayos y su respectivo procesamiento de datos, cada ensayo está justificado de acuerdo a la norma vigente, verificando que cumplan sus límites propuestos en estos.

Finalmente se concluye y se recomienda según sea el caso, las cuales son afirmaciones a base de ensayos y criterios demostrados. Adicionalmente se adjunta el anexo, en donde se muestra la ficha técnica de la emulsión utilizada, asimismo todo el procedimiento y las herramientas que se utilizaron para su realización.

El Autor

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento del problema

Actualmente el uso de mezcla asfáltica en caliente es de uso generalizado a nivel nacional, pues la mayoría de las carreteras son pavimentadas usando esta mezcla que brinda características deseables a la superficie de rodadura. La mezcla asfáltica en caliente es la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo mineral, y eventualmente aditivos, de manera que toda la partícula del agregado quede muy bien recubierta por una película homogénea de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los agregados a una temperatura aproximada de entre 150 °C a 160°C y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior al ambiente aproximadamente entre 130°C a 140°C, para lo cual se requiere la instalación de una planta de producción de mezcla asfáltica.

Sin embargo, en muchos casos instalar una planta de asfaltadora se hace inviable y costosa, por lo tanto, es recomendable también disponer de técnicas alternativas, que nos permitan conformar una carpeta de mezcla asfáltica adecuada a los requerimientos

de los usuarios. En tal sentido es necesario desarrollar y mejorar la técnica de colocación de mezclas asfálticas en frío o tibio que no necesiten de plantas de producción.

El uso de mezcla asfáltica en frío ofrece una ventaja en este sentido ya que no necesariamente hay que instalar una planta para calentar el ligante y el agregado, esta se puede mezclar a temperatura ambiente y usando equipos sencillos como mezcladoras tipo trompo o de tolva, que son más accesible a los municipios y asociaciones, además que el asfalto no es de fácil transportar y mezclar.

La técnica existe, la dificultad radica básicamente en el desconocimiento de la preparación y aplicación, del uso apropiado de los tiempos utilizando emulsión CSS-1h en mezcla asfáltica en frío, es por este vacío de información que los ingenieros restringen el uso pues temen que el desconocimiento de la técnica de preparación y colocación adecuada perjudique el proyecto.

Esta investigación quiere contribuir en llenar este vacío, pues brindará información clave para la elección del tiempo óptimo utilizando emulsión CSS-1h, que deben de tomarse en cuenta en la colocación en pista, garantizando de cierta manera la mejor calidad posible.

1.2. Formulación del problema

La mezcla asfáltica en frío elaborada con emulsión CSS -1h en nuestra actualidad no se aplica con gran frecuencia, debido al desconocimiento del tiempo óptimo para compactar en pista, es por ello que se formula una alternativa de solución, considerando al tiempo como un agente preponderante. La gran dificultad es el desconocimiento del uso apropiado de los tiempos, por tanto, recae la responsabilidad del ingeniero optar por esta alternativa. Esta investigación pretende llenar el vacío que

existe al aplicar esta metodología, que permita ampliar y continuar con proyectos en diferentes zonas de Huancayo, para este estudio se aplicó esta metodología en el distrito de Quilcas.

La investigación propone analizar el tiempo óptimo de espera para compactación, por ello se formula la siguiente pregunta:

1.1.1. Problema general

¿Cuál es la influencia del tiempo de espera para compactación en las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas – Huancayo 2017.?

1.1.2. Problemas específicos

¿Cuál es la influencia del tiempo de espera para compactación en la estabilidad de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas – Huancayo 2017.?

¿Cuál es la influencia del tiempo de espera para compactación en la fluencia de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas – Huancayo 2017.?

¿Cuál es la influencia del tiempo de espera para compactación en la densidad de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas – Huancayo 2017.?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Determinar la influencia del tiempo de espera para compactación en las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas – Huancayo 2017.

1.3.2. Objetivos específicos

- a. Determinar la influencia del tiempo de espera para compactación en la estabilidad de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas – Huancayo 2017.
- b. Determinar la influencia del tiempo de espera para compactación en la fluencia de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas – Huancayo 2017.
- c. Determinar la influencia del tiempo de espera para compactación en la densidad de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas – Huancayo 2017.

1.4. Justificación e importancia

1.4.1. Justificación metodológica

Actualmente se observa la poca difusión de la mezcla asfáltica en frío, debido al desconocimiento de la técnica adecuada de preparación y aplicación práctica del uso apropiado del tiempo de espera para compactar empleando emulsión CSS-1h; pues una inadecuada elaboración, más una descoordinada colocación puede ocasionar un impacto directo en el desempeño de la carpeta

asfáltica, así como en su tiempo de vida; considerando a este intervalo como factor primordial para desarrollar y garantizar una mezcla óptima.

1.4.2. Justificación práctica

La mezcla asfáltica en frío ofrece muchas ventajas para la pavimentación, principalmente en vías de poco acceso, donde es difícil instalar una planta asfaltadora, así como también en vías de menor metrado, por el poco volumen a colocar, por esta razón dependerá de la ubicación o el metrado de la vía, porque instalar una planta de asfalto en caliente no será beneficioso cuando el acceso hacia la obra no cuente con la dimensión mínima de vía, de modo que no se podrá implementar, asimismo cuando exista vías de menor metrado, de modo que no justificará su costo.

1.4.3. Justificación económica

El distrito Quilcas económicamente cuenta con presupuestos anuales bajos, es por ello que se limita a seguir implementando proyectos o carreteras, por lo cual se planteó una alternativa de solución, a fin de reducir brechas viales y seguir contribuyendo con proyectos, asimismo teniendo en cuenta los resultados de la investigación la municipalidad podrá implementar más carreteras a un menor costo.

1.4.4. Justificación ambiental

La mezcla asfáltica en frío no generará impacto ambiental, debido a que solo se mezclará a temperatura ambiente, a comparación de una mezcla asfáltica en caliente que se tiene que calentar a temperaturas superiores reduciendo la calidad de aire en nuestro ambiente, asimismo el empleo de la emulsión asfáltica

cumple con la especificación técnica indicada por el manual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el cual menciona de no emplear productos dañinos.

Esta tesis pretende brindar información respecto al efecto del tiempo de espera para compactar la mezcla empleando emulsión CSS-1h, asimismo la temperatura ambiente a considerar para encontrar el mejor comportamiento posible de la mezcla asfáltica.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

El tiempo de espera para compactación influye en las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas – Huancayo 2017.

1.5.2. Hipótesis específicas

- a. El tiempo de espera para compactación influye en la estabilidad de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas – Huancayo 2017.
- b. El tiempo de espera para compactación influye en la fluencia de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas – Huancayo 2017.
- c. El tiempo de espera para compactación influye en la densidad de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas – Huancayo 2017.

1.6. Variables

1.6.1. Variable independiente

- Tiempo de espera para compactación.

1.6.2. Variable dependiente

- Propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h.

1.7. Operacionalización de la variable

1.7.1. Definición conceptual

El tiempo es un valor importante que mide la dimensión física a través de la sucesión de estados por la que pasa una materia, la determinación del análisis de curvas, indicarán el valor máximo en el que se debe compactar la mezcla asfáltica, a fin de contar con un proceso ideal destinado a mejorar sus características.

1.7.2. Dimensión

Es el conjunto de valores numéricos realizados por ensayos que nos permiten determinar el resultado óptimo en una expresión numérica en cuanto al tiempo y carga. No siempre es el espécimen de mayor carga si no el cual presenta mejores resultados globales.

- **Estabilidad Marshall**

Es el valor estándar de carga que soporta un cuerpo sólido.

- **Fluencia**

Es el cambio de tamaño o forma de un cuerpo a través de un esfuerzo interno producidos por una o más fuerzas.

- **Densidad**

Es la propiedad que tiene la materia para comprimirse en un espacio determinado, asimismo acotando que los cuerpos solidos no pueden cambiar de densidad.

1.7.3. Subdimensión

- **Carga máxima que soporta el espécimen**

La estabilidad nos permite observar la carga máxima que puede soportar la carpeta asfáltica.

- **Fluencia que sufre el espécimen**

La fluencia nos permite observar la deformación que sufre la carpeta asfáltica sometido a carga.

- **Densidad aparente del espécimen**

La densidad nos permite ver la comprensión del espécimen en un espacio dado.

1.7.4. Indicadores

- **Prensa de estabilidad de Marshall**

Este equipo nos ayuda a determinar la carga máxima que puede soportar el espécimen sometido a prueba.

- **Dinamómetro:**

Es un aparato que nos ayuda a determinar el grado de deformación que sufre el espécimen.

- **Gravedad específica aparente:**

En este ensayo de prueba estándar nos permitirá determinar la densidad del espécimen.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

Las emulsiones del tipo asfáltico aparecieron en el mercado a principios del siglo XX en diferentes lugares y con usos muy diversos. A principios de 1900 (en 1905) se empleó por primera vez una emulsión asfáltica en la construcción de carreteras en New York; la emulsión utilizada es del tipo aniónica y se empleó en lugar de los usuales caminos fabricados con material pétreo, como una alternativa para evitar el polvo cuando transitaban los vehículos.

El uso de las emulsiones asfálticas creció de manera relativamente lenta, limitado por el tipo de emulsiones disponibles y por la falta de conocimientos sobre su correcta aplicación. El desarrollo ininterrumpido de nuevos tipos y grados, sumado a equipos de construcción y prácticas mejorados, ofrece ahora una amplia gama de elección.

Las emulsiones aniónicas se empezaron a emplear en Europa en 1925. En la fabricación de éstas se aprovecharon los ácidos nafténicos contenidos en el asfalto para

que actuaran como el agente emulsificante en el momento de agregar agua con soda cáustica al sistema y someterlo a una vigorosa agitación.

Entre 1930 y mediados de 1950, hubo un lento pero firme incremento en el volumen de emulsiones utilizadas. En los años siguientes a la Segunda Guerra Mundial, el volumen y las cargas de tránsito crecieron a tal punto que los ingenieros viales comenzaron a reducir el empleo de emulsiones asfálticas. En cambio, especificaron mezclas asfálticas en caliente con cemento asfáltico como ligante. Mientras el volumen de cemento asfáltico empleado ha crecido enormemente desde 1953, el uso en conjunto de otros productos asfálticos se ha mantenido casi constante. Pero ha habido un firme aumento en el volumen de emulsiones asfálticas utilizadas.

Las emulsiones asfálticas catiónicas aparecieron en Europa en 1953 y en Estados Unidos hasta 1958. Aparentemente, su aplicación inicial en la construcción de caminos coincidió con la aparición de nuevos productos químicos tenso-activos en el mercado, los cuales tienen, adicionalmente, otros usos como en el campo de las pinturas, en la industria petrolera, en la industria textil, etc.

Al principio, tales emulsiones se usaron únicamente en la construcción de tratamientos superficiales, como riego de liga y de sello. Al reconocerse la ventaja de las emulsiones catiónicas sobre las aniónicas y los rebajados, se inició la búsqueda de un emulsificante que produjera una emulsión de rompimiento lento, capaz de mezclarse con una granulometría para base o para carpeta.

En 1973, los países árabes, poseedores de la mayoría del petróleo mundial, aumentaron el valor del barril de petróleo crudo resultando afectados los derivados del

mismo, entre ellos los solventes empleados en los asfaltos rebajados; esto provocó un incremento en el uso mundial de las emulsiones asfálticas.

Los países con mayor producción de emulsiones asfálticas son, en orden de importancia: Estados Unidos, Francia, España y Japón. Entre estos cuatro países se fabrica un 40% aproximadamente de la producción mundial de emulsión asfáltica, que se estima actualmente próxima a los 16 millones de toneladas, de la que más del 85% es del tipo catiónico.

Como antecedentes de este problema de investigación se tienen los siguientes estudios:

2.1.1. Antecedentes internacionales

- (Ibañez Aguilera, 2003) *Uso de Emulsiones en Pavimentos Asfálticos; Asfaltos Calientes y Fríos*. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería: Las emulsiones se obtienen de la destilación de petróleo del cual se saca entre ello el cemento asfáltico. La composición de las emulsiones es cemento asfáltico, agua y un emulsificante para que se puedan mezclar por ser inmiscibles. Las emulsiones se dividen en aniónicas y catiónicas se debe a su carga eléctrica. A estas se le practicaron los distintos tipos de ensayos propuestos. También se estudiaron los tipos de diseño de mezclas asfálticas los cuales fueron el método Marshall, el Hveem y el Superpave; siendo el primer método el más usado en nuestro país y el que aprueba el Laboratorio Nacional de Vialidad. Las plantas asfálticas, sus tipos y características, compactación y los costos asociados a una pavimentación es otro de los temas tratados.

- (Zapata Ferrero, 2012) “Formulación de Emulsiones Asfálticas”, Proyecto de I+D+i de pertenencia: “Metodología Teórico Práctica para el Diseño de Tratamientos Superficiales Bituminosos Bajo Condiciones de servicio” Código UTN – 1618. Disposición 315/11. LEMaC Centro de Investigación Viales, Departamento de Ingeniería civil: En pos de una mayor preservación del medio ambiente se han ido dejando de lado las técnicas en caliente para la manipulación del asfalto en el mantenimiento de pavimento, por las denominadas técnicas en frío. Dichas técnicas se basan en la utilización de emulsiones asfálticas, una solución que se logra dispersando el asfalto en agua con la ayuda de un emulsificante. La presente tesis se centra en explicar los constituyentes básicos de las emulsiones, cómo es su funcionamiento y cómo se fabrican.

2.1.2. Antecedentes nacionales

- (Otiniano Arribasplata y Paria Caballero, 2016) *Análisis de las Propiedades Físico – Mecánicas presentes en las Mezclas Asfálticas en Frío utilizando Emulsiones Asfálticas Catiónicas y Agregados Pétreos de la Localidad – Nuevo Chimbote – 2015.* Universidad Nacional del Santa, Facultad de Ingeniería: El presente trabajo ha sido desarrollado con el fin de sembrar un precedente en la investigación de las propiedades de las mezclas asfálticas en frío para su utilización en proyectos de pavimentación, ya que actualmente se utiliza principalmente mezclas asfálticas en caliente, las cuales requieren gran movilización de maquinaria e incluso la puesta en obra de plantas pavimentadoras, generan contaminación y mayor gasto por el tiempo empleado para la fabricación de la mezcla, así como por el tiempo que tiene la mezcla en caliente para ser puesta en obra.

- (Villa Chaman, 2017) *Reciclado In Situ en Frío de Pavimentos empleando Emulsiones Asfálticas – Aplicación: Colegio FAP Manuel Polo Jiménez, Urb. San Gabino – Santiago de Surco*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería: El tema de la presente tesis se centra en la investigación, diseño y aplicación de un método de rehabilitación alternativo y poco usado en nuestro medio. La hipótesis de la que se partió sostiene que el método alternativo de rehabilitación, reciclado de pavimentos en frío con emulsiones asfálticas catiónicas, es un método viable tanto técnica como económicamente en nuestro medio. Al finalizar el trabajo se llega, a través de un ejemplo de aplicación, a la conclusión de que el método de rehabilitación de reciclado en frío con emulsiones asfálticas si es viable en nuestro medio.

2.2. Generalidades del Distrito de Quilcas

2.2.1. Ubicación

El distrito de Quilcas se ubica en los Andes del Perú central, siendo uno de los 28 distritos de la Provincia de Huancayo, perteneciente al departamento de Junín, cuenta con un extensión territorial 167.98 km²; se limita por el norte con el distrito de Ingenio y el distrito de Comas, por este con el distrito de Comas y el distrito de El tambo, por el sur con el distrito de Saño, del mismo modo por el oeste con el distrito de San Jerónimo de Tunan; Quilcas cuenta con 3 anexos (Colpar, Rangra y Nahuinpuquio) y 4 barrios (Santa Cruz, Pampa, 27 de Mayo y Llacta).



Figura 1. Mapa general del distrito de Quilcas.
Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2014)

2.2.2. Clima

El clima en el distrito de Quilcas es templado y seco, pero inestable durante todo el año, de modo que se percibe temperaturas hasta 20° en los días más cálidos y 3° en las noches más frías, debido a las variaciones que se presentan solo percibimos dos estaciones, una estación lluviosa de octubre hasta abril y la temporada seca de mayo hasta setiembre. En general mayormente percibimos temperaturas moderadas durante el mediodía con altas ultravioletas, asimismo en los meses de junio hasta agosto por las mañanas se registran bajas temperaturas.

2.2.3. Accesibilidad

La red vial terrestre por la que se puede acceder al distrito de Quilcas, se muestra en los siguientes ítems:

a. Por el Norte

Se accede por el centro poblado de Casacancha, el nombre de la vía es la avenida Catalina Huanca, es una vía de pavimento flexible en óptimas condiciones, la vía empalma con el barrio 27 de mayo.

b. Por el Sur

Se accede por el distrito de Saño, el nombre de la vía es la avenida Los Incas, es una vía de pavimento flexible en condiciones regulares, la vía empalma con el barrio Pampa.

c. Por el Este

Se accede por el anexo de Rangra, el nombre de la vía es la avenida 28 de Julio, es una vía afirmada en condiciones regulares, la vía empalma con el barrio Pampa.

d. Por el Oeste

Se accede por la carretera central, el nombre de la vía es la avenida Centenario, es una vía de pavimento rígido en óptimas condiciones, la vía empalma con el barrio Pampa.

2.2.4. Topografía

En el distrito de Quilcas se aprecia tres grandes paisajes, *Plano* o *Llanura*, donde se encuentra la zona urbana; *Colinoso*, donde se realizan las siembras de papas nativas; *Montañoso*, donde encontramos una vista de turismo de aventura. Quilcas se encuentra a una altitud de 3275 m.s.n.m en la parte más baja y ascendiendo en la parte más alta tenemos una altitud de 5000 m.s.n.m.

El distrito de Quilcas se encuentra a una Latitud $11^{\circ}18'52''$ y una longitud de $75^{\circ}18'52''$, asimismo se percibe una topografía accidentada en 65% próximamente y 35% es área plana donde se asentó la mayor población.

2.2.5. Tipos de vías del distrito

En el distrito de Quilcas se cuenta con 3 tipos de vías.

a. Vías de Pavimento Rígido y Pavimento Flexible

En la zona urbana contamos con vías de pavimento rígido a un 35% y 5% de pavimento flexible, asimismo en el acceso principal contamos con una vía pavimento rígido a un 100%.

b. Trochas carrozables

En la zona urbana contamos con un 30% de trocha carrozable, también en la zona rural en su mayoría son trochas carrozables y también contamos con vías afirmadas.

c. Vías proyectadas

En la zona urbana contamos con vías proyectadas que se ejecutaran con el tiempo de acuerdo como lo estable el plan de desarrollo urbano.



Figura 2. Estado de vías del distrito de Quilcas.
Fuente: (Plano basico de Quilcas, 2018)

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Clasificación de vías por demanda

Las carreteras del Perú se clasifican, en función a la demanda en:

2.3.1.1. Autopistas de Primera Clase

Son carreteras con IMDA (Índice Medio Diario Anual) mayor a 6.000 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central mínimo de 6,00 m; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3,60 m de ancho como mínimo, con control total de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos, sin cruces o pasos a nivel y con puentes peatonales en zonas urbanas.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada. (Manual de Carreteras Diseño Geométrico, 2013)

2.3.1.2. Autopistas de segunda clase

Son carreteras con un IMDA entre 6.000 y 4.001 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central que puede variar de 6,00 m hasta 1,00 m, en cuyo caso se instalará un sistema de contención vehicular; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3,60 m de ancho como mínimo, con control parcial de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos; pueden tener cruces o pasos vehiculares a nivel y puentes peatonales en zonas urbanas.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada. (Manual de Carreteras Diseño Geométrico, 2013)

2.3.1.3. Carreteras de Primera Clase

Son carreteras con un IMDA entre 4.000 y 2.001 veh/día, de con una calzada de dos carriles de 3,60 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada. (Manual de Carreteras Diseño Geométrico, 2013)

2.3.1.4. Carreteras de Segunda Clase

Son carreteras con IMDA entre 2.000 y 400 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3,30 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada. (Manual de Carreteras Diseño Geométrico, 2013)

2.3.1.5. Carreteras de Tercera Clase

Son carreteras con IMDA menores a 400 veh/día, con calzada de dos carriles de 3,00 m de ancho como mínimo. De manera excepcional estas vías podrán tener carriles hasta de 2,50 m, contando con el sustento técnico correspondiente.

Estas carreteras pueden funcionar con soluciones denominadas básicas o económicas, consistentes en la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y/o micro pavimentos; o en afirmado, en la superficie de rodadura. En caso de ser pavimentadas deberán cumplirse con las condiciones geométricas estipuladas para las carreteras de segunda clase. (Manual de Carreteras Diseño Geométrico, 2013)

2.3.1.6. Trochas Carrozables

Son vías transitables, que no alcanzan las características geométricas de una carretera, que por lo general tienen un IMDA menor a 200 veh/día. Sus calzadas deben tener un ancho mínimo de 4,00 m, en cuyo caso se construirá ensanches denominados plazoletas de cruce, por lo menos cada 500 m.

La superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar. (Manual de Carreteras Diseño Geométrico, 2013)

2.3.2. Tipos de pavimentos para vías

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten

durante el período para el cual fue diseñada la estructura del pavimento. (Manual de Carreteras Diseño Geométrico, 2013)

2.3.3. Clasificación de los pavimentos

En nuestro medio los pavimentos se clasifican en: pavimentos semi-rígidos o semi-flexibles, pavimentos articulados.

2.3.3.1. Pavimentos flexibles

Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra. (Ingeniería de pavimentos para Carreteras, 2002)

2.3.3.2. Pavimentos semi-rígidos

Aunque este tipo de pavimentos guarda básicamente la misma estructura de un pavimento flexible, una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con un aditivo que puede ser: asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos. El empleo de estos aditivos tiene la finalidad básica de corregir o modificar las propiedades mecánicas de los materiales locales que no son aptos para la construcción de las capas del pavimento, teniendo en cuenta que los adecuados se encuentran a distancias tales que encarecerían notablemente los costos de construcción. (Ingeniería de pavimentos para Carreteras, 2002)

2.3.3.3. Pavimentos rígidos

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además, como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento. (Ingeniería de pavimentos para Carreteras, 2002)

2.3.3.4. Pavimentos articulados

Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concreto prefabricados, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí. Esta puede ir sobre una capa delgada de arena la cual, a su vez, se apoya sobre una capa de base granular o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de ésta y de la magnitud y frecuencia de las cargas que circularan por dicho pavimento. (Ingeniería de pavimentos para Carreteras, 2002)

2.3.4. Capas Asfálticas

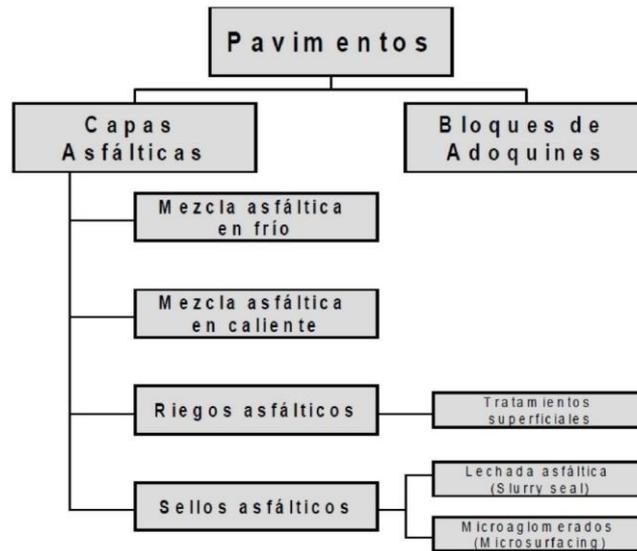


Figura 3. Tipos de superficies de rodadura en pavimentos flexibles.
Fuente: (Otiniano y Paria, 2016)

2.3.5. Mezcla asfáltica en Frío

Se denomina mezcla asfáltica en frío a la combinación de agregados pétreos con asfaltos rebajados o aglomerantes bituminosos, un ejemplo de estos aglomerantes son las emulsiones asfálticas. Los materiales pétreos deben cumplir con los requisitos especificados, estos materiales serán mezclados con procedimientos controlados sin la necesidad de un calentamiento previo, la finalidad de estos procedimientos es garantizar como resultado un nuevo material con características definidas. (Otiniano y Paria, 2016)

2.3.6. Tipos de emulsiones

Dentro de las emulsiones asfálticas podemos distinguir dos grandes grupos que se determinan de acuerdo con la carga eléctrica que poseen, esto principalmente depende del tipo de emulsificador: (Ibañez Aguilera, 2003).

- Emulsiones Aniónicas que son las de carga negativa.
- Emulsiones Catiónicas que son las de carga positiva.

2.3.6.1. Emulsiones aniónicas

Como ya se mencionó este tipo de emulsión está cargado negativamente por ende trata de unirse con elementos que estén cargados positivamente.

Los emulgentes empleados en la fabricación de las emulsiones aniónicas son normalmente oleatos de sodio o potasio (jabones de sodio) del tipo $R-COO-Na^+$ (ácidos grasos).

El radical R queda sumergido en glóbulos de cemento asfáltico y el grupo COO^- unido a él queda en la fase acuosa donde se disocian los cationes Na^+ .



Figura 4. Glóbulos de cemento asfáltico en fase acuosa.
Fuente: (Ibañez Aguilera, 2003).

Las moléculas del agente emulsionante cubren completamente el glóbulo de cemento asfáltico, quedando tapizado de radicales negativos y actúan como si estuvieran cargado negativamente.

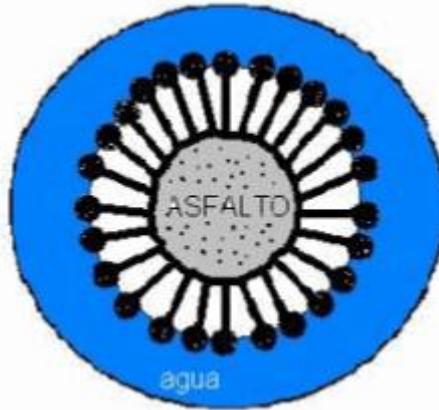


Figura 5. Moléculas de agente emulsificante cubriendo glóbulo del cemento asfáltico.
Fuente: (Ibañez Aguilera, 2003).

Esta carga negativa impide el contacto directo de los distintos glóbulos de asfalto, por lo que tienden a mantenerse separados y mantienen estable la emulsión.

En la práctica, para lograr una protección eficaz del glóbulo de asfalto se emplea la cantidad de emulgente necesaria para lograr que sus moléculas tapicen totalmente su superficie y la situación del glóbulo de asfalto en la emulsión terminada es la indicada en la siguiente figura:

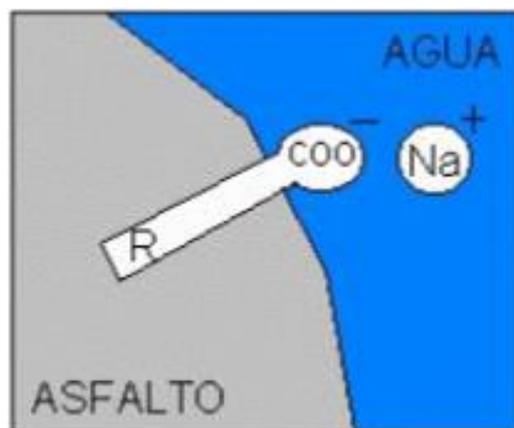


Figura 6. Protección eficaz del glóbulo de asfalto.
Fuente: (Ibañez Aguilera, 2003).

A causa de su carga negativa, los glóbulos de cemento asfáltico de una emulsión aniónica tienen especial afinidad por las superficies iónicamente positivas como son los áridos tipo calizas (CaCO_3), dolomitas y basaltos.

La representación que se emplea en las figuras de ejemplo de las moléculas de las emulsiones (una cabeza grande o voluminosa seguida por una cola larga) es muy parecida a la realidad. Los jabones de metales bivalentes suelen producir emulsiones de agua en asfaltos, lo que puede explicarse por analogías geométricas considerables.

Cuando el asfalto empleado contiene una elevada proporción de ácidos nafténicos pueden fabricarse emulsiones aniónicas utilizando como emulsificante los jabones formados por los ácidos nafténicos de los asfaltos con un álcali.

Dentro de las emulsiones aniónicas se puede encontrar las emulsiones:

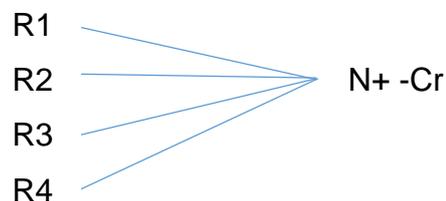
- Emulsiones de quiebre lento (RS – 1, RS – 2)
- Emulsiones de quiebre medio (MS – 1, MS – 2, MS – 2h)
- Emulsiones de quiebre rápido (SS – 1, SS – 1h)

Dependiendo de la rapidez de quiebre se clasifican y esto va dependiendo según la proporción y tipos de emulsificantes empleados, se obtienen según estos las emulsiones de mayor o menor rapidez de quiebre, o sea la velocidad con que las partículas de asfalto recubren el agregado pétreo separándose del agua. (Ibañez Aguilera, 2003).

2.3.6.2. Emulsiones catiónicas

Estas son aquellas en que las partículas de asfalto están cargadas positivamente, por lo que representan afinidad por los grupos cargados negativos y por ende contrariamente a las emulsiones aniónicas que tratamos anteriormente.

Los emulgentes ocupados para la obtención de estas emulsiones catiónicas son normalmente sales de amonio cuaternario de tipo:



o amina grasa (diamina, amido-amina, imidazolina).

Los radicales R 1, R 2, R 3, R 4 se sumergen en los glóbulos de asfaltos y el nitrógeno queda en la fase acuosa donde se disocian los aniones Cl - que es uno de los muchos que se pueden emplear en la práctica para la elaboración de los diversos tipos de emulsiones.

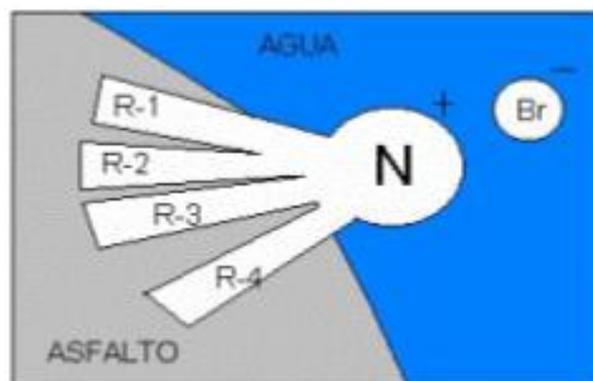


Figura 7. Radicales sumergidos en glóbulos de asfalto, también el nitrógeno se encuentra en la fase acuosa disociado de aniones.

Fuente: (Ibañez Aguilera, 2003).

En las emulsiones catiónicas se clasifican como las emulsiones aniónicas de acuerdo a su velocidad de quiebre, dicho de otra manera, a una clasificación de emulsiones de quiebre rápido, medio y lento.

Las siglas o comúnmente llamadas son:

- Catiónicas de quiebre rápido (Cationic rapid setting): CRS – 1, CRS – 2.
- Catiónicas de quiebre medio (Cationic médium setting): CMS – 1, CMS – 2, CMS – 2h.
- Catiónicas de quiebre lento (Cationic slow setting): CSS – 1, CSS – 1h.

En general las emulsiones producen en las mezclas asfálticas un recubrimiento más delgado en material pétreo. Su uso se ha estado ampliando por las mismas razones que los asfaltos cortados han ido disminuyendo, debido a que no se produce tanta contaminación debido a que el vehículo solvente para la elaboración de los asfaltos con estas emulsiones es agua por lo que se evapora no produciendo polución. (Ibañez Aguilera, 2003).

2.3.7. Formulación de emulsiones asfálticas

2.3.7.1. Definición

Desde el punto de vista fisicoquímico, una emulsión es una dispersión de un líquido en otro no miscible. En nuestro caso son dispersiones de asfalto en un medio acuoso. De este modo se ponen en obra ligantes asfálticos a temperatura ambiente sin el inconveniente de tener que calentarlos para su uso o de incorporarles solventes para permitir su trabajabilidad. El asfalto tiene una naturaleza química

hidrófoba, es decir, repulsión por el agua, por lo tanto, la forma de mezclar estos dos componentes es la de usar un agente emulsificante. Este último, tiene la tarea de reducir la tensión superficial del asfalto, y así permitir que se mezcle con el agua.



Figura 8. Emulsión estable. La carga repulsiva de los glóbulos evita que se acerquen demasiado.
Fuente: (Zapata Ferrero, 2012).

El emulsificante es el encargado de aportarle a la emulsión su polaridad, generar un equilibrio físico entre el asfalto y el agua a nivel microscópico, y evitar que durante el almacenamiento de la emulsión estas dos fases no se vuelvan a juntar. Existen cuatro tipos diferentes de emulsificantes:

- Emulsificante catiónico
- Emulsificante aniónico
- Emulsificante no iónico
- Emulsificante anfótero

El emulsificante se manifiesta físicamente como una larga cadena hidrocarbonada, que en su extremo presenta una molécula que será la encargada de darle la polaridad al mismo. El extremo presenta afinidad por el agua, y la cadena hidrocarbonada afinidad por el asfalto.

De esta forma la cadena hidrocarbonada se introduce en los glóbulos de asfaltos y permite su mezcla con agua.

Sin embargo, el emulsificante debe ser previamente neutralizado con un ácido para formar un jabón soluble en agua, que será finalmente la fase acuosa que entrará en contacto con el asfalto. (Zapata Ferrero, 2012).

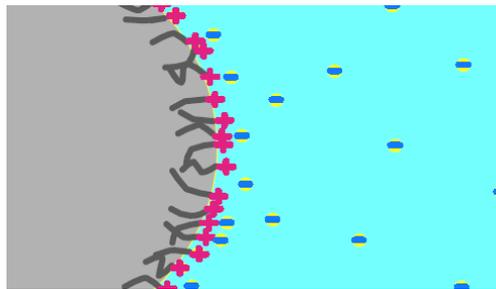


Figura 9. Concentración de emulsificante en la interfaz agua – Asfalto.
Fuente: (Ibáñez Aguilera, 2003).

2.3.8. Rotura y curado de una emulsión

2.3.8.1. Rotura

Para que la emulsión asfáltica cumpla su objetivo final, esto es, actúe como ligante con propiedades cementantes e impermeabilizantes, el agua debe separarse de la fase asfáltica y evaporarse. Esta separación se denomina “rotura” (breaking). (ASPHALT INSTITUTE; AEMA, 2001).

Para tratamientos superficiales y sellos, se formulan las emulsiones para romper una vez entren en unión con una sustancia extraña tal como un agregado o la superficie de un pavimento. Los glóbulos de asfalto entran en coalescencia¹ y producen una membrana continua de asfalto sobre el agregado o pavimento. Para mezclas

densas, se requiere más tiempo para admitir el mezclado y fraguado. En resultado, las emulsiones utilizadas para mezclas se sugieren para rotura retardada.

La coalescencia del asfalto se conoce como rotura o fraguado. La velocidad a la cual los glóbulos de asfalto se separan de la fase acuosa se identifica como tiempo de rotura o fraguado. Por ejemplo, una emulsión de rotura rápida romperá entre uno a cinco minutos después de ser aplicada, mientras que una emulsión de rotura media o lenta puede tomar un tiempo mayor.

La velocidad de rotura depende de factores como: el tipo específico y concentración del agente emulsificante empleado en la emulsión, así como por las condiciones atmosféricas.

La tasa de absorción de los diferentes tipos de agregados favorece la succión de líquidos, afectando la rotura porque está vinculada con las características de absorción del agregado usado. Los agregados con altas tasas de absorción tienden a acelerar la rotura de la emulsión por motivo de una remoción más rápida del agua emulsionante.

La velocidad de rotura en agregados que constituyen mezclas formadas por emulsión y agregado, la gradación y área superficial del agregado son también factores significativos. Al cambiar el área superficial, las características de rotura del medio también cambian debido a la alteración de la absorción (acumulación en la superficie)

del agente emulsificante por el agregado. Con miras a obtener óptimos resultados, es necesario controlar el tamaño del agregado o ajustar la formulación de la emulsión para cumplir los requisitos del agregado. (Otiniano y Paria, 2016)

2.3.8.2. Curado

Para usos en pavimentación, tanto las emulsiones aniónicas como las catiónicas dependen de la evaporación del agua para el desarrollo de sus características de curado y adherencia. El desplazamiento del agua puede ser bastante rápido bajo entornos favorables del clima; pero, pueden interferir con un curado apropiado una alta humedad, baja temperatura o lluvia, poco tiempo después de la aplicación. A pesar de que las condiciones superficiales y atmosféricas son menos críticas para las emulsiones catiónicas que para las aniónicas, aún dependen de las condiciones climáticas para lograr óptimos resultados. Una de las principales ventajas del uso de emulsiones catiónicas, es la propiedad de dejar el agua un poco más.

La teoría tradicional propone que las emulsiones aniónicas por tener cargas negativas en los glóbulos de asfalto tienen un mejor comportamiento cuando se los combina con agregados en que mayoritariamente tengan cargas positivas en su superficie como las calizas. La teoría también sostiene que las emulsiones catiónicas por tener las cargas positivas sobre los glóbulos de asfalto, dan como resultado un comportamiento mejor con agregados que tiene cargas negativas en superficie como agregados silíceos o graníticos. No existe

un acuerdo sobre esto porque existen estudios recientes que contradicen las teorías tradicionales.

Cuando se usan emulsiones de rotura rápida tanto aniónicas como catiónicas, la sedimentación inicial del asfalto se desarrolla en función de fenómenos electromecánicos.

La generación de la principal unión resistente entre la película de asfalto y los agregados, viene después de la pérdida del agua emulsificante. Esta película de agua puede ser desplazada por evaporación, presión (envolvimiento), o por absorción. En el uso real, la rotura es generalmente una función de la combinación de estos tres factores. (Otiniano y Paria, 2016)

2.3.8.3. Características y comportamiento de la mezcla en frío

Una muestra de mezcla de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia las características de la mezcla, y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las características son:

- Densidad de la mezcla
- Contenido de asfalto

a. Densidad

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de la mezcla). La densidad es una característica muy importante debido a que es

esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.

En las pruebas y el análisis del diseño de mezclas, la densidad de la mezcla compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico. La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg/m³). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio.

b. Contenido de Asfalto

La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra. El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece usando los criterios sugeridos por el método de diseño seleccionado.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo del asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y, mayor será la cantidad de asfalto

requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral, pueden absorber, literalmente, gran parte el contenido de asfalto, resultando en una mezcla inestable y seca. Las pequeñas disminuciones tienen el efecto contrario: poco relleno mineral resulta en una mezcla muy rica (húmeda). Cualquier variación en el contenido o relleno mineral causa cambios en las propiedades de la mezcla, haciéndola variar de seca a húmeda. Si una mezcla contiene poco o demasiado, relleno mineral, cualquier ajuste arbitrario, para corregir la situación, probablemente la empeorará.

La capacidad de absorción (habilidad para absorber asfalto) del agregado usado en la mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Esto se debe a que se tiene que agregar suficiente asfalto a la mezcla para permitir absorción, y para que además se puedan cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto. Los técnicos hablan de dos tipos de asfalto cuando se refieren al asfalto absorbido y al no absorbido: contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto.

El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de

asfalto que forma una película ligante efectiva sobre la superficie de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente, una característica importante en la definición del contenido de asfalto de una mezcla. (Otiniano y Paria, 2016)

2.3.9. Propiedades consideradas en el diseño de mezclas en frío

Las buenas mezclas asfálticas trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas.

Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas asfálticas en frío.

Estas incluyen la estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento. (Otiniano y Paria, 2016).

2.3.9.1. Estabilidad

La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto.

Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debidas a las fuerzas ejercidas por el tráfico.

En términos generales, entre más angular sea la forma de las partículas de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla.

Cuando no hay agregados disponibles con características de alta fricción interna, se pueden usar mezclas más económicas, en lugares donde se espere tráfico liviano, utilizando agregados con valores menores de fricción interna.

La fuerza ligante de la cohesión aumenta con aumentos en la frecuencia de carga (tráfico). La cohesión también aumenta a medida que la viscosidad del asfalto aumenta, o a medida que la temperatura del pavimento disminuye. Adicionalmente, y hasta cierto nivel, la cohesión aumenta con aumentos en el contenido de asfalto. Cuando se

sobrepasa este nivel, los aumentos en el contenido de asfalto producen una película demasiado gruesa sobre las partículas de agregado, lo cual resulta en pérdida de fricción entre partículas. Existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en el pavimento. (Otiniano y Paria, 2016)

2.3.9.2. Durabilidad

La durabilidad de un pavimento es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades de asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos.

Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada en tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

La mayor cantidad posible de asfalto aumenta la durabilidad porque las películas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas. En consecuencia, el asfalto retiene, por más tiempo, sus características originales. Además, el máximo contenido posible de asfalto sella eficazmente un gran porcentaje de vacíos interconectados en el pavimento, haciendo difícil la penetración del aire y del agua. Por supuesto, se debe dejar un cierto porcentaje de vacíos en el pavimento para permitir la expansión del

asfalto en los tiempos cálidos. Una graduación densa de agregado firme, duro, a la separación, contribuye, de tres maneras, a la durabilidad del pavimento. Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas del agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla. Un agregado firme y duro resiste la desintegración bajo las cargas del tránsito. Un agregado resistente a la separación resiste la acción del agua y el tránsito, las cuales tienden a separar la película de asfalto de las partículas de agregado, conduciendo a la desintegración del pavimento. La resistencia de una mezcla a la separación puede ser mejorada, bajo ciertas condiciones, mediante el uso de compuestos adhesivos, o rellenos como la cal hidratada.

La intrusión del aire y agua en el pavimento puede minimizarse si se diseña y compacta la mezcla para darla al pavimento al máximo impermeabilidad posible. Existen muchas causas y efectos con una poca durabilidad del pavimento. (Otiniano y Paria, 2016)

2.3.9.3. Impermeabilidad

La impermeabilidad de un pavimento es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relaciona con impermeabilidad. Aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua

a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es muy importante que su cantidad.

El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento.

Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados. (Otiniano y Paria, 2016)

2.3.9.4. Trabajabilidad

La trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría.

Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar. A través de mezclas de prueba en el laboratorio puede ser posible adicionar agregado fino, y tal vez asfalto, a una mezcla gruesa, para volverla más trabajable. En tal caso se deberá tener cierto cuidado para garantizar

que la mezcla modificada cumpla con los otros criterios de diseño, tales como contenido de vacíos y estabilidad.

Un contenido demasiado alto de relleno también puede afectar la trabajabilidad. Puede ocasionar que la mezcla se vuelva muy viscosa, haciendo difícil su compactación.

La trabajabilidad es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y rastrillar a mano cantidades considerables de mezcla, como por ejemplo alrededor de tapas de alcantarillados, curvas pronunciadas y otros obstáculos similares. Es muy importante usar mezclas trabajables en dichos sitios.

Las mezclas que son fácilmente trabajables o deformables se conocen como mezclas tiernas. Las mezclas tiernas son demasiado inestables para ser colocadas y compactadas apropiadamente. Usualmente son el producto de una falta de relleno mineral, demasiada arena de tamaño mediano, partículas lisas y redondeadas de agregado, y/o demasiada humedad en la mezcla.

Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, si tienen algún efecto sobre esta propiedad. Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad el asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura demasiado alta podrá hacer que la mezcla se vuelva tierna. El grado y el porcentaje de asfalto también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla. (Otiniano y Paria, 2016)

2.3.9.5. Flexibilidad

Flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la sub-rasante. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las sub-rasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo).

Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada y bajo contenido de asfalto. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos. (Otiniano y Paria, 2016)

2.3.9.6. Resistencia a la Fatiga

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento. (El periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye. Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente

tiene menor resistencia a la fatiga. Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la sub-rasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre sub-rasantes resistentes no se flexionan tanto, bajo las cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre sub-rasantes débiles. (Otiniano y Paria, 2016).

2.3.9.7. Resistencia al Deslizamiento

Resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie esta mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento (hidroplaneo).

Una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de gradación abierta y con tamaño máximo de 9.5 mm (3/8 pulgadas) a 12.5 mm (1/2 pulgada). Además de tener una superficie áspera, los agregados deben resistir el pulimento (alisamiento) bajo el tránsito. Los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimento que los agregados silíceos. Las mezclas inestables que tienden a deformarse o a exudar (flujo de asfalto a la

superficie) presentan problemas graves de resistencia al deslizamiento. (Otiniano y Paria, 2016).

2.3.10. Requisitos para pavimento de concreto asfáltico en frío

2.3.10.1. Agregados Pétreos y Polvo Mineral

Los agregados pétreos y el filler mineral para la elaboración de la mezcla densa en frío, deberán cumplir los requisitos establecidos para ellos en la Subsección 415.02(a) del Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG – 2013) Modificación a junio 2013.

Los agregados pétreos empleados para la ejecución de cualquier tratamiento o mezcla bituminosa deberán poseer una naturaleza tal, que, al aplicársele una capa del material asfáltico, ésta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito. Sólo se admitirá el empleo de agregados con características hidrófilas, si se añade algún aditivo de comprobada eficacia para proporcionar una adecuada adherencia.

Para efecto de las presentes especificaciones, se denominará agregado grueso a la porción de agregado retenido en el tamiz de 4,75 mm (N.º 4); agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4,75 mm y 75 µm (N.º 4 y N.º 200) y polvo mineral o llenante la que pase el tamiz de 75 µm (N.º 200).

El agregado grueso deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán

ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión con el asfalto. Sus requisitos básicos de calidad se presentan en cada especificación.

El agregado fino estará constituido por arena de trituración o una mezcla de ella con arena natural. La proporción admisible de esta última será establecida en el diseño aprobado correspondiente.

Los granos del agregado fino deberán ser duros, limpios y de superficie rugosa y angular. El material deberá estar libre de cualquier sustancia, que impida la adhesión con el asfalto y deberá satisfacer los requisitos de calidad indicados en cada especificación.

El polvo mineral o llenante provendrá de los procesos de trituración de los agregados pétreos o podrá ser de aporte de productos comerciales, generalmente cal hidratada o cemento portland. Podrá usarse una fracción del material proveniente de la clasificación, siempre que se verifique que no tenga actividad y que sea no plástico. Su peso unitario aparente, determinado por la norma de ensayo MTC E 205, deberá encontrarse entre 0,5 y 0,8 g/cm³ y su coeficiente de emulsibilidad (NLT 180) deberá ser inferior a 0,6.

La mezcla de los agregados grueso y fino y el polvo mineral deberá ajustarse a las exigencias de la respectiva especificación, en cuanto a su granulometría.

Los agregados pétreos no serán susceptibles de ningún tipo de meteorización o alteración fisicoquímica apreciable bajo las condiciones más desfavorables que se puedan dar en la zona de empleo. Tampoco podrán dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del pavimento, o contaminar corrientes de agua.

El Contratista, como responsable de los materiales que suministre para la ejecución de los trabajos, deberá realizar todos los ensayos necesarios para establecer la calidad e inalterabilidad de los agregados por utilizar, independiente y complementariamente los que se exigen en estas especificaciones.

El equivalente de arena que se exige en la Tabla 424-01 será el del agregado finalmente obtenido, mediante la combinación de las distintas fracciones, según las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo. En caso que no se cumpla el valor mínimo señalado en la Tabla 424-01, el agregado se aceptará si su equivalente de arena es superior a 40% y, simultáneamente, el índice de azul de metileno, es inferior a 10.

El agregado fino deberá proceder en su totalidad de la trituración de piedra de cantera o de grava natural, o parcialmente de fuentes naturales de arena. La proporción en masa de arena natural no podrá exceder del 15% de la masa total del agregado combinado, cuando sean vías de alto tránsito, ni exceder del 25% para tránsitos de

menor intensidad. En todo caso, la proporción en masa de agregado fino no triturado no podrá exceder la del agregado fino triturado.

El filler mineral podrá proceder de la trituración de los agregados o aportarse como producto comercial o especialmente preparado para este fin. La proporción de filler mineral de aporte se fijará en las especificaciones del Proyecto.

La mezcla de agregados grueso y fino y filler mineral, se deberá ajustar a alguna de las gradaciones indicadas en la Tabla 424-02. Las determinaciones se efectuarán de acuerdo con la norma de ensayo MTC E 204. (Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción”, junio,2013).

Tabla 1:

Requisitos de los agregados pétreos para pavimento asfáltico en frío

		Ensayo	Requerimiento								
			Bajo tránsito			Tránsito medio			Alto tránsito		
			Agregado grueso	Agregado fino	Gradación combinada	Agregado grueso	Agregado fino	Gradación combinada	Agregado grueso	Agregado fino	Gradación combinada
Desgaste de Los Ángeles		MTC E 207	25% máx. (rodadura) 35% máx.. (intermedia)			25% máx. (rodadura) 35% máx.. (intermedio y base)			25% máx. (rodadura) 35% máx.. (intermedio y base)		
Desgaste Micro-Deval		ASTM D 7428				25% máx. (rodadura) 35% máx.. (intermedia y base)			25% máx. (rodadura) 35% máx.. (intermedia y base)		
10% de finos (KN)	Seco								110 min (rodadura) 90 min (intermedia) 75 min (base)		
	Relación Húmedo/seco								75% min		
Pérdidas en ensayos de solidez	Sulfato de sodio	MTC E 209	12% máx.	12% máx.		12% máx.	12% máx.		12% máx.	12% máx.	
	Sulfato de magnesio		18% máx.	18% máx.		18% máx.	18% máx.		18% máx.	18% máx.	
Partículas fracturadas mecánicamente (agregado grueso) % mínimo 1 cara/2 caras		MTC E 210	75/- (rodadura) 60/- (intermedia)			75/60 (rodadura) 75/- (intermedia) 60/- (base)			85/70 (rodadura) 75/- (intermedia) 60/- (base)		

Fuente: (Manual de Carreteras "Especificaciones Técnicas Generales para construcción", 2013)

Tabla 2.

Requisitos de los agregados pétreos para pavimento asfáltico en frío

	Ensayo	Requerimiento								
		Bajo tránsito			Tránsito medio			Alto tránsito		
		Agregado grueso	Agregado fino	Gradación combinada	Agregado grueso	Agregado fino	Gradación combinada	Agregado grueso	Agregado fino	Gradación combinada
Angularidad (Agregado fino)	ASTM D 1252		40% mín (rodadura) 35% mín (intermedia)			45% mín (rodadura) 40% mín (intermedia) 35% mín (base)			45% mín (rodadura) 40% mín (intermedia) 35% (base)	
Coefficiente de pulimento acelerado	UNE 146130	0,45 mín (rodadura)			0,45 mín (rodadura)			0,45 mín. (rodadura)		
Partículas planas y alargadas	MTC E 221	10% máx.			10% máx.			10% máx.		
I.P.	MTC E 111			N.P.			N.P.			N.P.
Equivalente de arena	MTC E 114			50% mín.			50% mín.			50% mín.
Contenido de impurezas (Agregado grueso)	UNE 14613	0,5% máx.			0,5% máx.			0,5% máx.		
Adhesividad Resistencia conservada inm-comp				75 % mín.						75% mín.

Fuente: (Manual de Carreteras "Especificaciones Técnicas Generales para construcción", 2013)

Tabla 3.
Gradaciones para mezclas densas en frío.

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA		
Normal	Alternativo	MDF-1	MDF-2	MDF-3
7,5mm	1 1/2"	100	-	-
25,0 mm	1"	80-95	100	-
19,0 mm	3/4"	-	80-95	100
12,5 mm	1/2"	62-77	-	-
9,5 mm	3/8"	-	60-75	-
4,75 mm	N.º 4	45-60	47-62	50-65
2,36 mm	N.º 8	35-50	35-50	35-50
300 µm	N.º 50	13-23	13-23	13-23
75 µm	N.º 200	3-8	3-8	3-8

Fuente: (Manual de Carreteras "Especificaciones Técnicas Generales para construcción", 2013)

La franja por utilizar dependerá del tipo y del espesor que vaya a tener la capa compactada y se definirá en los documentos del Proyecto, siguiendo los criterios de la Tabla 424-03 del Manual de Carreteras "Especificaciones Técnicas Generales para Construcción" (EG – 2013) Modificación a junio 2013.

Tabla 4. Tipos de mezcla en función del tipo y espesor compacto de la capa

Tipo de capa	Espesor compacto (mm)	Tipo de Mezcla
Rodadura	50-75	MDF-2
	40-50	MDF-3
Intermedia	≥50	MDF-2
Base	≥75	MDF-1
Bacheo	50-75	MDF-2
	≥75	MDF-1

Fuente: (Manual de Carreteras "Especificaciones Técnicas Generales para construcción", 2013)

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el Contratista deberá dar lugar a una curva granulométrica uniforme, sensiblemente paralela a los límites de la franja por utilizar, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior del tamiz adyacente y viceversa. Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG – 2013) Modificación a junio 2013.

2.3.10.2. Material Bituminoso

Será una emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta, de los tipos CSS-1 o CSS-1h, que cumpla los requisitos de calidad establecidos en la Tabla 415 - 04 del Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG – 2013) Modificación a junio 2013 y que sea compatible con los agregados pétreos a emplear. Las especificaciones del material bituminoso ver en la tabla 5 de la presente investigación.

2.3.10.3. Agua

Se aplica lo indicado en la Subsección 420.02(c). del Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG – 2013) Modificación a junio 2013 que dice:

El agua deberá ser limpia y estará libre de materia álcalis y otras sustancias deletéreas. Su pH, medido según norma NTP 339.073, deberá estar comprendido entre 5,5 y 8,0 y el contenido de

sulfatos, expresado como SO₄ = y determinado según norma NTP 339.074, no podrá ser superior a 3.000 ppm, determinado según la norma NTP 339.072. En general, se considera adecuada el agua potable y ella se podrá emplear sin necesidad de realizar ensayos de calificación antes indicados. Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG – 2013) Modificación a junio 2013.

2.3.11. Método de Diseño de Mezcla Asfáltica, Método Marshall

2.3.11.1. Muestra

Procedimiento de ensaye

Las probetas se someten a los siguientes ensayos:

- Cálculo de la densidad
- Estabilidad y fluencia
- Análisis de huecos.

Se calcula el valor promedio de la fluencia y de la estabilidad corregida para todas las probetas con un mismo contenido de asfaltos y se prepara los gráficos:

- Estabilidad v/s contenido de asfalto
- Fluencia v/s contenido de asfalto
- Densidad v/s contenido de asfalto
- Huecos en la mezcla v/s contenido de asfalto
- VAM v/s contenido de asfalto

De acuerdo con las curvas se obtiene lo siguiente:

- La estabilidad aumenta al aumentar el contenido de asfalto.
- La fluencia aumenta con el contenido de asfalto.
- La curva de densidad es similar a la de estabilidad.
- El porcentaje de huecos de aire decrece al aumentar el contenido de asfalto.
- El porcentaje de vacíos en el agregado mineral decrece hasta un valor mínimo y de ahí crece.
- Los huecos llenos con asfaltos crecen al aumentar el contenido de asfalto. Los criterios que se recomiendan para obtener el contenido de asfalto óptimo son:

Para carpeta de rodado: de las curvas anteriormente vistas se pudo determinar la máxima estabilidad (A), la máxima densidad (B) y valor medio de huecos en la mezcla (C) entonces el contenido óptimo será el promedio de estos tres:

$$\frac{A + B + C}{3}$$

Para capa intermedia y base: el porcentaje de asfalto óptimo corresponderá al menor valor que cumpla con todas las especificaciones de calidad de la mezcla asfáltica.

Obtenido el porcentaje de asfalto óptimo, del gráfico densidad v/s porcentaje de asfalto se determina la densidad de diseño,

ingresando con el valor determinado según uno de los criterios indicados. El contenido de asfalto óptimo de la mezcla es entonces el promedio de los valores determinados anteriormente. (Ibañez Aguilera, 2003)

2.3.11.2. Cálculo de Densidad

Una vez enfriada la probeta a temperatura ambiente se determina su densidad de acuerdo al ensaye LNV-13 “Método para determinar la densidad real de mezclas bituminosas compactadas”. En este ensayo existen dos métodos, el Método A “Probetas Cubiertas con Parafina” y el Método B “Probetas con Superficie Saturada Seca”. (Ibañez Aguilera, 2003)

- Método A

Fórmula:

$$G = \frac{A}{\frac{D-E}{\rho_w} - \frac{D-A}{\rho_p}} * 1000 \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$$

donde:

G: densidad real en que se considera el volumen macizo de la probeta, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles. (Ibañez Aguilera, 2003)

A: masa de la probeta seca en aire, g.

D: masa de la probeta seca más parafina en aire, g.

E: masa de la probeta seca más parafina en agua, g.

ρ_p : densidad de la parafina a $25^\circ \pm 1^\circ \text{C}$ en g/cm^3 .

ρ_w : densidad del agua (1.0 g/cm^3).

- Método B

Si el porcentaje de agua absorbida, determinado por la relación:

$$Aab = \frac{B - A}{B - C} * 100 \geq 2$$

Usar el método A. Si esta condición no se cumple, entonces se debe calcular con la siguiente fórmula: (Ibañez Aguilera, 2003)

$$G = \frac{A}{\frac{B - C}{\rho_w}} * 1000 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$$

donde:

A: masa de la probeta seca en aire, g.

B: masa de la probeta en aire con superficie seca, g.

C: masa de la probeta en agua, g.

2.3.11.3. Cálculo de la estabilidad y fluencia

La estabilidad y la fluencia se miden directamente desde el ensaye del equipo Marshall, colocando la probeta entre la mordaza inferior y superior del aparato para ser cargada diametralmente (figura siguiente). La carga se aplica a una deformación de 51 mm por minuto hasta que se produzca la falla. La estabilidad queda definida por la carga máxima que es capaz de soportar la probeta de ensayo a 60°C .

La fluencia se mide desde el momento en que la probeta empieza a ser cargada hasta llegar a su rotura. (Ibañez Aguilera, 2003)

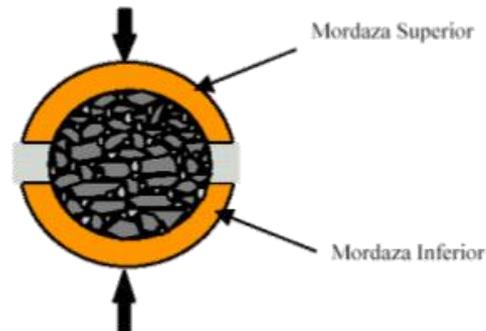


Figura 10: Conjunto de Mordazas, ensayo Estabilidad Marshall.
Fuente: (Ibañez Aguilera, 2003)

- Análisis de huecos

En este caso, se debe calcular la cantidad de vacíos en la mezcla completa y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM), según se detalla a continuación:

Vacíos en la Mezcla.

Los huecos en la mezcla, se calculan según la siguiente fórmula:

$$Va = 100 * \frac{Dmm - G}{Dmm}$$

donde:

Va: es el porcentaje de huecos en la mezcla.

Dmm: es la densidad máxima de la mezcla (según LNV-12).

G: es la densidad de la mezcla compactada (LNV-13).

El término Dmm se calcula de la siguiente forma:

$$Dmm = \frac{100 - Pb}{\frac{100}{\rho E} - \frac{Pb}{\rho b}}$$

donde:

D_{mm} : es la densidad máxima de la mezcla (Kg/m³).

P_b : es el porcentaje de asfalto referido al agregado.

ρ_E : es la densidad efectiva del agregado.

ρ_b : es la densidad del asfalto (Kg/m³).

Por otra parte, la densidad efectiva del agregado, ρ_E , se obtiene según la siguiente expresión:

$$\rho_E = \frac{100}{\frac{100 + P_b}{D_{mms}} - \frac{P_b}{\rho_b}}$$

donde:

ρ_E : es la densidad efectiva del agregado (Kg/m³).

P_b : es el porcentaje de asfalto referido al agregado (%).

D_{mms} : es la densidad máxima de la mezcla suelta (Kg/m³).

ρ_b : es la densidad del asfalto (Kg/m³).

3.b.- Vacíos en el Agregado Mineral (VAM).

El VAM se calcula de la siguiente manera:

$$VAM = 100 - \frac{G}{\rho_{RS}} * \frac{100}{(100 + P_b)} * 100$$

donde:

VAM: es el porcentaje de vacíos en el agregado mineral.

G : es la densidad de la mezcla compactada (Kg/m³).

ρ_{RS} : es la densidad real seca del agregado (Kg/m³).

P_b : es el porcentaje de asfalto referido al agregado mineral.

La densidad real seca del agregado, ρ_{RS} , se calcula con la siguiente expresión:

$$\rho_{RS} = \frac{100}{\frac{P_1}{\rho_{RS1}} + \frac{P_2}{\rho_{RS2}} + \dots + \frac{P_n}{\rho_{RSn}}}$$

ρ_{RS} : es la densidad real seca del agregado (Kg/m³).

P_1, P_2, \dots, P_n : es el porcentaje en peso de los agregados, 1, 2, ...n.

$\rho_{RS1}, \dots, \rho_{RSn}$: es la densidad real seca de los agregados 1, n.

La densidad real seca del filler mineral es difícil determinar en forma precisa, según la técnica actual. Si en vez de éste se usa la densidad de las partículas sólidas por el método de Le Chatelier, el error es generalmente despreciable.

Supongamos que los siguientes datos que se muestran en los siguientes gráficos:

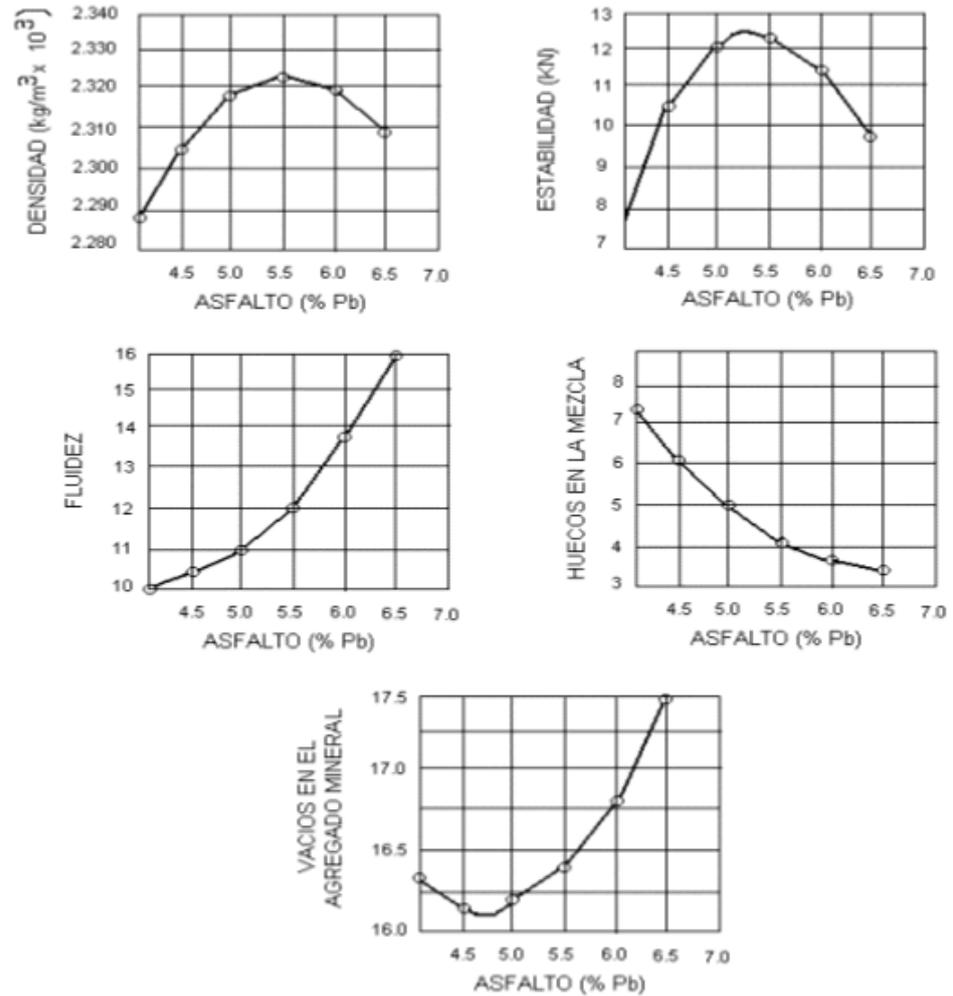


Figura 11. Propiedades mecánicas para determinar el contenido óptimo de asfalto.

Fuente: (Ibañez Aguilera, 2003)

Y usaremos la categoría de tránsito pesado (tamaño máximo nominal 20 mm), suponiendo que la dosificación es la correspondiente a las especificaciones y el contenido de asfalto es óptimo, tenemos que:

- Contenido de asfalto máxima densidad 5,7
- Contenido de asfalto 4 % huecos al aire 5,6
- Contenido asfalto máxima estabilidad 5,4
- Contenido de asfalto optimo, promedio 5,6

Por lo tanto, el contenido de asfalto óptimo es de 5,6 % y para este contenido se tiene que los valores de:

- Estabilidad (N) 12.250
- Fluidez (0,25 mm) 12,7
- Huecos en la mezcla (%) 4,0
- VAM (%) 16,4

Tomemos en cuenta que el valor de la estabilidad excede el valor mínimo de 8000 N. (Ibañez Aguilera, 2003)

2.3.11.4. Determinación del Contenido de Asfalto Óptimo

- Capas de Rodado.

El contenido de asfalto óptimo de la mezcla se calcula a partir de las gráficos densidad, estabilidad y huecos en la mezcla.

Con estos gráficos, se determina lo siguiente:

Pb1: contenido de asfalto que maximiza la estabilidad.

Pb2: contenido de asfalto que maximiza la densidad.

Pb3: contenido de asfalto para el 4% de huecos.

El asfalto óptimo se define como:

$$Pb = \frac{Pb1 + Pb2 + Pb3}{3}$$

Se verifica que el contenido de asfalto óptimo cumpla con los requisitos establecidos, sino se deberá ajustar la mezcla hasta que cumpla dichas condiciones. (Ibañez Aguilera, 2003)

2.3.11.5. Requisitos de la Mezcla de Diseño.

Es importante elegir una mezcla asfáltica económica que cumpla con todas las especificaciones solicitadas. En la siguiente tabla se resumen los criterios a considerar en el diseño Marshall. (Ibañez Aguilera, 2003).

Compactación o Número de Golpes por Cara	75
Estabilidad (N)	
<i>Carpeta de Rodado (Cemento Asfáltico)</i>	Mín. 9000-Máx.14000
<i>Capa Intermedia</i>	Mín. 8000-Máx.12000
<i>Capa Base</i>	Mín. 6000-Máx.9000
Huecos en la Mezcla (%)	
<i>Carpeta de Rodado (Cemento Asfáltico)</i>	3-5
<i>Capa Intermedia</i>	3-8
<i>Capa Base</i>	3-8
Fluencia (0.25 mm)	
<i>Todas las Capas(Rodado, Intermedia, Base)</i>	8-16

Figura 12. Criterios de Diseño Marshall, LNV (Tránsito Pesado).
Fuente: (Ibañez Aguilera, 2003).

TAMAÑO NOMINAL (mm)	MINIMO DE VACIOS (VAM) (%)
25	13
19	14
12,5	15
10	16
5	18
2,5	21
1,25	23,5

Figura 13. Porcentaje Mínimo de Vacíos en el Agregado Mineral (VAM).
Fuente: (Ibañez Aguilera, 2003)

2.3.12. Ensayos a los agregados según normas ASSHTO 2006

2.3.12.1. Granulometría (AASHTO T 27)

Este ensayo se realizó con el objetivo de obtener los pesos retenidos y porcentajes acumulados de los áridos, los cuales fueron pasados por diversas mallas y tomando como referencia el porcentaje de humedad.

Es un procedimiento usado para identificar las proporciones de partículas de tamaño diferente en las muestras del agregado. Esta información es importante porque las especificaciones de la mezcla deben estipular las proporciones necesarias de partículas de agregado de tamaño diferente, para producir una mezcla final con las características deseadas.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{Phúmedo - Pseco}{Pseco} * 100$$

2.3.12.2. Abrasión o Desgaste (AASHTO T96)

Los áridos se someten al desgaste y deterioro a lo largo de su vida útil. Es por esta razón que deben resistir el aplastamiento, la degradación y desintegración de cualquier actividad, ya sea en la fabricación, almacenamiento, producción, colocado o compactación.

Tamaño de la Muestra		
Método A		12 Esferas
Pasa	Retiene	Peso de la muestra
1 1/2"	1"	1,250 g
1"	3/4"	1,250 g
3/4"	1/2"	1,250 g
1/2"	3/8"	1,250 g
Método B		11 Esferas
Pasa	Retiene	Peso de la muestra
3/4"	1/2"	2,500 g
1/2"	3/8"	2,500 g
Método C		8 Esferas
Pasa	Retiene	Peso de la muestra
3/8"	1/4"	2,500 g
1/4"	Nº 4	2,500 g
Método D		6 Esferas
Pasa	Retiene	Peso de la muestra
Nº 4	Nº 8	5,000 g

Este ensayo estima la resistencia del agregado grueso a la abrasión y desgaste mecánico durante la manipulación, construcción y servicio de los agregados. Se realiza sometiendo el agregado grueso ante el impacto y trituración por medio de esferas de acero. El resultado del ensayo es el porcentaje de pérdida de material, que equivale al porcentaje del peso del material degradado durante el ensayo.

2.3.12.3. Gravedad Específica en Agregado Grueso (AASHTO T 84) y Agregado Fino (AASHTO T 85)

Este ensayo determina la densidad bruta del agregado en condición suelta o compactada y se calculan los vacíos entre las partículas finas, gruesas o dentro de la combinación. El tamaño nominal máximo es de 125 mm Este dato se utiliza para seleccionar las proporciones para las mezclas en frío.

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad aparente de los áridos. La densidad es la tasa entre el peso (m) de una sustancia y su volumen (v) a una temperatura especificada. Se expresa en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3).

Densidad aparente (densidad a granel; densidad bruta): Es la densidad que considera el volumen macizo de las partículas de un árido más el volumen de los poros y de los huecos. Corresponde a la capacidad de la medida que lo contiene. Densidad aparente compactada (ac): Densidad aparente del árido compactado en la medida que lo contiene, según los procedimientos indicados en este

método. Densidad aparente suelta (as): Densidad aparente de áridos vaciado en la medida que lo contiene, según el procedimiento indicado en este método.

El cálculo del peso específico de la muestra seca de agregado establece un punto de referencia para medir los pesos específicos necesarios en la determinación de las proporciones de agregado, asfalto, y vacíos que van a usarse en los métodos de diseño.

Agregado Grueso

$$\% \text{ Absorción} = \frac{P_{ss} - P_{seco}}{P_{seco}}$$

$$G_{BS} = \frac{P_{seco}}{A}$$

$$G_{SS} = \frac{P_{ss}}{A}$$

$$G_{AS} = \frac{P_{seco}}{A}$$

Agregado Fino

$$\% \text{ Absorción} = \frac{P_{ss} - P_{seco}}{P_{seco}}$$

$$G_{SB} = \frac{P_{seco}}{V_a - P_a}$$

$$G_{SS} = \frac{P_{humedo}}{V_a - P_a}$$

2.3.12.4. Durabilidad en Sulfatos (AASHTO T 104)

Este método comprende el ensayo del agregado para la determinación de sanidad, cuando estos se encuentran sometidos a la acción del intemperismo. Este mide la resistencia de los áridos a la

disgregación por soluciones saturadas de sulfato de sodio o magnesio. El proceso de inmersión y secado se realiza por varios ciclos determinándose de esta forma el porcentaje de pérdidas de peso por cada fracción granulométrica.

Tomando en cuenta el peso de la muestra que viene dado por la siguiente tabla según la AASHTO:

Intemperismo		
Pasa	Retiene	Peso de la muestra (g)
1 ½"	1"	1,005
1"	¾"	495
¾"	½"	670
½"	3/8"	330
3/8"	N° 4	300
Total		2,800

Fuente: Cortesía de Instituto Técnico de Pavimentos (ITP)

2.3.12.5. Índice de Durabilidad (AASHTO T 210)

El ensayo establece la resistencia del agregado para generar finos cuando se agitan en presencia de agua. Se realiza el ensayo tanto a la muestra gruesa como a la fina, se mide la cantidad de material que se sedimenta y con este dato se puede calcular el índice de durabilidad.

$$\% ID = \frac{\text{Lectura de Arena}}{\text{Lectura de Arcilla}} * 100$$

2.3.13. Ensayos realizados a la emulsión asfáltica CSS-1h

Los ensayos de laboratorio se realizan para medir ya sea el desempeño u otras características de composición, consistencia y estabilidad del material. El propósito de los ensayos es proveer datos para establecer los requisitos de

especificación, también para controlar la calidad y uniformidad del producto durante la fabricación y uso, finalmente para predecir y controlar el manejo, almacenaje y las propiedades de desempeño en campo de las emulsiones. Las emulsiones asfálticas se clasifican en catiónicas y aniónicas. Los ensayos están diseñados para medir distintas propiedades a las emulsiones y a los residuos de la emulsión (asfalto residual).

2.3.13.1. Muestreo de emulsiones (AASHTO T 40 o ASTM D140)

El propósito es obtener muestras representativas para poder caracterizarlas y que den a conocer las condiciones reales y la naturaleza de la emulsión asfáltica. El procedimiento estándar para el muestreo se describe en los métodos AASHTO T 40 o ASTM D 140 “Práctica estándar para el muestreo de materiales bituminosos”.

Es preferible obtener las muestras en el punto de producción, manufactura o almacenamiento. Los contenedores deben ser recipientes metálicos con tapa de sello por presión, o botellas de apertura ancha hechas de plástico, de tapa de rosca. Generalmente se utilizan contenedores de 4 litros (1 galón).

2.3.13.2. Viscosidad Saybolt Furol a 25 grados (ASTM D 2397 o D 244-22/24)

La viscosidad es la resistencia al flujo de los fluidos y es una propiedad que afecta su utilización. La viscosidad se mide con el viscosímetro de Saybolt Furol. El resultado del ensayo se reporta en segundos. Además, el ensayo se realiza a dos temperaturas: 25°C y 50°C.

Representa una característica fundamental para la técnica de carreteras (Fernández del Campo, J. A. 1983).

Sirve para conocer la consistencia de los materiales asfálticos mediante sus características de flujo a una temperatura de 135°C para los cementos y de 25 y 50°C para las emulsiones, pudiéndose hacer a otras temperaturas, con el propósito de estudiar la susceptibilidad al calor de los materiales asfálticos y determinar las viscosidades apropiadas para su utilización, es decir, que tan manejable es a dichas temperaturas. La prueba consiste en determinar el tiempo que tardan en pasar 60 cm³ del material a probar a través de un orificio Furol, instalado en un tubo de viscosidad Saybolt, bajo condiciones de carga y temperatura pre-establecidas.

2.3.13.3. Residuos de la destilación y aceite (ASTM D 244-8)

La destilación se utiliza para separar el agua del asfalto. Si el asfalto contiene aceite, este se separará junto con el agua. Se pueden medir las proporciones relativas de ligante asfáltico, agua y aceite. Como el asfalto se recupera se le pueden hacer ensayos adicionales al residuo para determinar las propiedades físicas del asfalto obtenido.

El objeto de este ensayo es el conocimiento cuantitativo del betún, agua y fluidificantes que contiene la emulsión. Además de esta información, sus resultados dan una idea de la volatilidad de los fluidificantes empleados (Fernández del Campo, J. A. 1983).

Como resultado del ensayo se obtienen los porcentajes de residuo asfáltico, de fluidificantes y de agua referidos al total de la emulsión.

No es necesario insistir sobre la importancia de la información suministrada por este ensayo y baste considerar que el contenido en betún tiene relación con algunas características de la emulsión: viscosidad, sedimentación, etc. Asimismo, la cantidad y volatilidad de los fluidificantes determinarán el comportamiento de la emulsión tanto durante su etapa de puesta en obra como en la posterior de curado.

2.3.13.4. Estabilidad de Almacenamiento (ASTM D244)

El ensayo indica la habilidad de la emulsión para mantenerse como una dispersión uniforme durante el almacenaje. Se detecta la tendencia de los glóbulos a asentarse en un período de tiempo de 24 horas. También se puede realizar el ensayo para un período de tiempo de 5 días.

- Sedimentación (ASTM D 244-29/32)

A través de este ensayo se determinan los cambios en la concentración de ligante que tiene lugar a diferentes alturas del tanque en que se encuentra almacenada la emulsión.

Los valores de sedimentación son, de acuerdo con la ley de Stokes, directamente proporcionales al tamaño de la micela y a la diferencia de densidades entre las fases continua y

discontinua, e inversamente proporcionales a la viscosidad de la fase continua.

En aquellas emulsiones en que se presentes valores altos de sedimentación, originados por alguna de las razones apuntadas en el párrafo anterior, es posible que se trate, en razón de las características de la emulsión, de una simple floculación recuperable por simple agitación, o bien que esta floculación vaya seguida de una coalescencia y, por tanto, de que el proceso sea irreversible.

2.3.13.5. Carga de partículas de prueba (ASTM D-244)

Es utilizado para identificar emulsiones catiónicas. Para su realización, se sumergen, en una muestra de la emulsión, un electrodo positivo (ánodo) y un electrodo negativo (cátodo) se conectan ambos a una fuente eléctrica de corriente continua controlada.

2.3.13.6. Ensayos al residuo de asfalto (ASTM T 49)

Al residuo de asfalto también se le realizan varias pruebas que también se le realizan al asfalto original, como el ensayo de gravedad específica AASHTO T288 o ASTM D 70, que es un dato que se utiliza para realizar correcciones a las medidas volumétricas a distintas temperaturas.

Otro ensayo es la medición de la penetración AASHTO T 49 o ASTM D 5, que es una medida de la dureza del residuo de asfalto a 25°C, en la muestra del residuo se introduce una aguja con un peso

estándar de 100 g durante 5 segundos. La penetración es la distancia que la aguja penetró en la muestra.

2.3.14. Uso de emulsión de rotura lenta

Los grados de rotura lenta se diseñan para lograr mezclas estables. Se emplean con granulometrías cerradas, con alto porcentaje de finos. A los grados de rotura lenta corresponden prolongados periodos de trabajabilidad para asegurar una buena mezcla con agregados de granulometría cerrada. Estas mezclas no se diseñan para ser acopiadas. Todos los grados de rotura lenta tienen baja viscosidad, que puede ser aún más reducida con la incorporación de agua.

La coalescencia de las partículas de asfalto de las emulsiones de rotura lenta depende básicamente de la evaporación del agua. Las emulsiones de rotura lenta en aplicaciones de mezcla son empleadas en general para bases de granulometría cerrada, estabilización de suelos, carpetas asfálticas, así como también en algunos reciclados y sellados con lechadas asfálticas. (Manual básico de emulsiones asfálticas, 2015)

2.3.15. Especificación técnica para emulsión asfáltica

El material bituminoso que se aplica en la presente investigación será la emulsión asfáltica tipo catiónica de rompimiento lento, así se cumplió con las especificaciones técnicas del Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones en la sección 427 referente a las emulsiones asfálticas. En la tabla 6 se muestra las especificaciones técnicas para las emulsiones asfálticas tipo catiónicas según las normas ASTM D - 2397 y ASTM D - 3910 referente a las mismas.

Tabla 5.
Especificaciones para emulsiones asfálticas catiónicas.

Tipo Grado	Rotura Rápida				Rotura Media				Rotura Lenta			
	CRS-1		CRS-2		CMS-2		CMS-2h		CSS-1		CSS-1h	
	min	máx.	min	máx.	min	máx	min	máx	min	máx	min	
Prueba sobre Emulsiones												
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C	-	-	-	-	-	-	-	-	20	100	20	
Viscosidad Saybolt Furol a 50°C	20	100	100	400	50	450	50	450	-	-	-	
Estabilidad de Almacenamiento, 24h, %(")	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	
Demulsibilidad, 35cm2 ,0.8% Dioctilsulfosuccinato sódico, %	40	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	
Revestimiento y Resistencia al agua												
Revestimiento agregado seco					Bueno		Bueno					
Revestimiento, agregado seco después del rociado					Aceptable		Aceptable					
Revestimiento, agregado húmedo					Aceptable		Aceptable					
Revestimiento, agregado húmedo después del rodado					Aceptable		Aceptable					
Carga de partícula	Positivo		Positivo		Positivo		Positivo		Positivo		Positivo	
Prueba de Tamiz %(")	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-	
Mezcla con Cemento, %										2	-	
Destilación:												
Destilación de aceite, por volumen de emulsión	-	3	-	3	-	12	-	12				
% Residuo	60	-	65	-	65	-	65	-	57	-		
Pruebas sobre el Residuo de destilación:												
Penetración, 25°C, 100 g, 5s	100 ^(a)	250 ^(a)	100 ^(a)	250 ^(a)	100	250	40	90	100	250	40	
	50 ^(a)	150 ^(a)	50 ^(a)	150 ^(a)								
Ductibilidad, 25°C, 5cm/min, cm	40		40		40		40		40		40	
Solubilidad en Tricloretileno, %	97.5		97.5		97.5		97.5		97.5		97.5	

Nota:

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

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

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

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

2.4. Estadística inferencial

Rama de estadística que estudia el comportamiento y propiedades de las muestras, también la posibilidad y límites de la generalización de los resultados obtenidos a partir de aquellas poblaciones que representan. Esta generalización de tipo inductivo, se basa en la probabilidad. También llamado estadística matemática, por su complejidad matemática en relación a la estadística descriptiva. (Nolberto Sifuentes y Ponce Aruneri, 2008)

Tiene como objetivo generalizar las propiedades de la población bajo estudio, basado en los resultados de una muestra representativa de la población. (Nolberto Sifuentes y Ponce Aruneri, 2008)

A través de la estadística inferencial podemos determinar dos tipos de pruebas, prueba de estimación y la prueba de hipótesis. En la prueba de estimación podemos obtener una estimación puntual o por intervalo de confianza. En la prueba de hipótesis se analizará la aceptación de la hipótesis propuesta, en donde se categorizará como hipótesis nula o hipótesis alterna. (Monografías, 2017)

2.4.1. Prueba de distribución normal

La distribución normal o distribución de Gauss representa la forma en la que se distribuyen los diversos valores numéricos de las variables continuas. Este análisis se realiza para la prueba de distribución normal para comprobar que algunos análisis sean fiables. Para realizar la prueba de normalidad tenemos la prueba de Kolmogorov – Smirnov y la prueba de Shapiro – Wilk. (Monografías, 2017)

2.4.1.1. Prueba de Kolmogorov – Smirnov

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

$$D = \text{máx}|Fn(x) - Fo(x)$$

Donde:

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

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

En la distribución estadística de Kolmogorov-Smirnov se muestra una distribución poblacional independiente especificada en la hipótesis nula y los valores críticos están tabulados. Si la distribución postulada es la normal y se estiman sus parámetros, los valores críticos se obtienen a partir de la aplicación de la corrección de significación propuesta por Lilliefors. (Monografías, 2017)

2.4.1.2. Prueba de Shapiro-Wilk

La prueba de normalidad de Shapiro Wilk se analiza cuando el tamaño de la muestra es menor a los 50 datos. Para efectuar se calcula la media y la varianza muestral, asimismo se ordenan las observaciones de menor a mayor. También se calculan las diferencias de los extremos en el mismo orden y se corrigen con unos coeficientes tabulados por Shapiro - Wilk. El estadístico de prueba es: (Monografías, 2017)

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

Donde:

D = La suma de las diferencias corregidas.

W = Prueba de Shapiro – Wilk.

n = Número de datos.

S² = Varianza muestral.

Se rechazará la hipótesis nula de normalidad si el estadístico W es menor que el valor crítico proporcionado por la tabla elaborada por los autores para el tamaño muestral y nivel de significancia establecido. (Monografías, 2017)

2.4.2. Correlación

El coeficiente de correlación mide el grado relación entre dos variables, asimismo describe la fuerza como la dirección de la relación. (Monografías, 2017)

2.4.2.1. Correlación del momento del producto de Pearson

La correlación de Pearson evalúa la relación lineal entre dos variables continuas. Una relación es lineal cuando una variable se asocia con un cambio proporcional en la otra variable. (Monografías, 2017)

2.4.2.2. Correlación del orden de los rangos de Spearman

La correlación de Spearman evalúa la relación monótona entre dos variables continuas u ordinales. En la relación monótona, las

variables tienden a cambiar al mismo tiempo, pero no específicamente a un ritmo constante. El coeficiente de correlación de Spearman se basa en los valores jerarquizados de cada variable y no en los datos sin procesar. (Monografías, 2017)

Para examinar la relación entre las variables se requiere de una gráfica de dispersión. Los coeficientes de correlación solo miden relaciones lineales (Pearson) o monótonas (Spearman).

2.4.3. Comparación de los coeficientes de Pearson y Spearman

El valor de los coeficientes de correlación de Pearson y Spearman puede variar de -1 a $+1$. Para que el coeficiente de correlación de Pearson sea $+1$, cuando una variable aumenta, la otra variable aumenta en una cantidad consistente. Esta relación forma una línea perfecta, para el caso del coeficiente de correlación de Spearman es la misma tendencia. (Monografías, 2017)

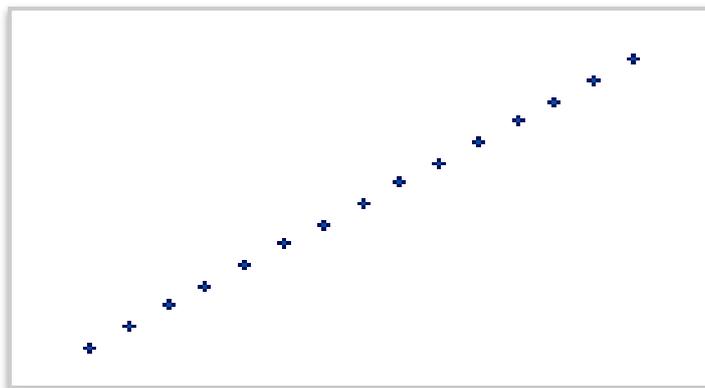


Figura 14. Correlación, Pearson $=+1$, Spearman $=+1$
Fuente: (Monografías, 2017)

Si la relación de una variable aumenta cuando la otra aumenta, pero la cantidad no es consistente, el coeficiente de correlación de Pearson es positivo pero menor que $+1$, para el caso del coeficiente de Spearman sigue la misma tendencia.

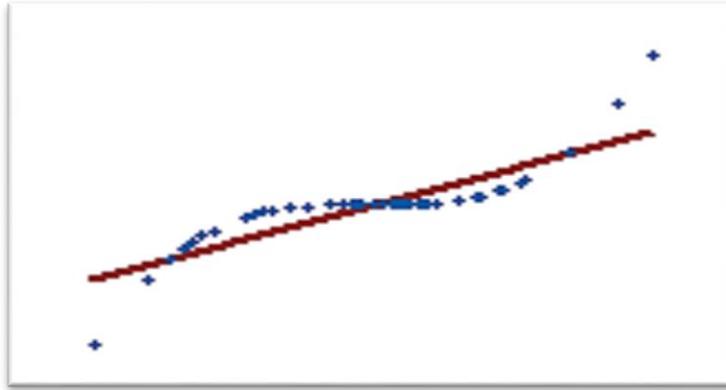


Figura 15. Correlación, Pearson = +0.851, Spearman = +1
Fuente: (Monografías, 2017)

Cuando existe una relación aleatoria o no existe, entonces se determina que ambos coeficientes de correlación tienden al cero.

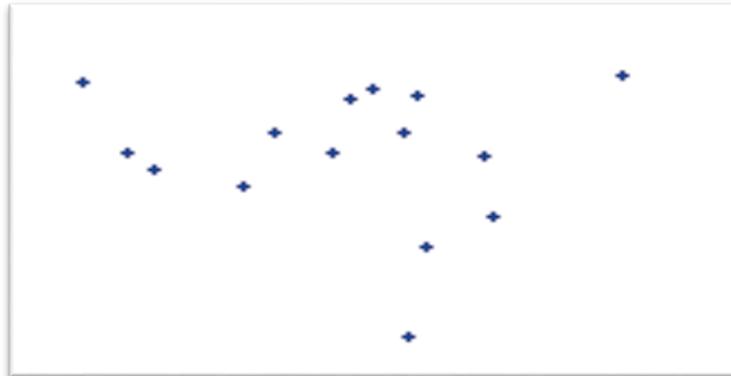


Figura 16. Correlación, Pearson = -0.093, Spearman = -0.093
Fuente: (Monografías, 2017)

Si la relación es una línea perfecta en forma decreciente, entonces ambos coeficientes de correlación son -1.



Figura 17. Correlación, Pearson = -1, Spearman = -1

Fuente: (Monografías, 2017)

Si la relación en un variable disminuye cuando la otra aumenta, pero la cantidad no es consistente, entonces el coeficiente de correlación de Pearson es negativo, pero mayor que -1, para el caso de coeficiente de Spearman sigue la misma tendencia.

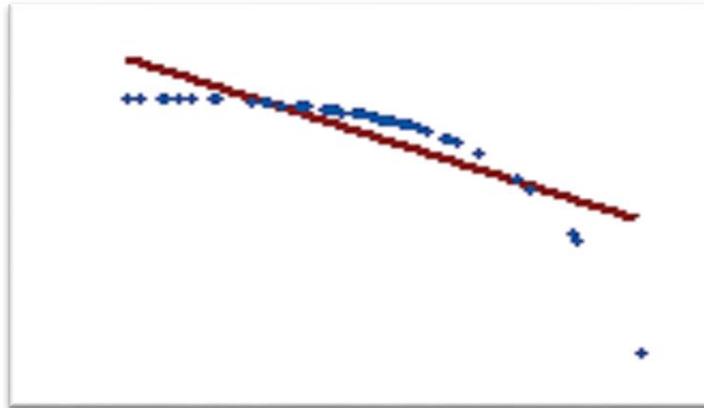


Figura 18. Correlación, Pearson =+1, Spearman = +1
Fuente: (Monografías, 2017)

Los valores de correlación de -1 o 1 implican una relación lineal exacta, sin embargo, el valor real de los valores de correlación, está en cuantificar las relaciones que son menos que perfectas.

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

Para observar el nivel de correlación entre dos variables se muestra en la tabla 6.

Tabla 6.
Rango de correlación.

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

Fuente: (Monografías, 2017)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Método de la investigación

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

Esta investigación observó el desconocimiento del uso apropiado de los tiempos para encontrar la mezcla asfáltica óptima y garantizar las mejores características en pista. En este trabajo se utilizó el método científico como método general y el método experimental como método específico.

3.1.2. Tipo de la investigación

Según (Tan Malaga, y otros, 2008), “La investigación aplicada ha enfocado la atención sobre solución de teorías cual concierne solo a un grupo en

particular mas no generaliza, se refiere a resultados inmediatos y busca perfeccionar a los individuos implicados en el proceso de investigación”.

Esta investigación encontró la solución al desconocimiento del uso apropiado de los tiempos y garantizar la mezcla ideal para compactar en pista, por ello se consideró el tipo de investigación aplicada.

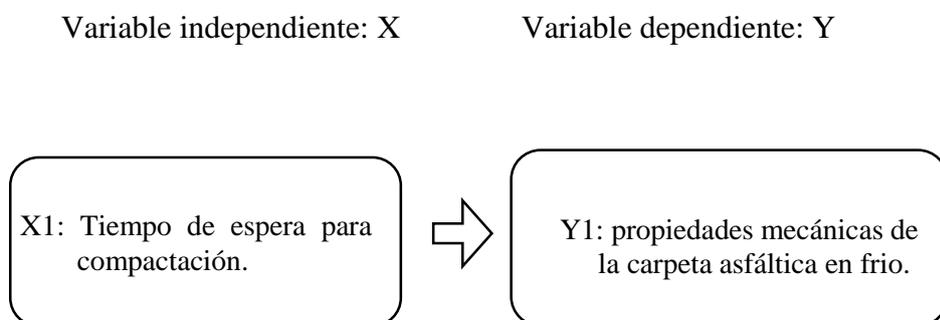
3.1.3. Nivel de la investigación

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

En esta tesis se presente ver la relación o el grado de asociación que existe entre el tiempo de espera para compactar sobre las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica en frio, por esta razón se consideró como nivel de investigación correlacional.

3.2. Diseño de la investigación

Esta investigación tiene como tipo de diseño experimental, con post prueba únicamente y grupo de control.



3.3. Población y muestra

En esta tesis se desea investigar la influencia del tiempo de espera para compactación, en las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas- Huancayo 2017.

3.3.1. Población

Para el caso de la presente investigación, se tomó como población 140 especímenes realizadas en campo para determinar el tiempo óptimo de compactación utilizando emulsión CSS-1h.

- a. **Espacial:** La mezcla asfáltica en frío con emulsión CSS-1h se aplicará en vías del distrito de Quilcas.
- b. **Tipo de emulsión:** Emulsión asfáltica catiónica de rompimiento lento.

3.3.2. Muestra

Para el caso de la presente investigación, se tomó como muestra 10 especímenes cada intervalo de tiempo para determinar el tiempo óptimo de compactación utilizando emulsión CSS-1h.

- a. **Marco muestral:** Se tomó como muestras para esta investigación 10 especímenes cada cierto intervalo de tiempo; a las 2horas, 4horas, 6horas, 8horas, 10horas, 12horas, 14horas, 16horas ,18horas, 20horas, 24horas, 36horas, 48horas y 72horas.
- b. **Técnica de muestreo:** No probabilístico, intencional.
- c. **Tamaño de muestras :**140 especímenes, las dimensiones de los especímenes fueron de 10cm de diámetro y 7.5cm de altura teóricamente, las alturas dependerán de la inclinación del espécimen sometido a ensayo.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se utilizó información recopilada de los ensayos de Marshall para contrastar la hipótesis propuesta, se realizó una investigación experimental de tipo aplicativo siendo importante la data de la experimentación de los diferentes especímenes tomados como muestra en campo, también las consultas de experiencias por la revisión de fuentes bibliográficas (libros, informes de tesis, revistas y otros). Asimismo, se hicieron observaciones y conclusiones con fundamentos teóricos concernientes al tema de investigación.

3.4.1. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos que se utilizaron para esta investigación se definirán de acuerdo al trabajo que se realizó, primero para el tratamiento de datos se utilizó una computadora, para el ensayo de análisis granulométrico se utilizó herramientas de laboratorio como :bandejas, tamices y cucharones, asimismo para el ensayo de Marshall se utilizó el molde de compactación y el martillo de compactación para elaborar el espécimen, finalmente para realizar la toma de data se utilizó la Prensa de estabilidad de Marshall.

3.4.2. Técnicas de recolección de datos

Las técnicas para la recolección de datos, se detalla en los siguientes ítems:

- Primero se recolecto el material de la Cantera de Matahuasi ubicado en la provincia de Concepción, para realizar el estudio.
- Se seco todo en material fino y granular en la estufa.
- Se realizo la granulometría del material seco.

- Se realizó una mezcla homogénea de los materiales tamizados de acuerdo a la gradación que se rige en la norma técnica.
- Se realizó el mezclado de los agregados seleccionados con la emulsión asfáltica.
- Se pesó 1250 gramos de material mezclado en el molde de compactación, para realizar el ensayo de Marshall.
- Después se desmolda el espécimen del molde de compactación.
- El espécimen después de haber sido desmoldado, se deja exudar durante dos días.
- Después a ello se realiza el ensayo de prueba estándar de gravedad específica para determinar la densidad del espécimen.
- Una vez secado el espécimen a la intemperie, se realiza las correcciones de alturas para corregir las estabilidades lecturadas.
- Finalmente, el espécimen se somete a la prensa de estabilidad de Marshall para la toma de datos de estabilidad.

3.4.3. Técnicas de tratamiento de datos

Primero, se recopiló información de los especímenes analizados, después se realizó el análisis estadístico, para que, a través de la existencia de correlación entre el tiempo y la estabilidad, así como también entre tiempo y la fluencia, finalmente entre el tiempo y la densidad, determinaremos el tiempo óptimo de compactación utilizando emulsión CSS-1h.

Por último, se estructuró a base de indicadores los estándares óptimos que nos permitieron procesar esta información.

3.5. Procedimiento para la recolección de datos

3.5.1. Procedimiento de metodología

Para realizar la recolección de datos siguió la siguiente metodología, a base de normas NTP Y ASTM, el cual hace hincapié el ministerio de transporte y comunicaciones.

3.5.1.1. Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo) MTC-E 105

NTP 339.089: SUELOS. Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo)

a. Objetivo:

Establecer los procedimientos para obtener en laboratorio la muestra necesaria para realizar los ensayos, de forma que sea representativa de la muestra total recibida.

b. Equipo:

Tamices, que cumplan con la NTP 350.001. Los siguientes son requeridos:

A Tamiz 4,750 mm (N° 4)

B Tamiz 2,000 mm (N° 10)

C Tamiz 0,425 mm (N° 40)

- Mortero, con su mazo cubierto de caucho en la parte inferior.
- Cuarteador o aparato para la separación de las muestras.
- Lona, para cubrir aproximadamente 2 m x 2,5 m.
- Pala, cucharón metálico o badilejo para manejar el material.
- Varilla metálica, de longitud apropiada.

a. Procedimiento:

Método B. Cuarteo manual

- Se coloca la muestra sobre una superficie dura, limpia y horizontal evitando cualquier pérdida de material o la adición de sustancias extrañas.
- Se mezcla bien hasta formar una pila en forma de cono, repitiendo esta operación cuatro veces. Cada palada tomada de la base se deposita en la parte superior del cono, de modo que el material caiga uniformemente por los lados del mismo.
- Cuidadosamente se aplanan y extienden las pilas cónicas hasta darles una base circular, espesor y diámetro uniforme, presionando hacia abajo con la cuchara de la pala, de tal manera que cada cuarteo del sector contenga el material original. El diámetro debe ser aproximadamente cuatro a ocho veces el espesor.
- Se procede luego a dividir diametralmente el material en cuatro partes iguales, de las cuales se separan dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino limpiando luego con cepillo o escoba los espacios libres. Los dos cuartos restantes se mezclan sucesivamente y se repite la operación hasta obtener la cantidad de muestra requerida.



Figura 19. Pasos para el cuarteo manual.

Fuente: (Manual de Ensayo de Materiales "Ministerio de Transporte y Comunicaciones", 2016)

3.5.1.2. Análisis Granulométrico de suelos por tamizado MTC-E 107

ASTM D 422: Standard Test Method for Particle-size Analysis of Soils

a. Objetivo:

Determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de suelo.

b. Equipos y materiales

Equipos:

- Dos balanzas. Una con sensibilidad de 0,01 g para pesar material que pase el tamiz de 4,760 mm (Nº 4). Otra con sensibilidad de 0,1% del peso de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz de 4,760 mm (Nº 4).
- Estufa. Capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de 110 ± 5 °C.

- Materiales:
- Se usó, como alternativa, una serie de tamices que, al dibujar la gradación, dé una separación uniforme entre los puntos del gráfico; esta serie estará integrada por los siguientes tamices de malla cuadrada:

Tabla 7:
Serie de Tamices

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
1 ½"	38,100
¾"	19,000
⅜"	9,500
N° 4	4,760
N° 8	2,360
N° 16	1,100
N° 30	0,590
N° 50	0,297
N° 100	0,149
N° 200	0,075

Fuente: (Manual de Ensayo de Materiales "Ministerio de Transporte y Comunicaciones", 2016)

- Envases. Adecuados para el manejo y secado de las muestras.
- Cepillo y brocha. Para limpiar las mallas de los tamices
- Prepárese una muestra para el ensayo como se describe en la preparación de muestras para análisis granulométrico (MTC E 106), la cual estará constituida por dos fracciones: una retenida sobre el tamiz de 4,760 mm (N° 4) y otra que pasa dicho tamiz. Ambas fracciones se ensayarán por separado

a. Procedimiento:

Análisis por medio de tamizado de la fracción retenida en el tamiz de 4,760 mm (N° 4).

Sepárese la porción de muestra retenida en el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) en una serie de fracciones usando los tamices de:

Tabla 8:
Peso por tamices

partículas más grandes mm (pulg)	Peso mínimo aproximado de la porcion (g)
9,5 (3/8")	9 500
19,6 (3/4")	1000
25,7 (1")	2000
37,5 (1 1/2")	3000
50,0 (2")	4000
75,0 (3")	5000

Fuente: (Manual de Ensayo de Materiales "Ministerio de Transporte y Comunicaciones", 2016)

O los que sean necesarios dependiendo del tipo de muestra, o de las especificaciones para el material que se ensaya.

En la operación de tamizado manual se mueve el tamiz o tamices de un lado a otro y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla. Debe comprobarse al desmontar los tamices que la operación está terminada; esto se sabe cuándo no pasa más del 1 % de la parte retenida al tamizar durante un minuto, operando cada tamiz individualmente. Si quedan partículas apresadas en la malla, deben separarse con un pincel o cepillo y reunir las con lo retenido en el tamiz.

Cuando se utilice una tamizadora mecánica, se pondrá a funcionar por diez minutos aproximadamente, el resultado se puede verificar usando el método manual.

Se determina el peso de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0,1 %. La suma de los pesos de todas las fracciones y el peso, inicial de la muestra no debe diferir en más de 1 %.

3.5.1.3. Abrasión de los Ángeles (L.A) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 ½”) MTC-E 207

NTP 400.019: Agregados. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por Abrasión e Impacto en la Máquina de Los Ángeles

a. Objetivo:

Establecer el procedimiento para ensayar agregados gruesos de tamaños menores que 37,5 mm (1 ½”) para determinar la resistencia a la degradación utilizando la Máquina de Los Ángeles.

Nota 1: En el Anexo se presenta un procedimiento para ensayar agregados gruesos de tamaños mayores que 19,0 mm (3/4 pulg)

b. Equipo:

Máquina de Los Ángeles: La Máquina de Los Ángeles tendrá las características esenciales que se muestran en la Figura 1 (Anexo A) del manual de ensayo de materiales. La máquina consistirá en un cilindro hueco de acero, cerrado en ambos extremos, de dimensiones mostradas en la Figura 1, con un diámetro interior de 711 mm ± 5 mm (28 pulg ± 0,2 pulg) y una longitud interior de 508

mm \pm 5 mm (20 pulg \pm 0,2 pulg). El cilindro será montado sobre ejes salientes de sus costados, no pasantes, de tal manera que pueda rotar con el eje en posición horizontal, con una tolerancia en la inclinación de 1 en 100. El cilindro debe tener una abertura para la introducción de la muestra de ensayo. Tiene una cubierta hermética al polvo y provista de medios para atornillarla en su lugar. El cobertor también será diseñado para mantener el contorno cilíndrico de la superficie interior. Una pestaña removible de acero, que abarque toda la longitud del cilindro y se proyecte radialmente hacia adentro 89 mm \pm 2 mm (3,5 pulg \pm 0,1 pulg), será montada en el interior de la superficie cilíndrica del cilindro, de tal manera que un plano centrado en la cara mayor coincida con un plano axial. La pestaña deberá ser de 25,4 mm de espesor y montada por tornillos u otros medios de tal modo que quede firme y rígida. La localización de la pestaña se hará de tal manera que la muestra y las esferas de acero no impacten en las cercanías de la abertura y su cubierta; la distancia desde la pestaña hasta la abertura, medida a lo largo de la circunferencia del exterior del cilindro en la dirección de rotación, no será menor de 1270 mm (50 pulg). Inspeccionar periódicamente la pestaña para determinar que no está inclinada a lo largo o desde su posición normal radial con respecto al cilindro. Si se encuentra una de estas condiciones, repare o reemplace la pestaña antes de realizar futuros ensayos.

Nota 2: Es preferible el uso de una pestaña de acero resistente al desgaste de sección rectangular y montada independientemente de

la cubierta. No obstante, se puede utilizar una pestaña que consiste en una sección de perfil angular laminado, apropiadamente montada en el interior del plato cobertor, provisto que la dirección de rotación es tal que la carga sea recogida sobre la cara exterior del ángulo

La máquina deberá ser impulsada y equilibrada como para mantener una velocidad periférica uniforme (Nota 3). Si se utiliza un ángulo como pestaña, la dirección de rotación deberá ser tal que la carga sea recogida sobre la cara exterior del ángulo.

Nota 3. Una pérdida de carrera en el mecanismo de impulsión puede arrojar resultados que no sean reproducidos por otra Máquina de Los Ángeles con velocidad periférica constante.

Tamices: Conforme con la NTP 350.001

Balanza: Una balanza o báscula con exactitud al 0,1 % de la carga de ensayo sobre el rango requerido para este ensayo.

Carga: La carga consistirá en esferas de acero de aproximadamente 46,8 mm (1 27/32 pulg) de diámetro y cada una tendrá una masa entre 390 g y 445 g.

La carga, dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo como se describe en el ítem anterior, será como sigue:

Tabla 9.
Tipo de Gradación

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

Fuente: (Manual de Ensayo de Materiales "Ministerio de Transportes y Comunicaciones", 2016)

Nota 4. Podrá utilizarse cojinetes de bola de 46,00 mm (1 13/16 pulg) y 47,6 mm (1 7/8 pulg) de diámetro, cada una con una masa de aproximadamente de 400 g y 440 g, respectivamente. Podrán utilizarse también esferas de acero de 46,8 mm (1 27/32 pulg) de diámetro con una masa de aproximadamente 420 g.

c. Procedimiento:

Lavar y secar al horno la muestra reducida a peso constante, a 110 ± 5 °C, separar cada fracción individual y recombinar a la gradación de la Tabla 9, lo más cercano correspondiendo al rango de medidas en el agregado como conforme para el trabajo.

Registrar la masa de la muestra previamente al ensayo con aproximación a 1 g.

Tabla 10
Tipos de Gradaciones con respecto a la masa por tamizes.

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g			
Que pasa	Gradación	Gradación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 ½")	25,0 mm (1")	1 250 ± 25			
25,0 mm (1")	19,0 mm (¾")	1 250 ± 25			
19,0 mm (¾")	12,5 mm (½")	1 250 ± 10	2 500 ± 10		
12,5 mm (½")	9,5 mm (3/8")	1 250 ± 10	2 500 ± 10		
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (¼")			2 500 ± 10	
6,3 mm (¼")	4,75 mm (Nº 4)			2 500 ± 10	
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)				5 000
TOTAL		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

Fuente: (Manual de Ensayo de Materiales "Ministerio de Transporte y Comunicaciones", 2016)

Se obtendrá una muestra de campo de acuerdo con MTC E 201 y se reducirá a un tamaño adecuado de acuerdo con la ASTM C 702

Colocar la muestra de ensayo y la carga en la máquina de Los Ángeles y rotarla a una velocidad entre 30 rpm a 33rpm, por 500 revoluciones. Luego del número prescrito de revoluciones, descargar el material de la máquina y realizar una separación preliminar de la muestra, sobre el tamiz normalizado de 1,70 mm (Nº 12). Tamizar la porción más fina que 1,70 mm conforme al Modo Operativo MTC E 204. Lavar el material más grueso que la malla de 1,70 mm y secar al horno a 110 ± 5 °C, hasta peso constante (véase el apartado 6.2) y determinar la masa con una aproximación a 1 g (Nota 6).

Si el agregado está esencialmente libre de revestimiento y polvo el requerimiento de lavado puede ser obviado, pero siempre se requiere secar antes del ensayo. Por lo tanto, en el caso del ensayo de arbitraje se efectuará el lavado.

Nota 5. La eliminación del lavado después del ensayo raramente reducirá las pérdidas de medida en más de 0,2 % de la masa original de la muestra.

Nota 6. Información válida sobre la uniformidad de la muestra de ensayo podrá obtenerse por la determinación de la pérdida luego de 100 revoluciones. Esta pérdida podría ser

determinada sin lavado del material más grueso que el tamiz normalizado de 1,70 mm (Nº 12). La relación de la pérdida después de 100 revoluciones frente a la pérdida luego de 500 revoluciones no excedería mayormente 0,20 para material de dureza uniforme. Cuando se realiza esta determinación, tener cuidado de evitar pérdida de alguna parte de la muestra, retornar la muestra entera incluyendo el polvo de la fractura, a la máquina de ensayo para las 400 revoluciones finales requeridas para completar el ensayo.

3.5.1.4. Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall MTC-E 504

ASTM-D6926: “Standard Practice for Preparation of Bituminous Specimens Using Marshall Apparatus” and ASTM D 6927: “Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Bituminous Mixtures”

a. Objetivo:

Determinar a partir de la preparación y compactación de especímenes de mezcla bituminosa para pavimentación, de altura nominal de 64 mm y 102 mm de diámetro, el diseño de una mezcla asfáltica y calcular sus diferentes parámetros de comportamiento, por medio del método manual Marshall.

b. Equipo:

Equipos para la preparación de los especímenes

- Molde ensamblado para Especímenes, moldes cilíndricos, placas de base y collarines de extensión cumplirán con los detalles mostrados.

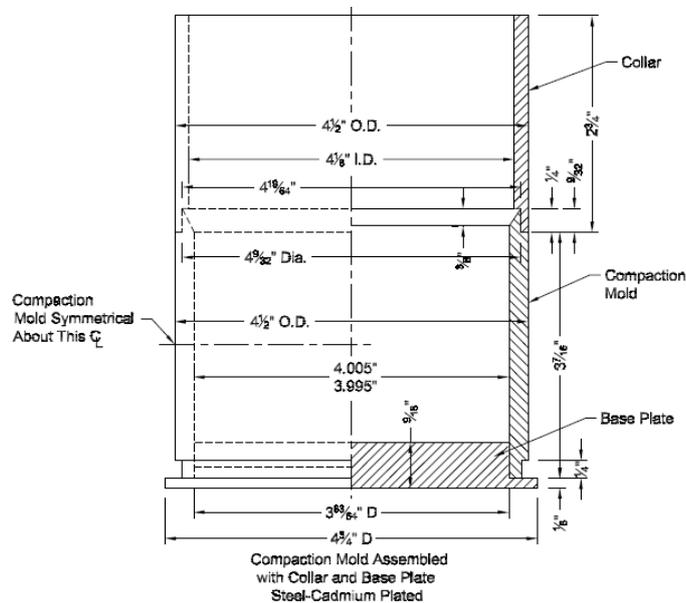


Figura 20. Molde de Compactación.

Fuente: (Manual de Ensayo de Materiales "Ministerio de Transportes y Comunicaciones", 2016)

- Extractor de Especímenes, Tendrá un disco de acero que encajará en el molde sin doblarse y no será menor de 100 mm de diámetro y 12,5 mm de espesor. El disco de acero es empleado para extraer los especímenes compactados de los moldes con el uso del collar del molde. Cualquier dispositivo adecuado de extracción tal como una gata hidráulica puede ser empleado, de tal manera que el espécimen no se deforme durante el proceso de extracción.
- Martillos de Compactación con manubrio sostenido manualmente (tipo I) o manubrio fijo (Tipo 2), ya sea operado mecánicamente o a mano como se muestra en la Figura 2,

tendrá un pie de compactación plano con un tornillo y una masa deslizante de $4,54 \pm 0,01$ kg con caída libre de $457,2 \pm 1,5$ mm (ver la Figura 2 para tolerancias en los martillos). Un martillo mecánico se muestra.

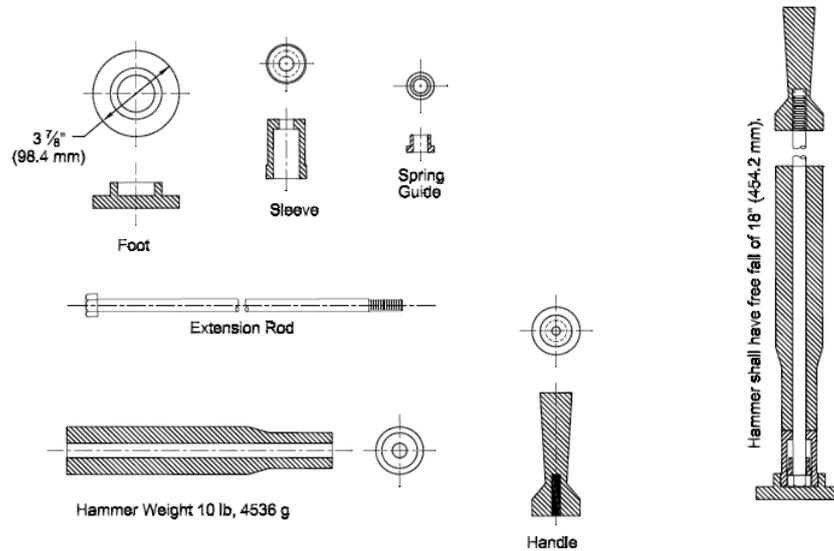


Figura 21. Martillo de Compactación.

Fuente: (Manual de Ensayo de Materiales "Ministerio de Transportes y Comunicaciones", 2016)

- Sostén de Molde para Espécimen, En compactadores de martillo simple, el sostén estará montado sobre el pedestal de compactación de tal manera que el molde de compactación quede centrado con el pedestal de compactación. Los sostenedores de moldes de compactadores multimartillos necesariamente no estarán centrados. Los sostenedores mantendrán el molde de compactación, el collar y la placa de base asegurados y en posición durante la compactación del espécimen.

- Contenedores cubiertos para calentar material bituminoso, ya sean latas tipo gill, vasos, otes de vaciado u otras bandejas podrán ser empleadas.
- Herramientas de mezclado, consistirán de cucharones de acero (cucharón de punta Mason con la punta redondeada), cucharas o espátulas para batido y mezclado a mano.
- Termómetros calibrados, Para determinar temperaturas de agregados, bitumen y mezclas bituminosas. Termómetros del tipo de vidrio o de dial con armazones de metal se recomiendan. Se requieren en un rango de 10 a 200 °C con sensibilidad de 3°C.
- Balanza, con aproximación al menos de 0,1 g para las bachadas de mezcla.
- Guantes, para maniobrar el equipo caliente.
- Crayones de marcado, para identificar los especímenes.
- Cucharón de base plana para bache los agregados.
- Cuchara larga para colocar la mezcla en el molde de especímenes.

c. Equipos para el ensayo de estabilidad y flujo

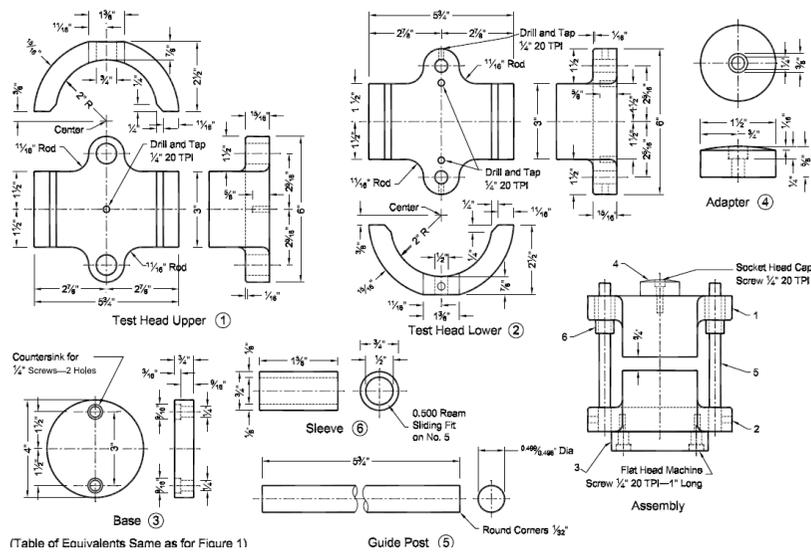


Figura 22. Cabezal de Ruptura.

Fuente: (Manual de Ensayo de Materiales "Ministerio de Transportes y Comunicaciones", 2016)

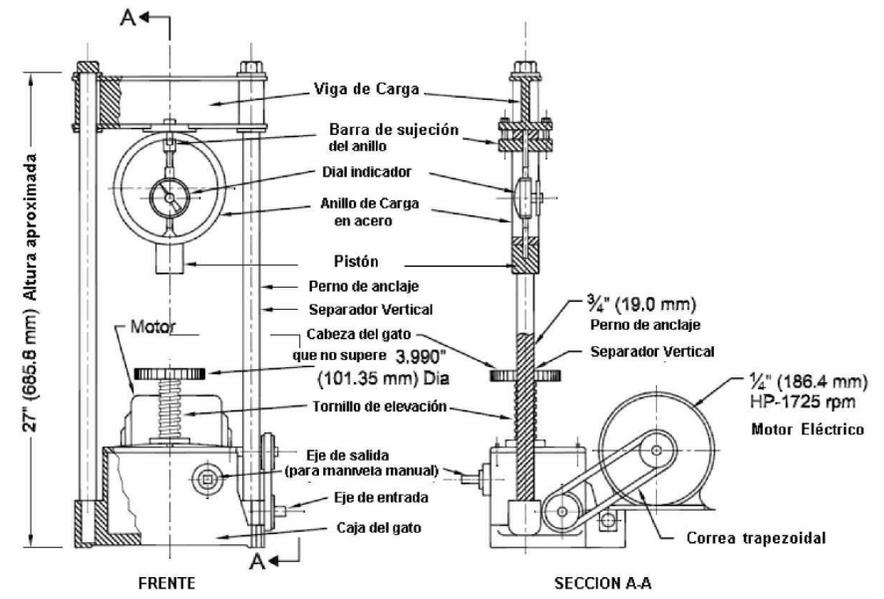


Figura 23: Máquina de Carga a Compresión.

Fuente: (Manual de Ensayo de Materiales "Ministerio de Transportes y Comunicaciones", 2016)

- Dispositivo de Medida de Carga (anillo dinamómetro de 22 240 N (5000 lbf).
- Medidor de Flujo.
- Horno, capaz de mantener la temperatura especificado $\pm 1^{\circ}\text{C}$.
- Baño de Aire, para el caso de mezclas con asfaltos líquidos deberá ser automáticamente controlado y mantendrá la temperatura del aire a $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$.
- Termómetros, con precisión de $0,2^{\circ}\text{C}$.

d. Procedimiento:

- Preparación de Agregados, Secar los agregados a peso constante. El secado en horno será hecho de 105°C a 110°C . Después del secado, separa los agregados por tamizado en seco en las fracciones deseadas. Las fracciones mínimas siguientes son las recomendadas:
 - 25 a 19 mm (1 a $\frac{3}{4}$ pulg)
 - 19 a 12,5 mm ($\frac{3}{4}$ a $\frac{1}{2}$ pulg)
 - 12,5 a 9,5 mm ($\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{8}$ pulg)
 - 9,5 a 4,75 mm ($\frac{3}{8}$ a N°4)
 - 4,75 a 2,36 mm (N°4 a N°8)
 - 2,36 mm (pasante la N°8)
- Los especímenes podrán ser preparados de bachadas solas o de bachadas múltiples que contengan suficiente material para tres o cuatro especímenes.
- Para la compactación, colocar el molde ensamblado en el pedestal de compactación con el sujetador y aplicar el número

requerido de golpes con el martillo especificado de compactación. Remover la placa de la base y el collar; voltee y reensamble el molde. Aplicar el mismo número de golpes de compactación en la cara reversa del espécimen. Después de la compactación, remover el collar y la placa de la base.

- Cuando se lleva a cabo la compactación con el martillo operado manualmente, coger el eje del martillo con la mano tan cerca de la perpendicular de la base del molde ensamblado como sea posible. En este procedimiento original Marshall ningún aparato mecánico de cualquier tipo debe ser empleado para restringir el manubrio del martillo en posición vertical durante la compactación.

e. Ensayo de Estabilidad y Flujo:

Se ensayarán un mínimo de 03 especímenes que tendrán el mismo tipo de agregado, calidad y gradación, el mismo tipo y cantidad de filler, y la misma fuente de ligante, grado y cantidad, para nuestro caso fueron 6 muestras. Además, tendrán la misma preparación: temperatura, compactación y enfriamiento.

Medir el espesor de los especímenes de acuerdo a MTC E 507

Llevar los especímenes preparados con asfalto líquido a temperatura colocándolos en el baño de aire por 120 a 130 min. Mantener el baño de aire a $25 \pm 1^\circ\text{C}$.

Limpiar completamente las líneas guías y el interior de las superficies del cabezal antes de ejecutar el ensayo. Lubricar las líneas guías de tal manera que el segmento superior del cabezal se deslice libremente sobre ellas. El cabezal deberá estar a temperatura de 20 a 40 °C. Si se emplea el baño de agua, limpiar el exceso de agua del interior de los segmentos del cabezal.

Remover un espécimen del agua, horno o baño de aire (en caso del baño de agua remover el exceso con una toalla) y colocarlo en el segmento inferior del cabezal. Colocar el segmento superior sobre el espécimen y colocar el conjunto completo en la máquina de carga. Si se usa, colocar el flujómetro en posición sobre una de las líneas guías y ajustarlo acero mientras se sostiene firmemente contra el segmento superior del cabezal mientras el ensayo se está ejecutando.

El tiempo desde la remoción del espécimen del baño a la determinación de la carga máxima no debe exceder los 30 segundos. Aplicar la carga al espécimen por medio de una razón constante de 50 mm/min. Hasta que la carga decrezca según lo indique el dial de carga.

Registrar la máxima carga indicada en la máquina de carga o convertirla de la lectura máxima del dial micrómetro como estabilidad Marshall. Liberar el flujómetro ó anotar la lectura del dial micrómetro en el instante en que la máxima carga empieza a decrecer. El valor del flujo normalmente se da en unidades de 0,25

mm. Este procedimiento pueda que requiera de dos personas para conducir el ensayo y registrar los datos.

f. Cálculos

Los especímenes moldeados en laboratorio deberán satisfacer los requerimientos de espesor de $63,5 \pm 2,5$ mm. Los especímenes dentro de la tolerancia de espesor pueden ser corregidos basados en el volumen del espécimen. Las estabilidades determinadas en núcleos extraídos de campo con amplios rangos de variación de espesor también serán corregidas. Sin embargo, los resultados con correcciones mayores deberán ser empleados con precaución. Ver la tabla 1 para los factores de corrección. La razón de correlación es empleada de la siguiente manera:

$$A = B * C$$

Donde:

A = Estabilidad corregida.

B = Medida de la estabilidad (carga).

C = Razón de correlación de la tabla

Tabla 11.
Factores de Corrección.

Volumen del espécimen, cm ^{3B}	Espesor del espécimen ^B		Razón de la Correlación
	mm	Pulg	
200 - 213	25,4	1,00 (1)	5,56
214 - 225	27	1,06 (1 1/16)	5
226 - 237	28,6	1,12 (1 1/8)	4,55
238 - 250	30,2	1,19 (1 3/16)	4,17
251 - 264	31,8	1,25 (1 1/4)	3,85
265 - 276	33,3	1,31 (1 5/16)	3,57
277 - 289	34,9	1,38 (1 3/8)	3,33
290 - 301	36,5	1,44 (1 7/16)	3,03
302 - 316	38,1	1,50 (1 1/2)	2,78
317 - 328	39,7	1,56 (1 9/16)	2,5
329 - 340	41,3	1,62 (1 5/8)	2,27
341 - 353	42,9	1,69 (1 11/16)	2,08
354 - 367	44,4	1,75 (1 3/4)	1,92
368 - 379	46	1,81 (1 13/16)	1,79
380 - 392	47,6	1,88 (1 7/8)	1,67
393 - 405	49,2	1,94 (1 15/16)	1,56
406 - 420	50,8	2,00 (2)	1,47
421 - 431	52,4	2,06 (2 1/16)	1,39
432 - 443	54	2,12 (2 1/8)	1,32
444 - 456	55,6	2,19 (2 3/16)	1,25
457 - 470	57,2	2,25 (2 1/4)	1,19
471 - 482	58,7	2,31 (2 5/16)	1,14
483 - 495	60,3	2,38 (2 3/8)	1,09
496 - 508	61,9	2,44 (2 7/16)	1,04
509 - 522	63,5	2,50 (2 1/2)	1
523 - 535	65,1	2,56 (2 9/16)	0,96
536 - 546	66,7	2,62 (2 5/8)	0,93
547 - 559	68,3	2,60 (2 11/16)	0,89
560 - 573	69,8	2,75 (2 3/4)	0,86
574 - 585	71,4	2,81 (2 13/16)	0,83
586 - 598	73	2,88 (2 7/8)	0,81
599 - 610	74,6	2,94 (2 15/16)	0,78
611 - 626	76,2	3,00 (3)	0,76

Fuente: (Manual de Ensayo de Materiales "Ministerio de Transportes y Comunicaciones", 2016)

**3.5.1.5. Gravedad específica aparente y peso unitario de mezclas
asfálticas compactadas empleando especímenes parafinados
MTC-E 506**

ASTM D 1188: “Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Compacted Bituminous Mixtures Using Coated Samples”

a. Objetivo:

Calcular el porcentaje de vacíos de aire dado en el método de ensayo MTC E 505

b. Equipo:

Balanza, con amplia capacidad y suficiente sensibilidad, que permita calcular las gravedades específicas de especímenes por lo menos con cuatro cifras significativas, esto es, al menos tres decimales. Se equipará con un aparato conveniente para permitir pesar el espécimen mientras se suspende en el agua. La balanza cumplirá la especificación D 4753 como una balanza GP2.

Ya que no hay más cifras significativas en el cociente (gravedad específica aparente) de las que aparecen tanto en el dividendo (la masa del espécimen en el aire) o en el divisor (el volumen del espécimen, obtenido de la diferencia de la masa del espécimen en el aire y en el agua), esto significa que la balanza debe tener una sensibilidad capaz de proveer los valores de masa y volumen al menos de cuatro cifras, por ejemplo una sensibilidad de 0,1 g proveerá cuatro cifras significativas para la determinación de

una masa en el rango de 130,0 a 999,9 g cuando la gravedad específica es de 2,300

Baño de agua, para inmersión del espécimen en agua mientras este suspendido, equipado con un orificio de evacuación para mantener el nivel constante del agua.

c. Procedimiento:

Los especímenes de ensayo pueden ser moldeados de mezclas de laboratorio o ser cortados del pavimento en obra. Las muestras de campo deben obtenerse de acuerdo con la práctica MTC E 501.

Tamaño de especímenes, se recomienda que el diámetro de los especímenes cilíndricos moldeados y de núcleos, o que la longitud de los lados de especímenes cortados, sea al menos igual a cuatro veces el tamaño máximo del agregado y que el espesor del espécimen sea al menos de una y media veces el tamaño máximo del agregado

Determine si el recubrimiento de los especímenes es necesario, para lo cual debe:

Determinar la gravedad específica aparente de un espécimen no cubierto de acuerdo al método de prueba MTC E 514.

Use los datos recopilados para calcular el porcentaje de agua absorbida por el espécimen (en base al volumen) como sigue:

$$\%agua\ absorbida = \frac{B - A}{B - C} * 100$$

Donde:

A = masa del espécimen seco en aire, g

B = masa del espécimen saturado superficialmente seco en aire, g

C = masa del espécimen en el agua, g

Si el porcentaje de agua absorbida por el espécimen excede 2%, continúe con el procedimiento indicado. Si el porcentaje de agua absorbida por el espécimen no excede al 2%, reporte la gravedad específica aparente del espécimen sin recubrir como la prueba del resultado del MTC E 514.

Masa del espécimen descubierto, después que la muestra ha sido secada bajo un ventilador hasta que se obtenga su masa constante, determine la masa de la muestra. Designe esto como la masa A.

Masa del espécimen cubierto:

Cubrir el espécimen con parafina derretida lo suficientemente gruesa para sellar los vacíos superficiales. Déjese enfriar al aire a temperatura ambiente por 30 minutos, luego pese el espécimen. Designe esta masa como D

Si se desea emplear el espécimen para ensayos posteriores que requieran la remoción de la parafina, deberá empolvase con talco antes de aplicar dicha capa

La aplicación de la parafina puede completarse, enfriando el espécimen en una refrigeradora a la temperatura aproximada de 4,5 °C por 30 minutos y luego sumergiéndolo en parafina tibia, 5.5°C por encima del punto de fusión. Quizá sea necesario adicionar más parafina caliente con la finalidad de llenar cualquier agujero.

Masa del espécimen recubierto con parafina en agua, pésese el espécimen parafinado dentro de un baño de agua a 25°C y désígnese este peso como E.

Cálculos

Calcular la gravedad específica aparente del espécimen cubierto como sigue:

$$\text{Gravedad específica aparente} = \frac{A}{D - E - \frac{(D - A)}{F}}$$

Donde:

A = masa del espécimen seco en el aire, g,

D = masa del espécimen seco cubierto, g,

E = masa del espécimen cubierto dentro del agua, g,

F = gravedad específica de revestimiento determinada a 25 °C

Calcular la densidad del espécimen como sigue:

$$\text{Densidad} = \text{Gravedad específica aparente} * \gamma$$

Donde:

γ = Densidad del agua a 25 °C (997,0 kg/m³).

3.5.1.6. Espesor o altura de especímenes compactados de mezclas de pavimento asfáltico MTC-E 507

ASTM D 3549: “Standard Test Method for Thickness or Height of Compacted Bituminous Paving Mixture Specimens”

a. Objetivo:

Determinar el espesor (o altura) de los especímenes de mezclas compactada de pavimento bituminoso.

b. Equipo:

- Una regla o cinta metálica (wincha)
- Un juego de calibradores

Una guía u otro dispositivo, fabricado de tal manera que puedan medirse los espesores del espécimen de acuerdo con este procedimiento.

De acuerdo con los requerimientos, las unidades de medida y las subdivisiones serán como sigue:

- Cuando se especifiquen pulgadas y fracciones, el aparato deberá medir hasta 1/16 pulg.
- Cuando se especifiquen pulgadas y porciones decimales, el aparato deberá medir hasta 0,05 pulg.
- Cuando se especifiquen porciones decimales de pies, el aparato deberá medir hasta 0,005 ft.
- Cuando se especifiquen centímetros, el aparato deberá medir hasta 0,10 cm.

c. Procedimiento:

Los especímenes de ensayo deberán provenir de pavimentos asfálticos recién compactados o que provengan del laboratorio.

El espesor de especímenes con superficies relativamente planas o capas muy bien definidas, líneas de demarcación uniforme puede medirse con una cinta, regla o calibradores de acuerdo con lo siguiente:

Efectúense las mediciones aproximadamente en forma perpendiculares al plano superior del espécimen. Medir entre las superficies superior e inferior, entre una línea de demarcación de construcción bien definida y la superficie superior o inferior o entre dos líneas de demarcación de construcción, bien definidas.

Efectúense cuatro mediciones. Regístrese como espesor del espécimen, el promedio de estas medidas.

El espesor promedio de especímenes con superficies relativamente planas puede medirse por medio de guías de medidas u otros dispositivos adecuados, con tal que el dispositivo produzca resultados consistentes dentro de $\pm 0,05''$ ($\pm 0,13$ cm)

Determinar el área en cm^2 de un plano horizontal a través del espécimen aproximadamente equidistante de la superficie superior y de la inferior y aproximadamente perpendicular a sus lados verticales.

Determinar el volumen en cm³ del espécimen mediante los métodos de ensayo D 1188 o D2726.

$$Volumen = \frac{D - E - \frac{D - A}{F}}{1} \text{ ó } \frac{B - C}{1}$$

Donde el denominador es el peso unitario del agua en g/cm³, el cual se considera igual a la unidad para los fines de esta norma

Calcular el espesor promedio de espécimen en la siguiente forma:

$$Espesor = \frac{Volumen(cm^3)}{Area(cm^2)}$$

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS Y RESULTADOS

4.1. Propiedades Físico-mecánicas del material de cantera

4.1.1. Análisis granulométrico por tamizado

Se preparó la muestra por el método de muestreo, se homogenizó en estado húmedo, para luego reducirla según el método de cuarteo a tamaño de ensayo (T 248), se introdujo al horno a una temperatura de 120 °C por 24 horas.

Para determinar la granulometría del agregado se pesó una muestra del mismo banco para luego lavarla por la malla N° 200 y secarla al horno, que equivale al peso seco lavado, el agregado determinado se utilizó en la granulometría.



Figura 24. Cantera de donde se extrajo las muestras.

En las Tablas de esta subsección se muestra el resumen de los ensayos para las 04 muestras de cantera, material chancado y material zarandeado. Las muestras fueron extraídas de dos fuentes de acopio, una para material chancado y otro para material natural zarandeado.



Figura 25. Muestras de material chancado y material natural zarandeado.

El material de piedra crushing, arena natural zarandeado y arena procesada crushing proviene de la cantera Matahuasi-Concepción. Estas fueron

procesados con las mallas indicados por el manual de ensayo de materiales del ministerio de transporte.

Este proceso fue uno de los más tediosos ya que se tuvo que separar las partículas pasante y retenida, luego ensamblar las cantidades en medidas exactas, para poder tener la granulometría media teórica del uso para mezcla asfáltica en frío.

Luego de ensamblado la mezcla teórica, se procedió a realizar nuevamente el zarandeo para verificar la mezcla física real.

Tabla 12
Resultados de la granulometría para piedra chancada de ¾" – 1"

Malla		Peso retenido	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% que pasa
Nº	Abertura (mm)				
3 "	76.200				100.00
2 "	50.800				100.00
1 1/2 "	38.100				100.00
1 "	25.400	0.0			100.00
3/4"	19.100	978.0	19.56	19.56	100.00
1/2"	12.700	867.0	17.34	17.34	82.66
3/8"	9.525	811.0	16.22	33.56	66.44
1/4"	6.300	770.0	15.40	48.96	51.04
Nº 4	4.760	653.0	13.06	62.02	37.98
Nº 8	2.000	576.0	11.52	73.54	26.46
Nº 30	0.420	265.0	5.30	78.84	21.16
Nº 100	0.180	55.0	1.10	79.94	20.06
Nº 200	0.074	25.0	0.50	80.44	19.56
< Nº 200	FONDO	0.0	-	80.44	19.56
	TOTAL	5000.0			

Fuente: Elaboración propia.

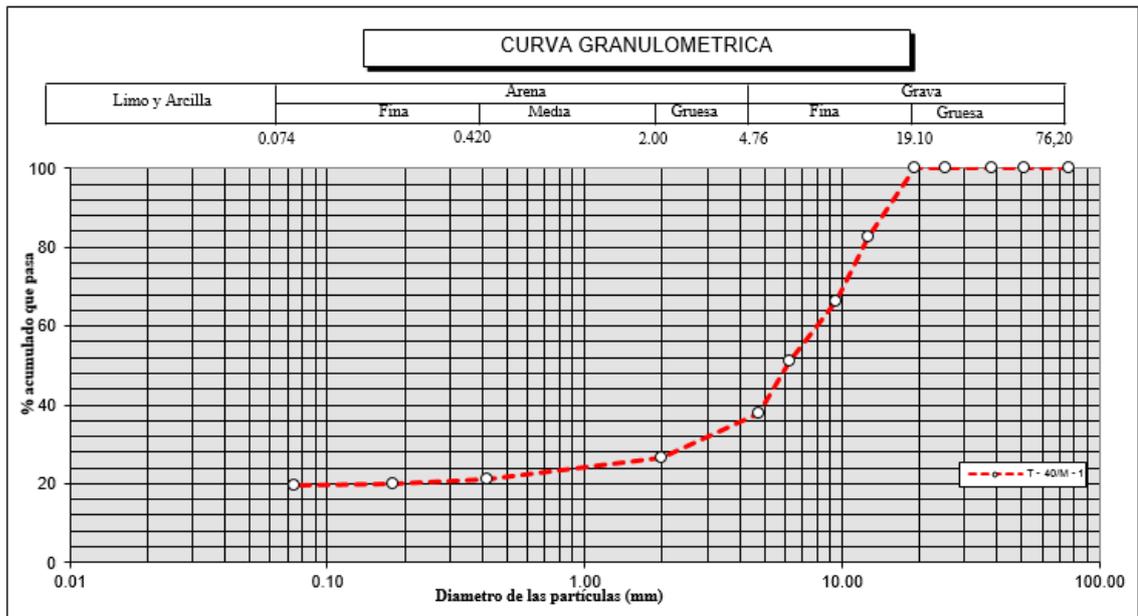


Figura 26. Curva granulométrica para piedra chancada de 3/4" – 1"
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13.
Resultados de la granulometría para piedra chancada de 1/2" – 3/4"

Malla		Peso retenido	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% que pasa
N°	Abertura (mm)				
3 "	76.200				100.00
2 "	50.800				100.00
1 1/2 "	38.100				100.00
1 "	25.400	0.0			100.00
3/4"	19.100	0.0	-	-	100.00
1/2"	12.700	2015.0	40.30	40.30	59.70
3/8"	9.525	1505.0	30.10	70.40	29.60
1/4"	6.300	1460.0	29.20	99.60	0.40
N° 4	4.760	20.0	0.40	100.00	-
N° 8	2.000		-	100.00	-
N° 30	0.420		-	100.00	-
N° 80	0.180		-	100.00	-
N° 200	0.074		-	100.00	-
< N° 200	FONDO		-	100.00	-
TOTAL		5000.0			

Fuente: Elaboración propia.

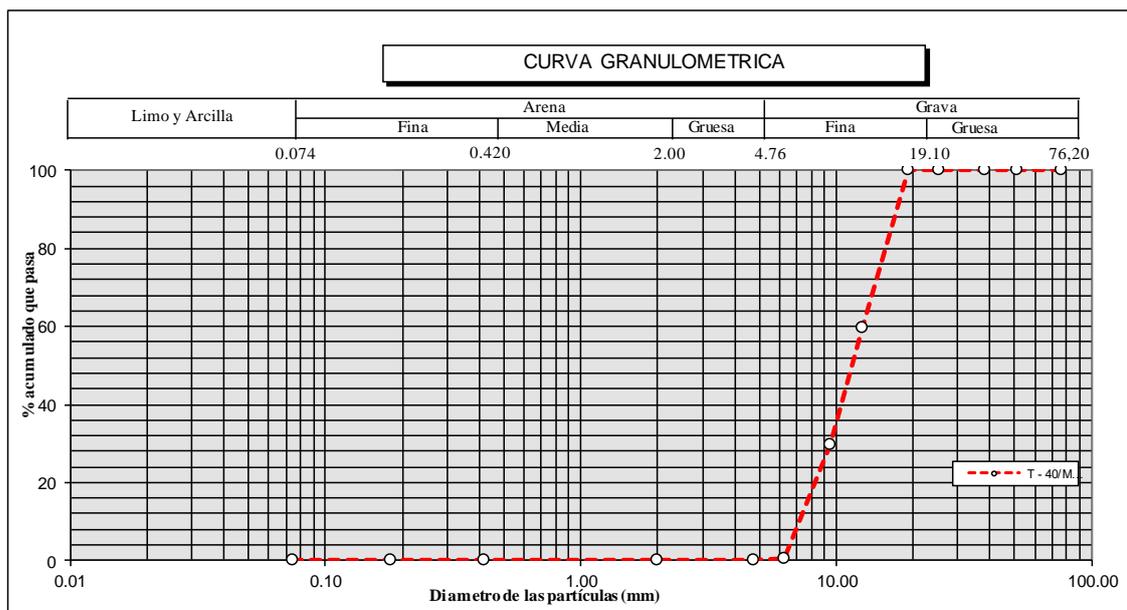


Figura 27: Curva granulométrica para piedra chancada de ½” – ¾”
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14.
Resultados de la granulometría para arena natural zarandeada

Malla		Peso retenido	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% que pasa
N°	Abertura (mm)				
3 "	76.200	0.0			100.00
2 "	50.800				100.00
1 1/2 "	38.100				100.00
1 "	25.400	0.0			100.00
3/4"	19.100	0.0	-	-	100.00
1/2"	12.700	0.0	-	-	100.00
3/8"	9.525	0.0	-	-	100.00
1/4"	6.300	0.0	-	-	100.00
N° 4	4.760	170.0	3.40	3.40	96.60
N° 8	2.000	1280.0	25.60	29.00	71.00
N° 30	0.420	2730.0	54.60	83.60	16.40
N° 100	0.180	665.0	13.30	96.90	3.10
N° 200	0.074	125.0	2.50	99.40	0.60
< N° 200	FONDO	30.0	0.60	100.00	-
	TOTAL	5000.0			

Fuente: Elaboración propia.

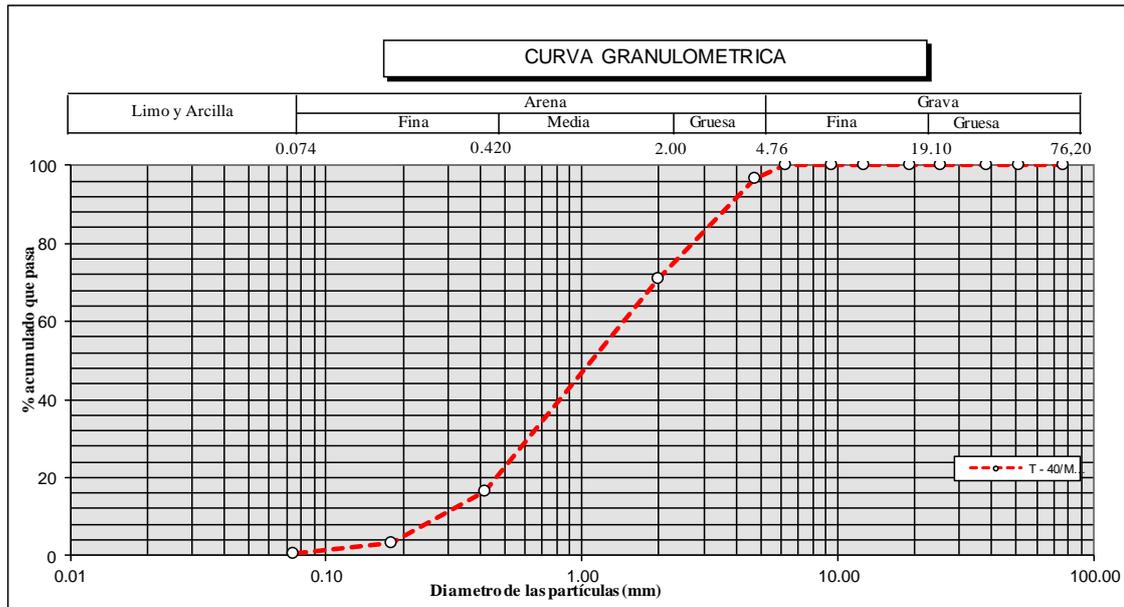


Figura 28. Curva granulométrica para arena natural zarandeada
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15.
Resultados de la granulometría para arena procesada crushing

N°	Malla	Peso retenido	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% que pasa
	Abertura (mm)				
3 "	76.200	0.0			100.00
2 "	50.800				100.00
1 1/2 "	38.100				100.00
1 "	25.400	0.0			100.00
3/4"	19.100	0.0	-	-	100.00
1/2"	12.700	0.0	-	-	100.00
3/8"	9.525	0.0	-	-	100.00
1/4"	6.300	0.0	-	-	100.00
N° 4	4.760	480.0	9.60	9.60	90.40
N° 8	2.000	1080.0	21.60	31.20	68.80
N° 30	0.420	1845.0	36.90	68.10	31.90
N° 100	0.106	1270.0	25.40	93.50	6.50
N° 200	0.074	250.0	5.00	98.50	1.50
< N° 200	FONDO	75.0	1.50	100.00	-
	TOTAL	5000.0			

Fuente: Elaboración propia.

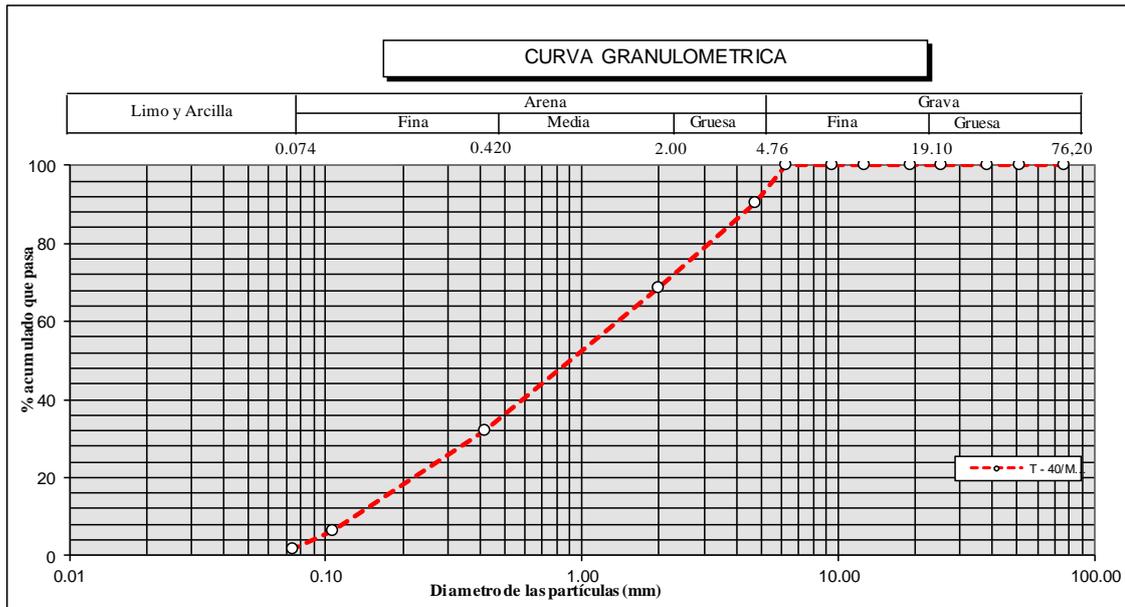


Figura 29. Curva granulométrica para arena procesada crushing
Fuente: Elaboración propia.

Para la mezcla final del agregado se probó con varios métodos de mezcla dando valores lejanos a la curva ideal, se probó el método analítico y el método de tanteo.

Dado que el diseño de mezcla con porcentaje a tanteo no cumple dentro de la granulometría de la Especificación Técnica, se trabajó con la curva óptima de la norma.



Figura 30. Agregado final analizado.

Tabla 16.
Resultados de la granulometría para las especificaciones técnicas

TAMIZ		Especificaciones Técnicas (MTC)			Especificaciones Técnicas (MTC)		
		MDF - 2			MDF - 2		
		PASANTE			RETENIDO		
Normal	Alterno	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
7.500	1 1/2"	100	100	100	0	0	0
25.000	1"	100	100	100	0	0	0
19.000	3/4"	80	95	87.5	20	5	12.5
12.500	1/2"	73	82	77.5	27	18	22.5
9.500	3/8"	60	75	67.5	40	25	32.5
4.750	N° 4	47	62	54.5	53	38	45.5
2.360	N° 8	35	50	42.5	65	50	57.5
0.300	N° 50	13	23	18	87	77	82
0.075	N° 200	3	8	5.5	97	92	94.5
0.001	>N° 200	0	0	0	100	100	100

Fuente: Elaboración propia.

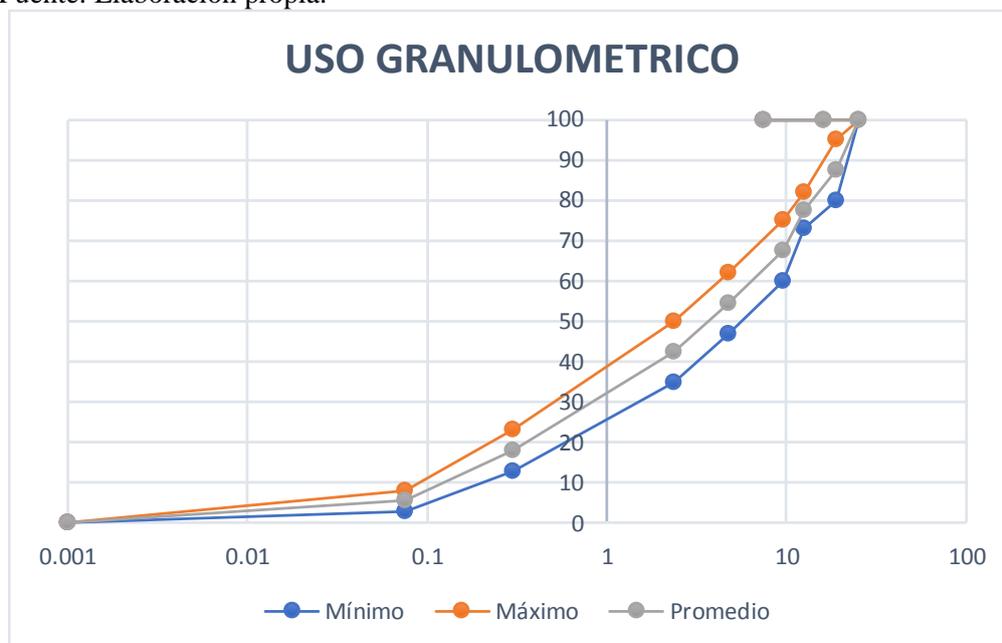


Figura 31. Curva granulométrica según especificaciones técnicas MTC, y el promedio.

Fuente: Elaboración propia.

La gráfica representa el uso granulométrico establecido por el Ministerio de Transportes, Especificaciones Técnicas (MTC) MDF – 2, que ha sido establecido para elaborar mezcla asfáltica en frío.

Para nuestra investigación se ha procurado reproducir las condiciones ideales, por lo que se ha construido la granulometría promedio ideal para

elaborar nuestros especímenes, con esta distribución granulométrica artificial se le agregará el % de asfalto óptimo obteniendo del diseño de Marshall, que será tomado como el estándar para la elaboración de 140 briquetas que serán examinadas, variando el tiempo de compactación.

4.1.2. Procedimiento de elaboración del espécimen

Cada espécimen se elaboró de la siguiente manera:

Primero se pesó 1250 gramos de material mezclado, luego se colocó una hoja en la base de la briqueta para que no se adhiera entre el espécimen y el molde, a fin de que no exista desmoronamiento. Posteriormente se vertió el material mezclado en la briqueta, en seguida se chuseo para eliminar vacíos grandes en la mezcla con la finalidad de obtener una forma homogénea. También se colocó una hoja en la otra cara del espécimen para compactarla, se realizó 75 golpes con el martillo Marshall de compactación en ambas caras de las briquetas, recibiendo en total 150 impactos. Después de la compactación el espécimen es extraído de la briqueta con la máquina desmoldadora.



Figura 32. Elaboración del espécimen.

4.1.3. Ensayo de Resistencia Mediante el Aparato Marshall

Los resultados de la gradación media para los ensayos han sido proporcionados para los 04 tipos de material, según malla. En las Tablas 17 al 22 se muestran las distribuciones granulométricas en gramos para cada muestra, con el objetivo de hallar el contenido de asfalto óptimo y sus parámetros, la arena natural zarandeada está en un 35% de la arena total y en un 23.6% del material en conjunto, mientras que la arena procesada crushing el 65% de la arena total y en un 43.9% del material en conjunto.

Según Otiniano y Paria (2016), el porcentaje óptimo de asfalto varía alrededor de 7.5%, por lo tanto, tomamos porcentajes desde 6% hasta 8.5%.

Tabla 17.

Porcentajes por tipo de material y peso según malla para 6 % de emulsión.

Porcentaje emulsión	6.0%	Emulsión	75	gramos
Peso Total	1250 gr	N° Muestras	1	muestras
		Muestra material	1175	gramos

Tamiz	Retenido	Peso por malla	3/4"	3/8"	ARENA NAT	ARENA CH	
3/4"	12.5	146.9	146.9				
1/2"	0.0	-					
3/8"	20.0	235.0		235.0			
N° 4	13.0	152.8			53.5	99.3	
N° 8	12.0	141.0			49.4	91.7	
N° 10	0.0	-			-	-	
N° 16	0.0	-			-	-	
N° 30	0.0	-			-	-	
N° 40	0.0	-			-	-	
N° 50	24.5	287.9			100.8	187.1	
N° 80	0.0	-			-	-	
N° 100	0.0	-			-	-	
N° 200	12.5	146.9			51.4	95.5	
pasa	5.5	64.6			22.6	42.0	
Suma:		En gramos	146.9	235.0	277.6	515.5	
			1,175.0	12.5%	20.0%	23.6%	43.9%

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 17 indica los pesos exactos de agregado por malla, para una briqueta de peso total 1250 gr, con un % de emulsión asfáltica de 6.00%. con 12.5% de piedra de 3/4", 20% de piedra de 3/8", 23.60 % de arena zarandeada y 43.90% de arena chancada. Los cuales suman 1,175 gr y 75 gr de emulsión asfáltica.

Tabla 18
Porcentajes por tipo de material y peso según malla para 6.5 % de emulsión.

Porcentaje emulsión	6.5%	Emulsión	81.25	gramos		
Peso Total	1250 gr	N° Muestras	1	muestras		
		Muestra material	1168.75	gramos		

Tamiz	Retenido	Peso por malla	3/4"	3/8"	ARENA NAT	ARENA CH	
3/4"	12.5	146.1	146.1				
1/2"	0.0	-					
3/8"	20.0	233.8		233.8			
N° 4	13.0	151.9			53.2	98.8	
N° 8	12.0	140.3			49.1	91.2	
N° 10	0.0	-			-	-	
N° 16	0.0	-			-	-	
N° 30	0.0	-			-	-	
N° 40	0.0	-			-	-	
N° 50	24.5	286.3			100.2	186.1	
N° 80	0.0	-			-	-	
N° 100	0.0	-			-	-	
N° 200	12.5	146.1			51.1	95.0	
pasa	5.5	64.3			22.5	41.8	
Suma:		En gramos	146.1	233.8	276.1	512.8	
			1,168.8	12.5%	20.0%	23.6%	43.9%

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 18 indica los pesos exactos de agregado por malla, para una briqueta de peso total 1250 gr, con un % de emulsión asfáltica de 6.50%. con 12.5% de piedra de 3/4", 20% de piedra de 3/8", 23.60 % de arena zarandeada y 43.90% de arena chancada. Los cuales suman 1,168.75 gr y 81.25 gr de emulsión asfáltica.

Tabla 19

Porcentajes por tipo de material y peso según malla para 7 % de emulsión.

Porcentaje emulsión	7.0%	Emulsión	87.5	gramos
Peso Total	1250	gr	N° Muestras	1
			Muestra material	1162.5
				gramos

Tamiz	Retenido	Peso por malla	3/4"	3/8"	ARENA NAT	ARENA CH
3/4"	12.5	145.3	145.3			
1/2"	0.0	-				
3/8"	20.0	232.5		232.5		
N° 4	13.0	151.1			52.9	98.2
N° 8	12.0	139.5			48.8	90.7
N° 10	0.0	-			-	-
N° 16	0.0	-			-	-
N° 30	0.0	-			-	-
N° 40	0.0	-			-	-
N° 50	24.5	284.8			99.7	185.1
N° 80	0.0	-			-	-
N° 100	0.0	-			-	-
N° 200	12.5	145.3			50.9	94.5
pasa	5.5	63.9			22.4	41.6
Suma:		En gramos	145.3	232.5	274.6	510.0
			1,162.5	12.5%	20.0%	23.6%

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 19 indica los pesos exactos de agregado por malla, para una briqueta de peso total 1250 gr, con un % de emulsión asfáltica de 7.0%. con 12.5% de piedra de 3/4", 20% de piedra de 3/8", 23.60 % de arena zarandeada y 43.90% de arena chancada. Los cuales suman 1,162.50 gr y 87.50 gr de emulsión asfáltica.

Tabla 20

Porcentajes por tipo de material y peso según malla para 7.5 % de emulsión.

Porcentaje emulsión	7.5%	Emulsión	93.75	gramos
Peso Total	1250 gr	N° Muestras	1	muestras
		Muestra material	1156.25	gramos

Tamiz	Retenido	Peso por malla	3/4"	3/8"	ARENA NAT	ARENA CH
3/4"	12.5	144.5	144.5			
1/2"	0.0	-				
3/8"	20.0	231.3		231.3		
N° 4	13.0	150.3			52.6	97.7
N° 8	12.0	138.8			48.6	90.2
N° 10	0.0	-			-	-
N° 16	0.0	-			-	-
N° 30	0.0	-			-	-
N° 40	0.0	-			-	-
N° 50	24.5	283.3			99.1	184.1
N° 80	0.0	-			-	-
N° 100	0.0	-			-	-
N° 200	12.5	144.5			50.6	93.9
pasa	5.5	63.6			22.3	41.3
Suma:		En gramos	144.5	231.3	273.2	507.3
			1,156.3	12.5%	20.0%	23.6%

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 20 indica los pesos exactos de agregado por malla, para una briqueta de peso total 1250 gr, con un % de emulsión asfáltica de 7.50%. con 12.5% de piedra de 3/4", 20% de piedra de 3/8", 23.60 % de arena zarandeada y 43.90% de arena chancada. Los cuales suman 1,156.25 gr y 93.75 gr de emulsión asfáltica.

Tabla 21

Porcentajes por tipo de material y peso según malla para 8 % de emulsión.

Porcentaje emulsión	8.0%	Emulsión	100	gramos
Peso Total	1250	gr	N° Muestras	1
			Muestra material	1150
				gramos

Tamiz	Retenido	Peso por malla	3/4"	3/8"	ARENA NAT	ARENA CH
3/4"	12.5	143.8	143.8			
1/2"	0.0	-				
3/8"	20.0	230.0		230.0		
N° 4	13.0	149.5			52.3	97.2
N° 8	12.0	138.0			48.3	89.7
N° 10	0.0	-			-	-
N° 16	0.0	-			-	-
N° 30	0.0	-			-	-
N° 40	0.0	-			-	-
N° 50	24.5	281.8			98.6	183.1
N° 80	0.0	-			-	-
N° 100	0.0	-			-	-
N° 200	12.5	143.8			50.3	93.4
pasa	5.5	63.3			22.1	41.1
Suma:		En gramos	143.8	230.0	271.7	504.6
			1,150.0	12.5%	20.0%	23.6%

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 21 indica los pesos exactos de agregado por malla, para una briqueta de peso total 1250 gr, con un % de emulsión asfáltica de 8.0%. con 12.5% de piedra de 3/4", 20% de piedra de 3/8", 23.60 % de arena zarandeada y 43.90% de arena chancada. Los cuales suman 1,115.00 gr y 100.00 gr de emulsión asfáltica.

Tabla 22

Porcentajes por tipo de material y peso según malla para 8.5 % de emulsión.

Porcentaje emulsión	8.5%	Emulsión	106.25	gramos
Peso Total	1250	gr	N° Muestras	1
			Muestra material	1143.75
				gramos

Tamiz	Retenido	Peso por malla	3/4"	3/8"	ARENA NAT	ARENA CH
3/4"	12.5	143.0	143.0			
1/2"	0.0	-				
3/8"	20.0	228.8		228.8		
N° 4	13.0	148.7			52.0	96.6
N° 8	12.0	137.3			48.0	89.2
N° 10	0.0	-			-	-
N° 16	0.0	-			-	-
N° 30	0.0	-			-	-
N° 40	0.0	-			-	-
N° 50	24.5	280.2			98.1	182.1
N° 80	0.0	-			-	-
N° 100	0.0	-			-	-
N° 200	12.5	143.0			50.0	92.9
pasa	5.5	62.9			22.0	40.9
Suma:		En gramos	143.0	228.8	270.2	501.8
			12.5%	20.0%	23.6%	43.9%

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 22 indica los pesos exactos de agregado por malla, para una briqueta de peso total 1250 gr, con un % de emulsión asfáltica de 8.50%. con 12.5% de piedra de 3/4", 20% de piedra de 3/8", 23.60 % de arena zarandeada y 43.90% de arena chancada. Los cuales suman 1,143.75 gr y 106.25 gr de emulsión asfáltica.



Figura 33. Especímenes con diferentes porcentajes de emulsión.

La Tabla 23 muestra los resultados obtenidos en el ensayo Marshall y los ensayos para densidad, porcentaje de vacíos.

Tabla 23.
Resumen de Ensayo Marshall

ASTM D-2041	2.515	2.498	2.481	2.462	2.442	2.423
ASFALTO						
ABSORBIDO	0.05	0.09	0.12	0.12	0.10	0.07
C.A.	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5
PESO						
UNITARIO	2.325	2.337	2.355	2.365	2.361	2.359
VACIOS	6.8	5.9	4.3	2.5	2.0	1.1
V.M.A.	16.9	16.4	16.2	16.0	16.2	16.8
V.LL.C.A.	62.1	62.1	71.8	79.8	86.3	93.6
FLUJO	5.00	6.50	6.30	7.00	6.50	8.00
ESTABILIDAD	2245	2273	2317	2326	2307	2285

Fuente: Elaboración propia.



Figura 34.
Posicionamiento para determinar las propiedades mecánicas.

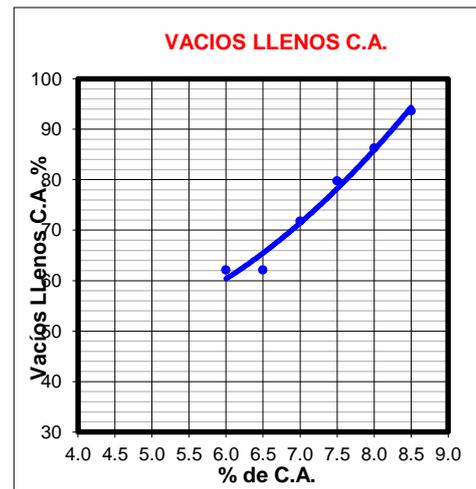
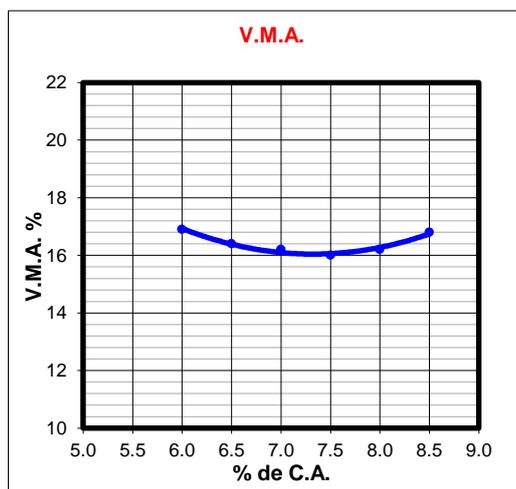
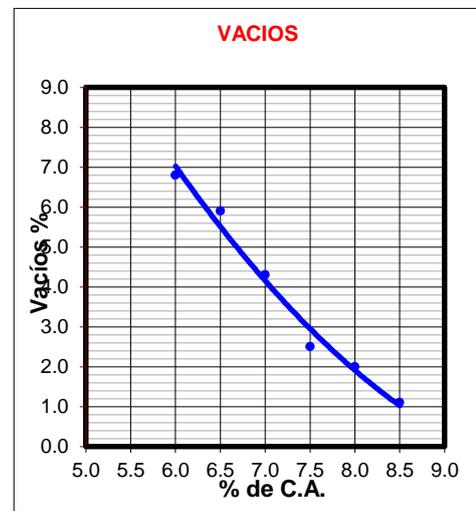
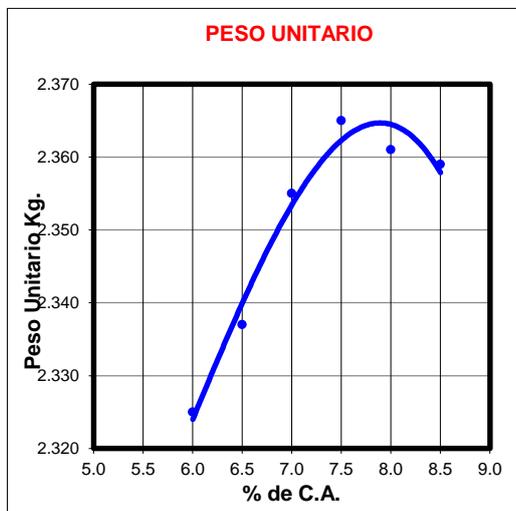
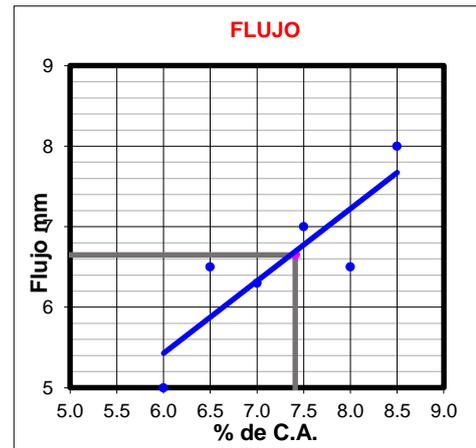
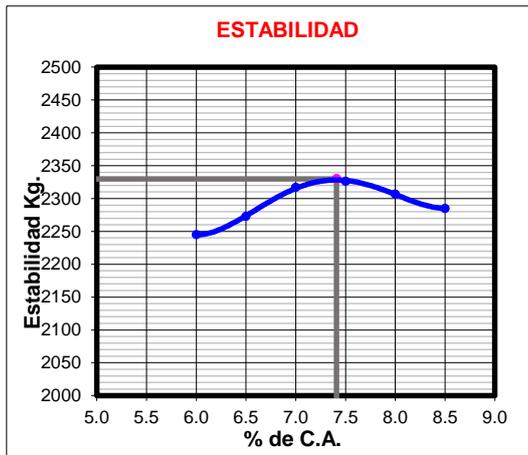


Figura 35. Aquí el análisis de las propiedades mecánicas para el contenido de asfalto óptimo.

Fuente: Elaboración propia

La figura 35 muestra los resultados gráficos del método de Marshall que indica las 6 principales características; estabilidad, flujo, peso unitario, volumen de vacíos, VMA y vacíos llenos C.A.

Estos gráficos nos ayudaron a determinar el óptimo contenido de asfalto que, según el gráfico obtenido de los cálculos efectuados a las muestras ensayadas, según las cuales el óptimo contenido de asfalto es 7.41%.

En la Tabla 24 mostramos el resultado de los ensayos tomados en campo para hallar el porcentaje de asfalto óptimo, el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica resulta de 7.41%. también se ha verificado que se encuentran dentro de los criterios que recomienda el manual de especificaciones técnicas del ministerio de transportes y comunicaciones.

Tabla 24.

El cuadro de resultados proviene de los gráficos realizados para distintos porcentajes de emulsión.

RESUMEN DE RESULTADOS				
	-0.20%	ÓPTIMO % C.A.	0.20%	ESPECIFICACIÓN
GOLPES POR LADO	75	75	75	75
CEMENTO ASFÁLTICO	7.40	7.41	7.41	(+/- 0.2%)
PESO UNITARIO	2.360	2.365	2.370	
VACIOS	3.2	3.20	3.70	3-5
V.M.A.	15.97	16.0	16.03	Min 14
VACIOS LLENOS CON C.A.	76.05	76.2	76.35	
FLUJO	6.64	6.65	6.66	8 - 18
ESTABILIDAD	2325.34	2330	2334.66	Min. 500 lb
Finos / Ligante		1.11		0.6 - 1.3

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, con este diseño se procedió a elaborar las 140 briquetas de asfalto con el diseño óptimo obtenido, los cuales serán ensayados variando los tiempos de compactación, estas briquetas contienen el mismo diseño, esto

permitirá evaluarlos bajo las mismas condiciones y cambiar la variable de tiempo de compactación que en teoría debe de tener una relación estrecha con el tiempo de rotura de la emulsión CSS-1h.

4.2. Moldeo para diseño Marshall para mezclas con un 7.41% de emulsión asfáltica.

El Moldeo se realizó con una mezcladora en tres tandas con variación de 10 minutos cada uno, se usó el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica, hallado en el ítem 4.1.3 de la presente Tesis.

Tabla 25.

Porcentajes por tipo de material y peso según malla para % emulsión asfáltica óptima.

Porcentaje emulsión	7.41%		N° Muestras	140	muestras	
			Peso Total	175	Kg	
Tamiz	Retenido	Peso por malla	3/4"	3/8"	ARENA NAT	ARENA CH
3/4"	12.5	21.88	21.88			
1/2"	0.0	-				
3/8"	20.0	35.00		35.00		
N° 4	13.0	22.75			7.96	14.79
N° 8	12.0	21.00			7.35	13.65
N° 10	0.0	-			-	-
N° 16	0.0	-			-	-
N° 30	0.0	-			-	-
N° 40	0.0	-			-	-
N° 50	24.5	42.88			15.01	27.87
N° 80	0.0	-			-	-
N° 100	0.0	-			-	-
N° 200	12.5	21.88			7.66	14.22
pasa	5.5	9.63			3.37	6.26
Suma:		En Kg	21.9	35.0	41.3	76.8
		175.0	12.5%	20.0%	23.6%	43.9%

Fuente: Elaboración propia

La tabla 25 indica los pesos exactos de agregado por malla, para la briqueta de diseño óptimo de peso total 1250 gr, con un % de emulsión asfáltica de 7.41%. con 12.5% de piedra de 3/4", 20% de piedra de 3/8", 23.60 % de arena zarandeada y 43.90% de arena chancada. Los cuales suman 1,157.25 gr y 92.75 gr de emulsión asfáltica

Una vez hecho todos los moldes a un porcentaje de 7.41 % de emulsión asfáltica procedemos a medir las alturas respectivas para hallar el factor de corrección para estabilidad de cada muestra tomadas en campo. Para luego pasar a hacer la prueba de densidad, estabilidad y fluencia.

Esta corrección expresada en el factor de corrección de estabilidad, se debe a que los moldes pueden tener variaciones pequeñas en sus dimensiones que pueden tener efectos en el valor de la estabilidad, ya que especímenes más pequeños pueden dar valores bajos de estabilidad y especímenes más grandes pueden dar valores mayores, en tal sentido el factor de corrección permitirá corregir esta variación. Las correcciones se realizaron para todas las briquetas, sin embargo, se agruparon de 10 en 10, puesto que es el número de briquetas que se eligió para cada diferencial de tiempo.



Figura 36. Especímenes realizados a diferentes intervalos de tiempo.

Tabla 26.

Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 02 horas.

TIEMPO DE MOLDEO			02 HORAS
-------------------------	--	--	----------

DIÁMETRO : 10.16

	h1	h2	h3	h4	H PROMEDIO	VOLUMEN	F. CORRECCIÓN
01	6.4	6.5	6.6	6.4	6.475	525.00	0.96
02	6.5	6.5	6.9	6.3	6.55	531.00	0.96
03	6.5	6.5	6.4	6.5	6.475	525.00	0.96
04	6.5	6.3	6.4	6.5	6.425	521.00	1.00
05	6.6	6.6	6.3	4.3	5.95	482.00	1.14
06	6.6	6.4	6.3	6.6	6.475	525.00	0.96
07	6.4	6.6	6.6	6.5	6.525	529.00	0.96
08	6.6	6.4	6.5	6.5	6.5	527.00	0.96
09	6.4	6.3	6.2	3.9	5.7	462.00	1.19
10	6.2	6.7	6.8	6.6	6.575	533.00	0.96

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27.

Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 04 horas.

TIEMPO DE MOLDEO			04 HORAS
-------------------------	--	--	----------

	h1	h2	h3	h4	H PROMEDIO	VOLUMEN	F. CORRECCIÓN
01	6.5	6.4	6.6	6.7	6.55	531.00	0.96
02	6.4	6.4	6.3	6.4	6.375	517.00	1.00
03	6.5	6.4	6.4	6.5	6.45	523.00	0.96
04	6.7	6.6	6.2	6.7	6.55	531.00	0.96
05	6.5	6.6	6.6	6.3	6.5	527.00	0.96
06	6.4	6.3	6.5	6.5	6.425	521.00	1.00
07	6.5	6.4	6.5	6.7	6.525	529.00	0.96
08	6.7	6.4	6.4	6.3	6.45	523.00	0.96
09	6.4	6.4	6.5	6.5	6.45	523.00	0.96
10	6.5	6.4	6.7	6.6	6.55	531.00	0.96

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28.

Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 06 horas.

TIEMPO DE MOLDEO			06 HORAS
-------------------------	--	--	----------

	h1	h2	h3	h4	H PROMEDIO	VOLUMEN	F. CORRECCIÓN
01	6.3	6.5	6.5	6.2	6.375	517.00	1.00
02	6.6	6.4	6.3	6.5	6.45	523.00	0.96
03	6.5	6.4	6.5	6.5	6.475	525.00	0.96
04	6.6	6.7	6.4	6.6	6.575	533.00	0.96
05	6.7	6.6	6.5	6.6	6.6	535.00	0.96
06	6.4	6.4	6.5	6.5	6.45	523.00	0.96
07	6.6	6.4	6.2	6.3	6.375	517.00	1.00
08	6.6	6.4	6.6	6.4	6.5	527.00	0.96
09	6.5	6.4	6.4	6.2	6.375	517.00	1.00
10	6.4	6.4	6.6	6.4	6.45	523.00	0.96

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29.

Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 08 horas.

TIEMPO DE MOLDEO			08 HORAS
-------------------------	--	--	----------

	h1	h2	h3	h4	H PROMEDIO	VOLUMEN	F. CORRECCIÓN
01	6.5	6.5	6.4	6.4	6.45	523.00	0.96
02	6.6	6.6	6.6	6.5	6.575	533.00	0.96
03	6.6	6.3	6.2	6.4	6.375	517.00	1.00
04	6.5	6.4	6.4	6.3	6.4	519.00	1.00
05	6.4	6.4	6.5	6.5	6.45	523.00	0.96
06	6.7	6.5	6.6	6.7	6.625	537.00	0.93
07	6.3	6.5	6.3	6.4	6.375	517.00	1.00
08	6.5	6.5	6.6	6.6	6.55	531.00	0.96
09	6.4	6.3	6.4	6.4	6.375	517.00	1.00
10	6.4	6.3	6.3	6.4	6.35	515.00	1.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30

Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 10 horas.

TIEMPO DE MOLDEO			10 HORAS
-------------------------	--	--	----------

	h1	h2	h3	h4	H PROMEDIO	VOLUMEN	F. CORRECCIÓN
01	6.5	6.5	6.6	6.3	6.475	525.00	0.96
02	6.2	6.5	6.7	6.4	6.45	523.00	0.96
03	6.6	6.8	6.6	6.4	6.6	535.00	0.96
04	6.6	6.6	6.5	6.6	6.575	533.00	0.96
05	6.7	6.3	6.5	6.6	6.525	529.00	0.96
06	6.4	6.6	6.5	6.2	6.425	521.00	1.00
07	6.5	6.6	6.7	6.6	6.6	535.00	0.96
08	6.5	6.5	6.3	6.3	6.4	519.00	1.00
09	6.7	6.6	6.6	6.5	6.6	535.00	0.96
10	6.3	6.5	6.7	6.4	6.475	525.00	0.96

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31.

Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 12 horas.

TIEMPO DE MOLDEO			12 HORAS
-------------------------	--	--	----------

	h1	h2	h3	h4	H PROMEDIO	VOLUMEN	F. CORRECCIÓN
01	6.4	6.5	6.7	6.5	6.525	529.00	0.96
02	6.7	6.7	6.4	6.1	6.475	525.00	0.96
03	6.6	6.4	6.3	6.2	6.375	517.00	1.00
04	6.5	6.3	6.3	6.7	6.45	523.00	0.96
05	6.4	6.3	6.6	6.5	6.45	523.00	0.96
06	6.4	6.4	6.7	6.6	6.525	529.00	0.96
07	6.7	6.6	6.3	6.5	6.525	529.00	0.96
08	6.5	6.7	6.7	6.3	6.55	531.00	0.96
09	6.6	6.6	6.5	6.5	6.55	531.00	0.96
10	6.3	6.4	6.6	6.5	6.45	523.00	0.96

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32.

Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 14 horas.

TIEMPO DE MOLDEO			14 HORAS
-------------------------	--	--	----------

	h1	h2	h3	h4	H PROMEDIO	VOLUMEN	F. CORRECCIÓN
01	6.8	6.5	6.4	6.5	6.55	531.00	0.96
02	6.4	6.5	6.3	6.3	6.375	517.00	1.00
03	6.4	6.4	6.3	6.5	6.4	519.00	1.00
04	6.6	6.7	6.3	6.5	6.525	529.00	0.96
05	6.1	6.3	6.6	6.5	6.375	517.00	1.00
06	6.3	6.4	6.6	6.5	6.45	523.00	0.96
07	6.3	6.5	6.4	6.2	6.35	515.00	1.00
08	6.3	6.3	6.5	6.6	6.425	521.00	1.00
09	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	519.00	1.00
10	6.5	6.5	6.2	6.2	6.35	515.00	1.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33.

Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 16 horas.

TIEMPO DE MOLDEO			16 HORAS
-------------------------	--	--	----------

	h1	h2	h3	h4	H PROMEDIO	VOLUMEN	F. CORRECCIÓN
01	6.5	6.3	6.4	6.4	6.4	519.00	1.00
02	6.5	6.1	6	6.5	6.275	508.00	1.04
03	6.5	6.3	6.4	6.4	6.4	519.00	1.00
04	6.5	6.5	6.4	6.5	6.475	525.00	0.96
05	6.5	6.4	6.1	6.2	6.3	511.00	1.00
06	6.4	6.4	6.2	6.3	6.325	513.00	1.00
07	6.3	6.4	6.5	6.4	6.4	519.00	1.00
08	6.2	6.3	6.3	6.2	6.25	506.00	1.04
09	6.5	6.3	6.4	6.5	6.425	521.00	1.00
10	6.3	6.4	6.4	6.4	6.375	517.00	1.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34.

Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 18 horas.

TIEMPO DE MOLDEO			18 HORAS
-------------------------	--	--	----------

	h1	h2	h3	h4	H PROMEDIO	VOLUMEN	F. CORRECCIÓN
01	6.3	6.4	6.3	6.5	6.375	517.00	1.00
02	6.4	6.3	6.3	6.3	6.325	513.00	1.00
03	6.3	6.3	6.5	6.3	6.35	515.00	1.00
04	6.2	6.4	6.5	6.3	6.35	515.00	1.00
05	6.2	6	6.4	6.5	6.275	508.00	1.04
06	6.4	6.4	6.3	6.1	6.3	511.00	1.00
07	6.3	6.6	6.5	6.6	6.5	527.00	0.96
08	6.2	6.4	6.4	6	6.25	506.00	1.04
09	6.4	6.3	6.4	6.4	6.375	517.00	1.00
10	6.3	6.4	6.5	6.3	6.375	517.00	1.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35.

Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 20 horas.

TIEMPO DE MOLDEO			20 HORAS
-------------------------	--	--	----------

	h1	h2	h3	h4	H PROMEDIO	VOLUMEN	F. CORRECCIÓN
01	6.3	6.4	6.5	6.6	6.45	523.00	0.96
02	6.4	6.3	6.3	6.4	6.35	515.00	1.00
03	6.7	6.4	6.2	6.6	6.475	525.00	0.96
04	6.6	6.4	6.3	6.6	6.475	525.00	0.96
05	6.6	6.6	6.3	6.3	6.45	523.00	0.96
06	6.3	6.5	6.6	6.4	6.45	523.00	0.96
07	6.3	6.5	6.5	6.4	6.425	521.00	1.00
08	6.7	6.6	6.2	6.3	6.45	523.00	0.96
09	6.5	6.4	6.3	6.2	6.35	515.00	1.00
10	6.5	6.5	6.5	6.6	6.525	529.00	0.96

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36.

Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 24 horas.

TIEMPO DE MOLDEO			24 HORAS
-------------------------	--	--	----------

	h1	h2	h3	h4	H PROMEDIO	VOLUMEN	F. CORRECCIÓN
01	6.2	6.6	6.5	6.1	6.35	515.00	1.00
02	6.9	6.5	6.3	6.5	6.55	531.00	0.96
03	6.8	6.4	6.6	6.5	6.575	533.00	0.96
04	6.4	6.3	6.5	6.6	6.45	523.00	0.96
05	6.7	6.5	6.2	6.5	6.475	525.00	0.96
06	6.5	6.4	6.4	6.4	6.425	521.00	1.00
07	6.7	6.6	6.2	6.4	6.475	525.00	0.96
08	6.5	6.3	6.4	6.6	6.45	523.00	0.96
09	6.5	6.5	6.3	6.4	6.425	521.00	1.00
10	6.6	6.5	6.5	6.3	6.475	525.00	0.96

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37.

Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 36 horas.

TIEMPO DE MOLDEO			36 HORAS
-------------------------	--	--	----------

	h1	h2	h3	h4	H PROMEDIO	VOLUMEN	F. CORRECCIÓN
01	6.3	6.2	6.5	6.6	6.4	519.00	1.00
02	6.5	6.6	6.3	6.2	6.4	519.00	1.00
03	6.4	6.5	6.6	6.5	6.5	527.00	0.96
04	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	527.00	0.96
05	6.5	6.7	6.5	6.3	6.5	527.00	0.96
06	6.8	6.3	6.5	6.8	6.6	535.00	0.96
07	6.2	6.8	6.7	6.5	6.55	531.00	0.96
08	6.7	6.3	6.3	6.6	6.475	525.00	0.96
09	6.3	6.2	6.7	6.8	6.5	527.00	0.96
10	6.4	6.7	6.6	6.5	6.55	531.00	0.96

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38.

Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 48 horas.

TIEMPO DE MOLDEO			48 HORAS
-------------------------	--	--	----------

	h1	h2	h3	h4	H PROMEDIO	VOLUMEN	F. CORRECCIÓN
01	6.4	6.6	6.7	6.7	6.6	535.00	0.96
02	6.3	6.5	6.6	6.5	6.475	525.00	0.96
03	6.6	6.5	6.4	6.6	6.525	529.00	0.96
04	6.5	6.5	6.6	6.6	6.55	531.00	0.96
05	6.6	6.5	6.4	6.5	6.5	527.00	0.96
06	6.8	6.5	6.6	6.8	6.675	541.00	0.93
07	6.7	6.6	6.8	6.8	6.725	545.00	0.93
08	6.9	6.8	6.5	6.7	6.725	545.00	0.93
09	6.5	6.5	6.4	6.3	6.425	521.00	1.00
10	6.5	6.5	6.4	6.3	6.425	521.00	1.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39.

Lectura de alturas a 04 lados del molde, y su factor de corrección, moldeado a las 72 horas.

TIEMPO DE MOLDEO			72 HORAS
-------------------------	--	--	----------

	h1	h2	h3	h4	H PROMEDIO	VOLUMEN	F. CORRECCIÓN
01	6.8	6.7	6.8	6.5	6.7	543.00	0.93
02	6.6	6.5	6.9	6.8	6.7	543.00	0.93
03	6.5	6.9	6.9	6.7	6.75	547.00	0.89
04	6.8	6.8	6.8	6.7	6.775	549.00	0.89
05	6.9	6.9	6.8	6.9	6.875	557.00	0.89
06	6.6	6.9	6.8	6.8	6.775	549.00	0.89
07	6.6	6.6	6.7	6.7	6.65	539.00	0.93
08	6.7	6.8	6.8	6.9	6.8	551.00	0.89
09	6.6	6.9	6.7	6.9	6.775	549.00	0.89
10	6.7	6.8	6.8	6.6	6.725	545.00	0.93

Fuente: Elaboración propia

4.3. Ensayo de estabilidad de especímenes para diferentes tiempos de compactación

Previamente cada espécimen ha sido pesado para determinar su densidad (peso seco, saturado superficialmente seco, saturado superficialmente seco sumergido), medido la densidad respectiva antes de someterlo al ensayo Marshall de estabilidad y fluencia, se procede a temperar los especímenes, cabe resaltar que en las Tablas de este ítem se corrigen la Estabilidad de cada molde.



Figura 37: Especímen sometido a ensayo.

En este ensayo se midió la carga máxima que resiste el espécimen (la estabilidad de Marshall) y la deformación máxima (fluencia de Marshall)

Tabla 40.

Lectura de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 02 horas.

TIEMPO DE MOLDEO : 2H

ENSAYO	TOMA DE DATOS			CORRECCIÓN	
N° MUESTRA	CARGA	DEFORMACIÓN	DENSIDAD	FAC. CORRECCIÓN	EST. CORREGIDA
01	2228	8	2.398	0.96	2138.88
02	2263	7	2.395	0.96	2172.48
03	2202	7	2.347	0.96	2113.92
04	2437	7	2.395	1	2437
05	2480	6.5	2.394	1.14	2827.2
06	2214	8	2.305	0.96	2125.44
07	2327	7	2.386	0.96	2233.92
08	2259	8	2.3	0.96	2168.64
09	2376	7	2.394	1.19	2827.44
10	2493	8	2.323	0.96	2393.28

Fuente: Elaboración propia

La tabla 40 (especímenes que se compactaron a las 2h de mezclado) muestra los resultados de los 10 primeros especímenes, utilizándose los factores de corrección de estabilidad indicados anteriormente. Se puede apreciar que los valores de estabilidad varían de un mínimo de 2,113.92 kg y un máximo de 2,827.44 kg (valor pico), y una fluencia mínima de 6.5 mm y un máximo de 8 mm.

ESTABILIDAD CORREGIDA	
MÍNIMA	2113.92 kg
MÁXIMA	2827.44 kg
PROMEDIO	2343.82 kg
DESV. ESTÁNDAR	277.56 kg
TIEMPO COMPACTACIÓN	: 2H

Tabla 41.

Lectura de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 04 horas.

TIEMPO DE MOLDEO : 4H

ENSAYO N° MUESTRA	TOMA DE DATOS			CORRECCIÓN	
	CARGA	DEFORMACIÓN	DENSIDAD	FAC. CORRECCIÓN	EST. CORREGIDA
01	2448	8	2.339	0.96	2350.08
02	2311	7	2.394	1	2311
03	2444	6.5	2.392	0.96	2346.24
04	2465	8	2.398	0.96	2366.4
05	2381	8	2.399	0.96	2285.76
06	2310	7	2.356	1	2310
07	2383	8	2.352	0.96	2287.68
08	2254	8	2.305	0.96	2163.84
09	2430	7	2.343	0.96	2332.8
10	2328	7	2.362	0.96	2234.88

Fuente: Elaboración propia

La tabla 41 (especímenes que se compactaron a las 4h de mezclado) muestra los resultados de los 10 primeros especímenes, utilizándose los factores de corrección de estabilidad indicados anteriormente. Se puede apreciar que los valores de estabilidad varían de un mínimo de 2,163.84 kg y un máximo de 2,366.4 kg, y una fluencia mínima de 6.5 mm y un máximo de 8 mm.

ESTABILIDAD CORREGIDA	
MÍNIMA	2163.84 kg
MÁXIMA	2366.4 kg
PROMEDIO	2298.87 kg
DESV. ESTÁNDAR	60.99 kg
TIEMPO COMPACTACIÓN	: 4H

Tabla 42

Lectura de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 06 horas.

TIEMPO DE MOLDEO : 6 H

ENSAYO	TOMA DE DATOS			CORRECCIÓN	
N° MUESTRA	CARGA	DEFORMACIÓN	DENSIDAD	FAC. CORRECCIÓN	EST. CORREGIDA
01	2375	7	2.35	1	2375
02	2266	7	2.317	0.96	2175.36
03	2246	7	2.391	0.96	2156.16
04	2460	6.5	2.305	0.96	2361.6
05	2467	7	2.34	0.96	2368.32
06	2379	8	2.384	0.96	2283.84
07	2323	7	2.347	1	2323
08	2355	8	2.318	0.96	2260.8
09	2457	7	2.3	1	2457
10	2241	7	2.363	0.96	2151.36

Fuente: Elaboración propia

La tabla 42 (especímenes que se compactaron a las 6h de mezclado) muestra los resultados de los 10 primeros especímenes, utilizándose los factores de corrección de estabilidad indicados anteriormente. Se puede apreciar que los valores de estabilidad varían de un mínimo de 2,151.36 kg y un máximo de 2,375.0 kg, y una fluencia mínima de 6.5 mm y un máximo de 8 mm.

ESTABILIDAD CORREGIDA	
MÍNIMA	2151.36 kg
MÁXIMA	2457 kg
PROMEDIO	2291.24 kg
DESV. ESTÁNDAR	104.68 kg
TIEMPO COMPACTACIÓN	: 6H

Tabla 43.

Lectura de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 08 horas.

TIEMPO DE MOLDEO : 8H

ENSAYO N° MUESTRA	TOMA DE DATOS			CORRECCIÓN	
	CARGA	DEFORMACIÓN	DENSIDAD	FAC. CORRECCIÓN	EST. CORREGIDA
01	2343	7	2.351	0.96	2249.28
02	2386	8	2.355	0.96	2290.56
03	2334	7	2.348	1	2334
04	2415	8	2.348	1	2415
05	2240	6.5	2.357	0.96	2150.4
06	2481	8	2.358	0.93	2307.33
07	2326	7.5	2.356	1	2326
08	2413	7	2.358	0.96	2316.48
09	2287	8	2.356	1	2287
10	2437	7	2.357	1	2437

Fuente: Elaboración propia

La tabla 43 (especímenes que se compactaron a las 8h de mezclado) muestra los resultados de los 10 primeros especímenes, utilizándose los factores de corrección de estabilidad indicados anteriormente. Se puede apreciar que los valores de estabilidad varían de un mínimo de 2,150.50 kg y un máximo de 2,437.0 kg, y una fluencia mínima de 6.5 mm y un máximo de 8 mm.

ESTABILIDAD CORREGIDA	
MÍNIMA	2150.4 kg
MÁXIMA	2437.0 kg
PROMEDIO	2311.31 kg
DESV. ESTÁNDAR	80.34 kg
TIEMPO COMPACTACIÓN	: 8H

Tabla 44.
Lectura de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 10 horas.

TIEMPO DE MOLDEO : 10H

ENSAYO N° MUESTRA	TOMA DE DATOS			CORRECCIÓN	
	CARGA	DEFORMACIÓN	DENSIDAD	FAC. CORRECCIÓN	EST. CORREGIDA
01	2414	7	2.352	0.96	2317.44
02	2451	7	2.352	0.96	2352.96
03	2418	8	2.358	0.96	2321.28
04	2508.7	8	2.353	0.96	2408.35
05	2397.7	7.5	2.35	0.96	2301.79
06	2453.6	8	2.359	1	2453.6
07	2258.1	7	2.353	0.96	2167.78
08	2239.3	7.5	2.356	1	2239.3
09	2480.7	6.5	2.355	0.96	2381.47
10	2437	7	2.36	0.96	2339.52

Fuente: Elaboración propia

La tabla 44 (especímenes que se compactaron a las 10h de mezclado) muestra los resultados de los 10 primeros especímenes, utilizándose los factores de corrección de estabilidad indicados anteriormente. Se puede apreciar que los valores de estabilidad varían de un mínimo de 2,167.78 kg y un máximo de 2,453.60 kg, y una fluencia mínima de 6.5 mm y un máximo de 8 mm.

ESTABILIDAD CORREGIDA	
MÍNIMA	2167.78 kg
MÁXIMA	2453.6 kg
PROMEDIO	2328.35 kg
DESV. ESTÁNDAR	81.80 kg
TIEMPO COMPACTACIÓN	: 10H

Tabla 45.

Lectura de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 12 horas.

TIEMPO DE MOLDEO : 12H

ENSAYO N° MUESTRA	TOMA DE DATOS			CORRECCIÓN	
	CARGA	DEFORMACIÓN	DENSIDAD	FAC. CORRECCIÓN	EST. CORREGIDA
01	2352.2	8.1	2.359	0.96	2258.11
02	2496	8	2.353	0.96	2396.16
03	2211.7	7.6	2.349	1	2211.7
04	2496	7	2.359	0.96	2396.16
05	2259.4	6.4	2.35	0.96	2169.02
06	2517.7	8	2.358	0.96	2416.99
07	2426	8	2.348	0.96	2328.96
08	2578	7	2.359	0.96	2474.88
09	2476	7	2.354	0.96	2376.96
10	2567	7.4	2.357	0.96	2464.32

Fuente: Elaboración propia

La tabla 45 (especímenes que se compactaron a las 12h de mezclado) muestra los resultados de los 10 primeros especímenes, utilizándose los factores de corrección de estabilidad indicados anteriormente. Se puede apreciar que los valores de estabilidad varían de un mínimo de 2,162.02 kg y un máximo de 2,474.88 kg, y una fluencia mínima de 6.4 mm y un máximo de 8.1 mm.

ESTABILIDAD CORREGIDA	
MÍNIMA	2169.02 kg
MÁXIMA	2474.88 kg
PROMEDIO	2349.33 kg
DESV. ESTÁNDAR	104.83 kg
TIEMPO COMPACTACIÓN	: 12H

Tabla 46.

Lectura de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 14 horas.

TIEMPO DE MOLDEO : 14H

ENSAYO N° MUESTRA	TOMA DE DATOS			CORRECCIÓN	
	CARGA	DEFORMACIÓN	DENSIDAD	FAC. CORRECCIÓN	EST. CORREGIDA
01	2482.3	6.2	2.35	0.96	2383.01
02	2417	7	2.351	1	2417
03	2397.9	7.5	2.36	1	2397.9
04	2562.1	7.5	2.357	0.96	2459.62
05	2544	6.5	2.349	1	2544
06	2429	8	2.349	0.96	2331.84
07	2417	7	2.36	1	2417
08	2552.3	6.8	2.356	1	2552.3
09	2412.7	7.9	2.355	1	2412.7
10	2505	7	2.354	1	2505

Fuente: Elaboración propia

La tabla 46 (especímenes que se compactaron a las 14h de mezclado) muestra los resultados de los 10 especímenes, utilizándose los factores de corrección de estabilidad indicados anteriormente. Se puede apreciar que los valores de estabilidad varían de un mínimo de 2,331.84 kg y un máximo de 2,552.3kg, y una fluencia mínima de 6.2 mm y un máximo de 8.0 mm.

ESTABILIDAD CORREGIDA	
MÍNIMA	2331.84 kg
MÁXIMA	2552.3 kg
PROMEDIO	2442.04 kg
DESV. ESTÁNDAR	71.89 kg
TIEMPO COMPACTACIÓN	: 14H

Tabla 47.

Lectura de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 16 horas.

TIEMPO DE MOLDEO : 16H

ENSAYO N° MUESTRA	TOMA DE DATOS			CORRECCIÓN	
	CARGA	DEFORMACIÓN	DENSIDAD	FAC. CORRECCIÓN	EST. CORREGIDA
01	2570.7	5.9	2.36	1	2570.7
02	2573.6	6	2.354	1.04	2676.54
03	2571.1	9.6	2.349	1	2571.1
04	2420	7	2.35	0.96	2323.2
05	2387.5	6.3	2.352	1	2387.5
06	2272.6	7.5	2.357	1	2272.6
07	2517.2	6.2	2.356	1	2517.2
08	2365.1	6.6	2.359	1.04	2459.7
09	2588.4	9.1	2.353	1	2588.4
10	2420	7	2.353	1	2420

Fuente: Elaboración propia

La tabla 47 (especímenes que se compactaron a las 16h de mezclado) muestra los resultados de los 10 especímenes, utilizándose los factores de corrección de estabilidad indicados anteriormente. Se puede apreciar que los valores de estabilidad varían de un mínimo de 2,272.60 kg y un máximo de 2,676.54 g, y una fluencia mínima de 5.9 mm y un máximo de 9.1 mm.

ESTABILIDAD CORREGIDA	
MÍNIMA	2272.6 kg
MÁXIMA	2676.54 kg
PROMEDIO	2478.694 kg
DESV. ESTÁNDAR	128.43 kg
TIEMPO COMPACTACIÓN	: 16H

Tabla 48.

Lectura de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 18 horas.

TIEMPO DE MOLDEO : 18H

ENSAYO N° MUESTRA	TOMA DE DATOS			CORRECCIÓN	
	CARGA	DEFORMACIÓN	DENSIDAD	FAC. CORRECCIÓN	EST. CORREGIDA
01	2478.5	9.3	2.354	1	2478.5
02	2395.1	7.2	2.36	1	2395.1
03	2399.7	10.5	2.353	1	2399.7
04	2446	7	2.356	1	2446
05	2319.9	8	2.358	1.04	2412.7
06	2310.9	6.3	2.351	1	2310.9
07	2524.9	5.4	2.36	0.96	2423.9
08	2502.3	7	2.36	1.04	2602.39
09	2298.2	7.2	2.35	1	2298.2
10	2453	7	2.359	1	2453

Fuente: Elaboración propia

La tabla 48 (especímenes que se compactaron a las 18h de mezclado) muestra los resultados de los 10 especímenes, utilizándose los factores de corrección de estabilidad indicados anteriormente. Se puede apreciar que los valores de estabilidad varían de un mínimo de 2,298.20 kg y un máximo de 2,602.39 kg, y una fluencia mínima de 7.0 mm y un máximo de 10.50 mm.

ESTABILIDAD CORREGIDA	
MÍNIMA	2298.2 kg
MÁXIMA	2602.39 kg
PROMEDIO	2422.039 kg
DESV. ESTÁNDAR	85.80 kg
TIEMPO COMPACTACIÓN	: 18H

Tabla 49.

Lectura de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 20 horas.

TIEMPO DE MOLDEO : 20H

ENSAYO N° MUESTRA	TOMA DE DATOS			CORRECCIÓN	
	CARGA	DEFORMACIÓN	DENSIDAD	FAC. CORRECCIÓN	EST. CORREGIDA
01	2498.5	6.8	2.36	0.96	2398.56
02	2510.9	8.8	2.356	1	2510.9
03	2440	8	2.349	0.96	2342.4
04	2500	7	2.36	0.96	2400
05	2332.8	7.5	2.348	0.96	2239.49
06	2450.4	11	2.348	0.96	2352.38
07	2439.2	7	2.352	1	2439.2
08	2620.4	7.5	2.353	0.96	2515.58
09	2615.5	8	2.358	1	2615.5
10	2478	8	2.358	0.96	2378.88

Fuente: Elaboración propia

La tabla 49 (especímenes que se compactaron a las 20h de mezclado) muestra los resultados de los 10 especímenes, utilizándose los factores de corrección de estabilidad indicados anteriormente. Se puede apreciar que los valores de estabilidad varían de un mínimo de 2,239.49 kg y un máximo de 2,615.50 kg, y una fluencia mínima de 7.0 mm y un máximo de 8.80 mm.

ESTABILIDAD CORREGIDA	
MÍNIMA	2239.49 kg
MÁXIMA	2615.5 kg
PROMEDIO	2419.289 kg
DESV. ESTÁNDAR	106.31 kg
TIEMPO COMPACTACIÓN	: 20H

Tabla 50.

Lectura de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 24 horas.

TIEMPO DE MOLDEO : 24H

ENSAYO N° MUESTRA	TOMA DE DATOS			CORRECCIÓN	
	CARGA	DEFORMACIÓN	DENSIDAD	FAC. CORRECCIÓN	EST. CORREGIDA
01	2634.5	8.5	2.36	1	2634.5
02	2515	8	2.354	0.96	2414.4
03	2504	7	2.348	0.96	2403.84
04	2521	7	2.358	0.96	2420.16
05	2514	7	2.351	0.96	2413.44
06	2409.7	6	2.348	1	2409.7
07	2461	8	2.36	0.96	2362.56
08	2253	8.2	2.357	0.96	2162.88
09	2432.4	7	2.353	1	2432.4
10	2494	8	2.351	0.96	2394.24

Fuente: Elaboración propia

La tabla 50 (especímenes que se compactaron a las 24h de mezclado) muestra los resultados de los 10 especímenes, utilizándose los factores de corrección de estabilidad indicados anteriormente. Se puede apreciar que los valores de estabilidad varían de un mínimo de 2,162.88 kg y un máximo de 2,634.50 kg, y una fluencia mínima de 7.0 mm y un máximo de 8.50 mm.

ESTABILIDAD CORREGIDA	
MÍNIMA	2162.88 kg
MÁXIMA	2634.5 kg
PROMEDIO	2404.812 kg
DESV. ESTÁNDAR	112.73 kg
TIEMPO COMPACTACIÓN	: 24H

Tabla 51.

Lectura de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 36 horas.

TIEMPO DE MOLDEO : 36H

ENSAYO	TOMA DE DATOS			CORRECCIÓN	
	N° MUESTRA	CARGA	DEFORMACION	DENSIDAD	FAC. CORRECCIÓN
01	2440	7	2.359	1	2440
02	2400	8	2.357	1	2400
03	2577	8	2.36	0.96	2473.92
04	2573.8	10.7	2.357	0.96	2470.85
05	2311.1	9	2.355	0.96	2218.66
06	2494	8	2.356	0.96	2394.24
07	2377.7	9.3	2.349	0.96	2282.59
08	2499.4	8	2.35	0.96	2399.42
09	2407	7	2.348	0.96	2310.72
10	2492	7	2.352	0.96	2392.32

Fuente: Elaboración propia

La tabla 51 (especímenes que se compactaron a las 36h de mezclado) muestra los resultados de los 10 especímenes, utilizándose los factores de corrección de estabilidad indicados anteriormente. Se puede apreciar que los valores de estabilidad varían de un mínimo de 2,218.49 kg y un máximo de 2,473.92 kg, y una fluencia mínima de 7.0 mm y un máximo de 10.70 mm.

ESTABILIDAD CORREGIDA	
MÍNIMA	2218.66 kg
MÁXIMA	2473.92 kg
PROMEDIO	2378.272 kg
DESV. ESTÁNDAR	83.06 kg
TIEMPO COMPACTACIÓN	: 36H

Tabla 52.

Lectura de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 48 horas.

TIEMPO DE MOLDEO : 48H

ENSAYO N° MUESTRA	TOMA DE DATOS			CORRECCIÓN	
	CARGA	DEFORMACIÓN	DENSIDAD	FAC. CORRECCIÓN	EST. CORREGIDA
01	2467	7	2.358	0.96	2368.32
02	2228.1	7.5	2.355	0.96	2138.98
03	2388.8	7.2	2.358	0.96	2293.25
04	2488	7	2.359	0.96	2388.48
05	2168.8	7.8	2.351	0.96	2082.05
06	2442	7	2.352	0.93	2271.06
07	2499	7	2.35	0.93	2324.07
08	2327.5	12	2.35	0.93	2164.58
09	2295.4	6	2.355	1	2295.4
10	2499	7	2.352	1	2499

Fuente: Elaboración propia

La tabla 52 (especímenes que se compactaron a las 48h de mezclado) muestra los resultados de los 10 especímenes, utilizándose los factores de corrección de estabilidad indicados anteriormente. Se puede apreciar que los valores de estabilidad varían de un mínimo de 2,082.05 kg y un máximo de 2,499.00 kg, y una fluencia mínima de 7.0 mm y un máximo de 12.00 mm.

ESTABILIDAD CORREGIDA	
MÍNIMA	2082.05 kg
MÁXIMA	2499 kg
PROMEDIO	2282.519 kg
DESV. ESTÁNDAR	125.74 kg
TIEMPO COMPACTACIÓN	: 48H

Tabla 53.

Lectura de estabilidad, fluencia con estabilidad corregida para moldeado a las 72 horas.

TIEMPO DE MOLDEO : 72H

ENSAYO N° MUESTRA	TOMA DE DATOS			CORRECCIÓN	
	CARGA	DEFORMACIÓN	DENSIDAD	FAC. CORRECCIÓN	EST. CORREGIDA
01	1974.6	7.7	2.349	0.93	1836.38
02	1856.9	7.7	2.348	0.93	1726.92
03	2414	7	2.352	0.89	2148.46
04	2500	7	2.352	0.89	2225
05	1859.2	8	2.348	0.89	1654.69
06	2014.9	8.3	2.352	0.89	1793.26
07	1727.9	5	2.355	0.93	1606.95
08	1786.2	7.8	2.359	0.89	1589.72
09	1827.7	6.6	2.353	0.89	1626.65
10	1843	7	2.351	0.93	1713.99

Fuente: Elaboración propia

La tabla 53 (especímenes que se compactaron a las 72h de mezclado) muestra los resultados de los 10 especímenes, utilizándose los factores de corrección de estabilidad indicados anteriormente. Se puede apreciar que los valores de estabilidad varían de un mínimo de 2,589.65 kg y un máximo de 2,225.00 kg, y una fluencia mínima de 7.0 mm y un máximo de 8.30 mm.

ESTABILIDAD CORREGIDA	
MÍNIMA	1589.72 kg
MÁXIMA	2225 kg
PROMEDIO	1792.202 kg
DESV. ESTÁNDAR	223.16 kg
TIEMPO COMPACTACIÓN	: 72H

4.4. Análisis estadístico de Estabilidad, Fluencia y Densidad

4.4.1. Análisis estadístico de Estabilidad vs Tiempo

En la tabla 54 y en la tabla 55 se observan los parámetros estadísticos obtenidos a partir de las lecturaciones de estabilidad que arrojaron cada espécimen. Se analizó para cada tiempo estudiado los parámetros estadísticos como la media, mediana, varianza, desviación estándar, etc.

Tabla 54.

Datos estadísticos de estabilidad de 2 horas a 14 horas

PARÁMETROS		ESTABILIDAD (KG)						
		2 HORAS	4 HORAS	6 HORAS	8 HORAS	10 HORAS	12 HORAS	14 HORAS
Media		2343.82	2298.87	2291.24	2311.31	2328.35	2349.33	2442.04
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2145.27	2255.24	2216.36	2253.84	2269.83	2274.34	2390.61
	Límite superior	2542.37	2342.49	2366.13	2368.77	2386.87	2424.32	2493.47
Mediana		2203.20	2310.50	2303.42	2311.91	2330.40	2386.56	2417.00
Varianza		77037.89	3719.32	10957.25	6453.79	6691.87	10989.18	5168.65
Desviación estándar		277.56	60.99	104.68	80.34	81.80	104.83	71.89
Mínimo		2113.92	2163.84	2151.36	2150.40	2167.78	2169.02	2331.84
Máximo		2827.44	2366.40	2457.00	2437.00	2453.60	2474.88	2552.30
Error Estándar		87.77	19.29	33.10	25.40	25.87	33.14	22.73

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55.

Datos estadísticos de estabilidad de 16 horas a 72 horas

PARÁMETROS		ESTABILIDAD (KG)						
		16 HORAS	18 HORAS	20 HORAS	24 HORAS	36 HORAS	48 HORAS	72 HORAS
Media		2478.69	2422.04	2419.29	2404.81	2378.27	2282.52	1792.20
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2386.82	2360.66	2343.24	2324.17	2318.85	2192.57	1632.56
	Límite superior	2570.56	2483.41	2495.34	2485.45	2437.69	2372.47	1951.84
Mediana		2488.45	2418.30	2399.28	2411.57	2396.83	2294.33	1720.46
Varianza		16493.37	7361.16	11301.20	12708.06	6899.51	15810.37	49799.98
Desviación estándar		128.43	85.80	106.31	112.73	83.06	125.74	223.16
Mínimo		2272.60	2298.20	2239.49	2162.88	2218.66	2082.05	1589.72
Máximo		2676.54	2602.39	2615.50	2634.50	2473.92	2499.00	2225.00
Error Estándar		40.61	27.13	33.62	35.65	26.27	39.76	70.57

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 56 se analizó la prueba de normalidad para observar si siguen una tendencia hacia una distribución normal para cada tiempo estudiado, para ello utilizamos el programa estadístico SPSS.

Tabla 56.
Pruebas de Normalidad de estabilidad de 2 horas a 72 horas

Pruebas de Normalidad (ESTABILIDAD)						
TIEMPO (HORAS)	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
2	,254	10	,067	,777	10	,058
4	,215	10	,200*	,891	10	,172
6	,166	10	,200*	,929	10	,437
8	,189	10	,200*	,941	10	,559
10	,173	10	,200*	,970	10	,895
12	,204	10	,200*	,920	10	,358
14	,236	10	,121	,931	10	,463
16	,163	10	,200*	,968	10	,876
18	,177	10	,200*	,930	10	,446
20	,172	10	,200*	,970	10	,893
24	,303	10	,010	,790	10	,051
36	,267	10	,042	,906	10	,257
48	,164	10	,200*	,970	10	,893
72	,222	10	,179	,817	10	,053

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis general de estabilidad vs tiempo se analizó con la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk, debido a que las muestras son menores a los 50 datos para cada tiempo estudiado. También podemos observar en la tabla 56 que el nivel de significancia no es estándar para todos los casos, en algún caso es mayor a 0.05 y en otros casos es menor 0.05, con lo cual podemos asumir que existió una distribución normal en algunos casos y en otros no, durante el intervalo del tiempo estudiado.

En la figura 38 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.058 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la estabilidad analizada a 2 horas.

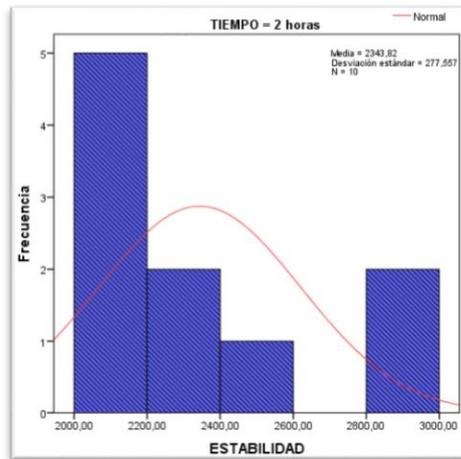


Figura 38. Distribución normal de estabilidad a 2 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 39 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.172 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la estabilidad analizada a 4 horas.

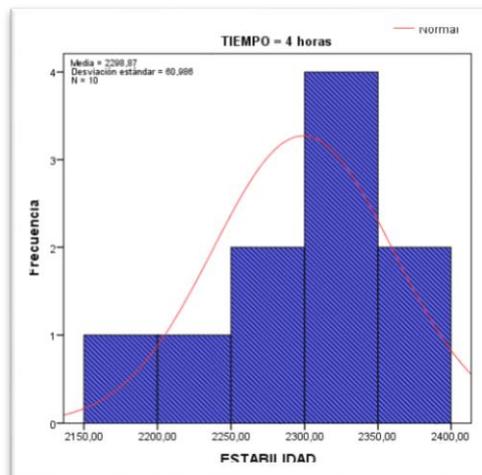


Figura 39. Distribución normal de estabilidad a 4 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 40 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.437 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la estabilidad analizada a 6 horas.

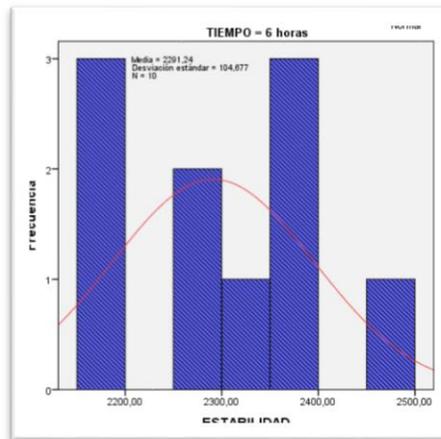


Figura 40. Distribución normal de estabilidad a 6 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 41 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.559 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la estabilidad analizada a 8 horas.

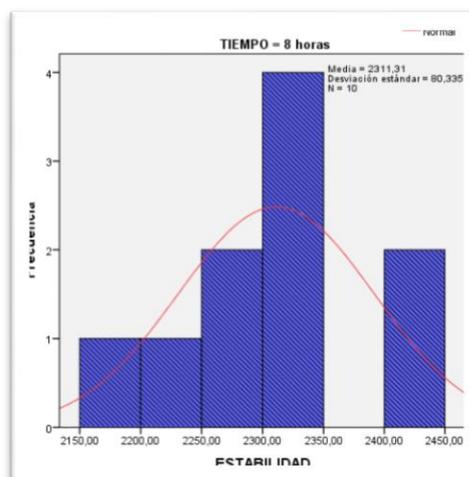


Figura 41. Distribución normal de estabilidad a 8 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 42 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.895 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la estabilidad analizada a 10 horas.

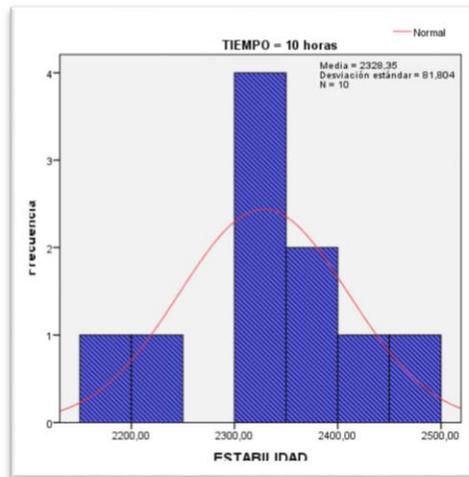


Figura 42. Distribución normal de estabilidad a 10 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 43 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.358 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la estabilidad analizada a 12 horas.

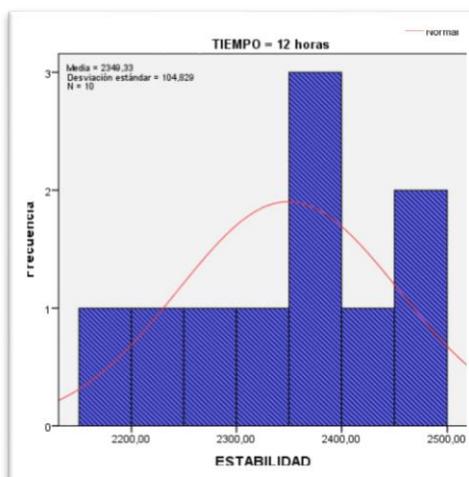


Figura 43. Distribución normal de estabilidad a 12 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 44 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.463 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la estabilidad analizada a 14 horas.

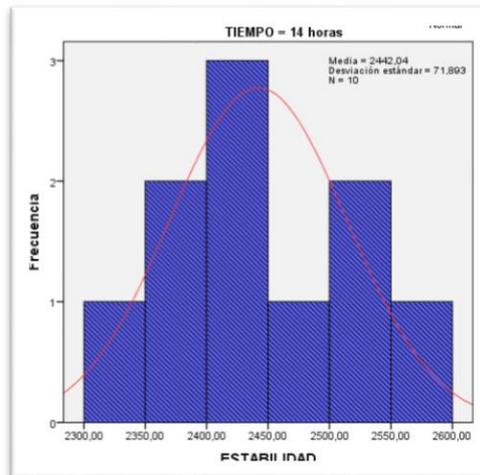


Figura 44. Distribución normal de estabilidad a 14 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 45 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.876 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la estabilidad analizada a 16 horas.

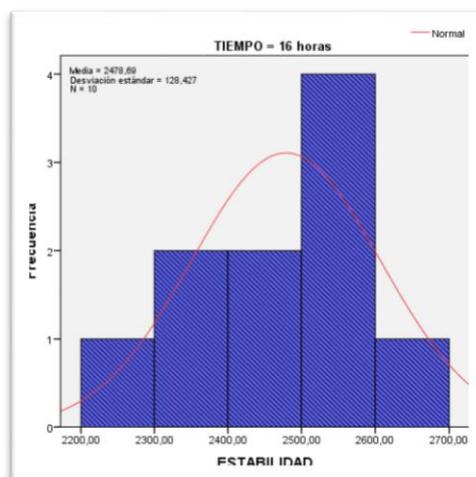


Figura 45. Distribución normal de estabilidad a 16 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 46 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.446 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la estabilidad analizada a 18 horas.

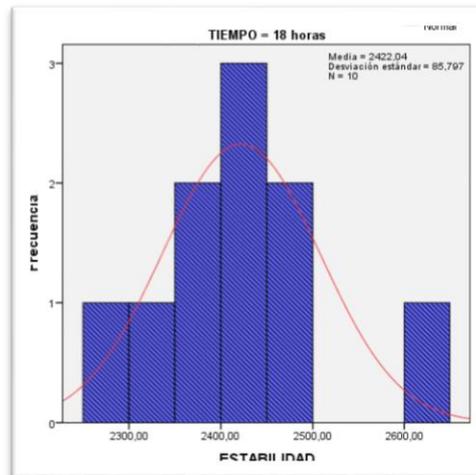


Figura 46. Distribución normal de estabilidad a 18 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 47 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.893 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la estabilidad analizada a 20 horas.

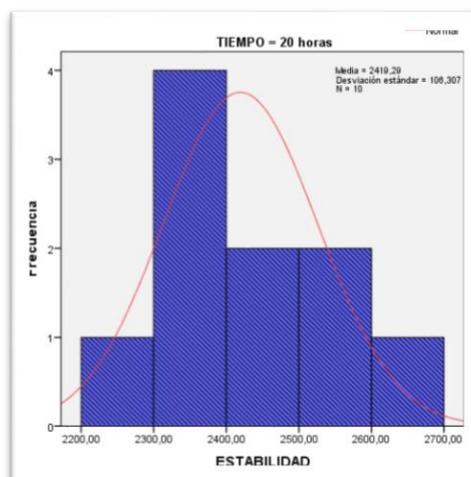


Figura 47. Distribución normal de estabilidad a 20 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 48 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.051 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la estabilidad analizada a 24 horas.

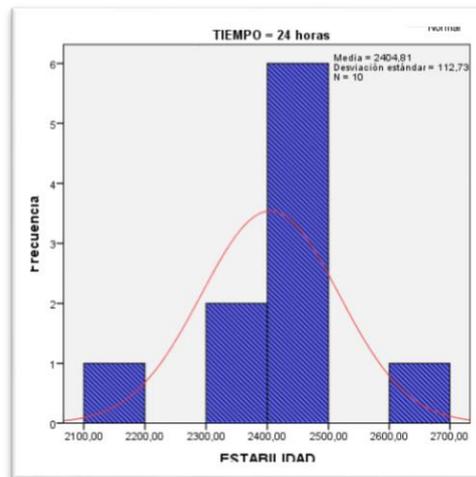


Figura 48. Distribución normal de estabilidad a 24 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 49 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.257 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la estabilidad analizada a 36 horas.

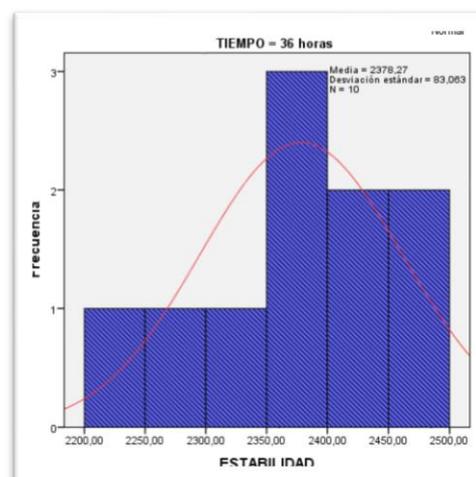


Figura 49. Distribución normal de estabilidad a 36 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 50 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.893 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la estabilidad analizada a 48 horas.

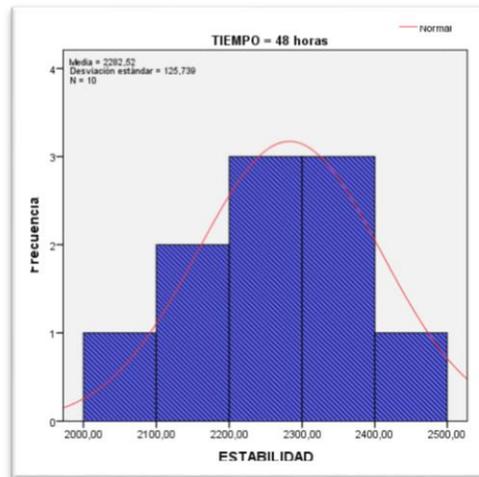


Figura 50. Distribución normal de estabilidad a 48 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 51 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.053 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la estabilidad analizada a 72 horas.

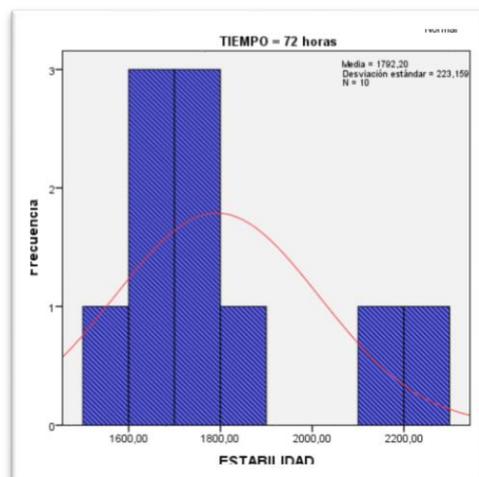


Figura 51. Distribución normal de estabilidad a 72 horas.
Fuente: Propia.

Al realizar el análisis completo de la distribución normal de los datos, se observó si los datos son paramétricos o no paramétricos, para analizar si existe la correlación entre las variables. En este caso se empleará el coeficiente de correlación de Pearson por tener un grupo de datos paramétricos.

Luego planteamos las siguientes hipótesis: Nivel de significancia 0.05

H₀: $r = 0$ (No existe correlación entre el tiempo de espera para compactación y la estabilidad de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h).

H₁: $r \neq 0$ (Existe correlación entre el tiempo de espera para compactación y la estabilidad de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h).

Tabla 57.
Correlación de Pearson, Estabilidad vs Tiempo

NIVEL DE CORRELACIÓN		TIEMPO	ESTABILIDAD	
Ro Pearson	TIEMPO	Coefficiente de correlación	1,000	,544
		Sig. (bilateral)		,000
		N	140	140
	ESTABILIDAD	Coefficiente de correlación	,544	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	.
		N	140	140
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).				

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 57 se observa el análisis del coeficiente de correlación de Pearson, en donde el nivel de significancia es 0.000 cuyo valor analizado es menor a 0.05 del valor establecido, por ello se acepta la hipótesis alterna donde

nos indica que existe correlación entre las dos variables. También observamos un $r = 0.544$, donde nos indica que existe una correlación positiva considerable.

En la figura 52 se observa la curva de estabilidad vs tiempo, donde se tomó en cuenta el R^2 el cual genera una tendencia parabólica, el valor máximo fue elegido, para este análisis para el R^2 cúbico se tiene un valor de ajuste de 0.589.

También se observó que la estabilidad incrementa en el tercio central del análisis del tiempo estudiado, por tanto para analizar la relación se obtuvo la ecuación 1, a través de ello determinaremos el valor máximo de estabilidad:

$$Y = 2.26 * 10^3 + 12.98X - 0.25X^2 - 3.18 * 10^{-4} * X^3 \dots\dots\dots (1)$$

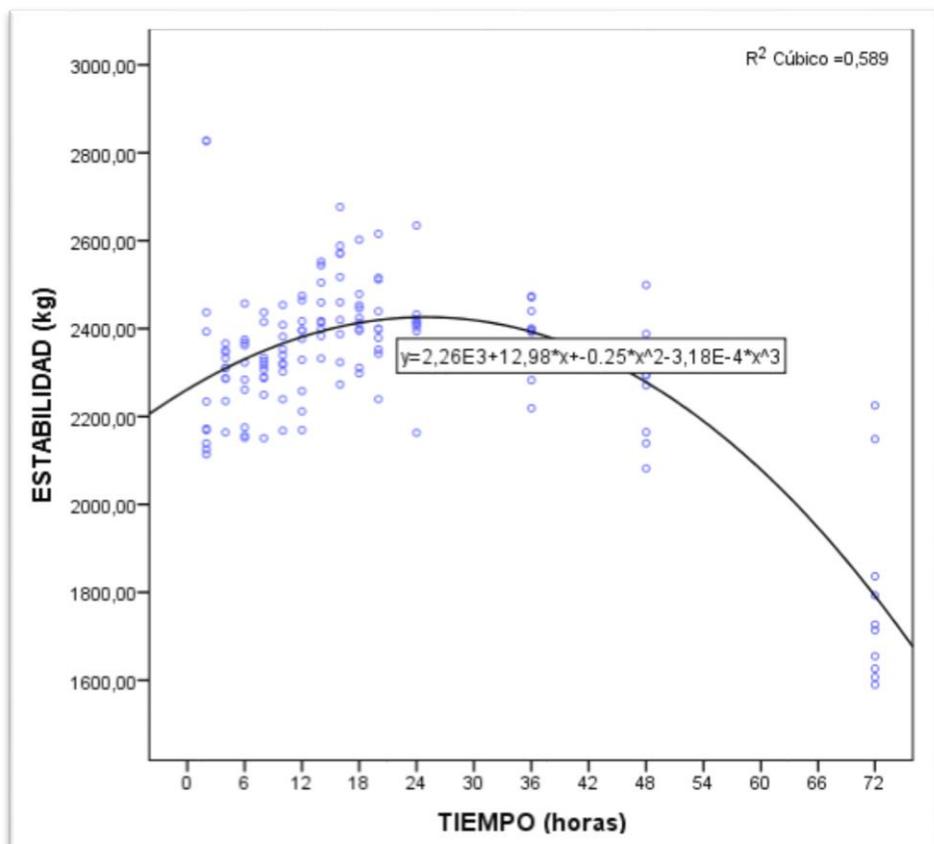


Figura 52. Estabilidad vs Tiempo.
Fuente: Propia.

4.4.2. Análisis estadístico de Fluencia vs Tiempo

En la tabla 58 y en la tabla 59 se observan los parámetros estadísticos obtenidos a partir de las lecturaciones de fluencia que arrojaron cada espécimen. Se analizó para cada tiempo estudiado los parámetros estadísticos como la media, mediana, varianza, desviación estándar, etc.

Tabla 58.

Datos estadísticos de Fluencia de 2 horas a 14 horas

PARÁMETROS		FLUENCIA						
		2 HORAS	4 HORAS	6 HORAS	8 HORAS	10 HORAS	12 HORAS	14 HORAS
Media		7.35	7.45	7.15	7.40	7.35	7.45	7.14
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	6.94	7.02	6.81	6.99	6.97	7.03	6.72
	Límite superior	7.76	7.88	7.49	7.81	7.73	7.87	7.56
Mediana		7.00	7.50	7.00	7.25	7.25	7.50	7.00
Varianza		0.34	0.36	0.23	0.32	0.28	0.34	0.34
Desviación estándar		0.58	0.60	0.47	0.57	0.53	0.58	0.58
Mínimo		6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.40	6.20
Máximo		8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.10	8.00
Error Estándar		0.18	0.19	0.15	0.18	0.17	0.18	0.18

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 59.

Datos estadísticos de Fluencia de 16 horas a 72 horas

PARÁMETROS		FLUENCIA						
		16 HORAS	18 HORAS	20 HORAS	24 HORAS	36 HORAS	48 HORAS	72 HORAS
Media		7.12	7.49	7.96	7.47	8.20	7.55	7.21
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	6.20	6.44	7.08	6.91	7.35	6.38	6.53
	Límite superior	8.04	8.54	8.84	8.03	9.05	8.72	7.89
Mediana		6.80	7.10	7.75	7.50	8.00	7.00	7.35
Varianza		1.64	2.14	1.51	0.61	1.40	2.66	0.89
Desviación estándar		1.28	1.46	1.23	0.78	1.18	1.63	0.94
Mínimo		5.90	5.40	6.80	6.00	7.00	6.00	5.00
Máximo		9.60	10.50	11.00	8.50	10.70	12.00	8.30
Error Estándar		0.41	0.46	0.39	0.25	0.37	0.52	0.30

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 60 se analizó la prueba de normalidad para observar si siguen una tendencia hacia una distribución normal para cada tiempo estudiado, para ello utilizamos el programa estadístico SPSS.

Tabla 60-
Pruebas de Normalidad de Fluencia de 2 horas a 72 horas

Pruebas de Normalidad (FLUENCIA)						
TIEMPO (HORAS)	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
2	,327	10	,003	,770	10	,006
4	,321	10	,004	,761	10	,005
6	,424	10	,000	,699	10	,001
8	,259	10	,055	,825	10	,029
10	,246	10	,089	,874	10	,111
12	,227	10	,154	,888	10	,160
14	,195	10	,200*	,955	10	,724
16	,237	10	,117	,840	10	,044
18	,279	10	,027	,898	10	,208
20	,287	10	,019	,802	10	,015
24	,251	10	,073	,888	10	,161
36	,267	10	,042	,870	10	,100
48	,339	10	,002	,616	10	,000
72	,212	10	,200*	,868	10	,094

Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis general de fluencia vs tiempo se analizó con la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk, debido a que las muestras son menores a los 50 datos para cada tiempo estudiado. También podemos observar en la tabla 60 que el nivel de significancia no es estándar para todos los casos, en algún caso es mayor a 0.05 y en otros casos es menor 0.05, con lo cual podemos asumir que existió una distribución normal en algunos casos y en otros no, durante el intervalo del tiempo estudiado.

En la figura 53 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel

de significancia es $0.006 < 0.05$, donde deducimos que la distribución no es normal para la fluencia analizada a 2 horas.

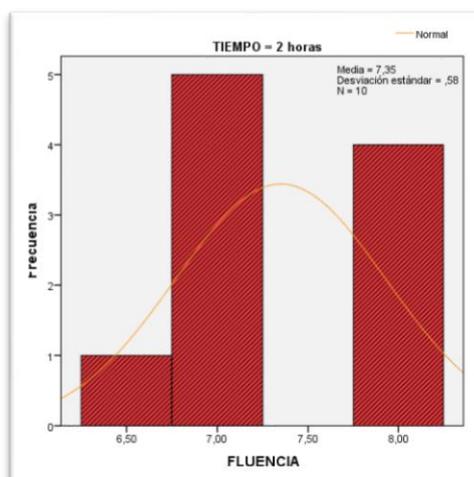


Figura 53. Distribución normal de fluencia a 2 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 54 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.005 < 0.05$, donde deducimos que la distribución no es normal para la fluencia analizada a 4 horas.

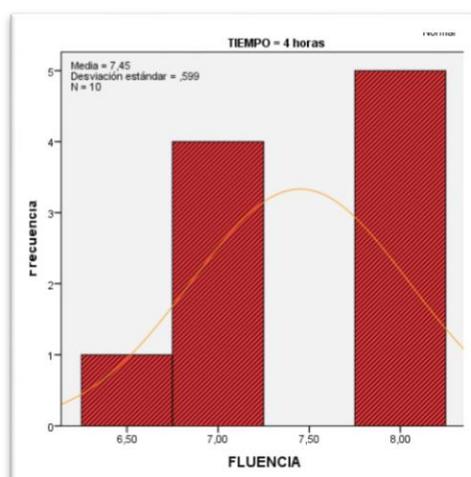


Figura 54. Distribución normal de fluencia a 4 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 55 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.001 < 0.05$, donde deducimos que la distribución no es normal para la fluencia analizada a 6 horas.

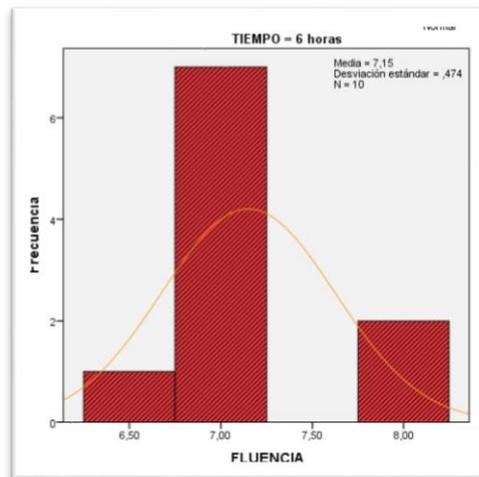


Figura 55. Distribución normal de fluencia a 6 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 56 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.029 < 0.05$, donde deducimos que la distribución no es normal para la fluencia analizada a 8 horas.

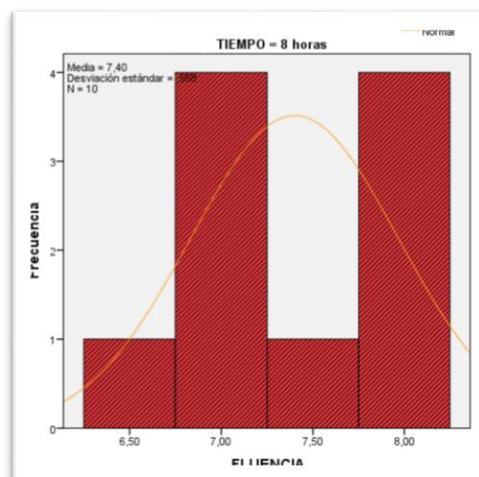


Figura 56. Distribución normal de fluencia a 8 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 57 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.111 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la fluencia analizada a 10 horas.

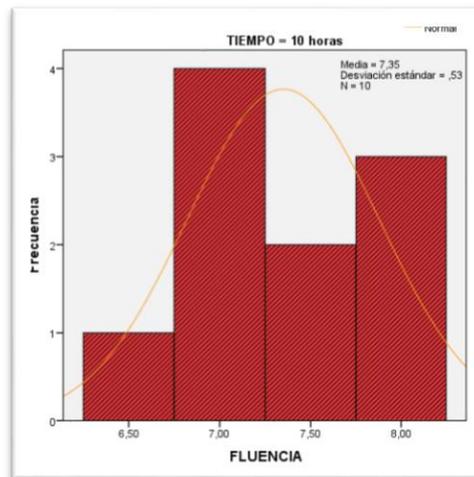


Figura 57. Distribución normal de fluencia a 10 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 58 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.160 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la fluencia analizada a 12 horas.

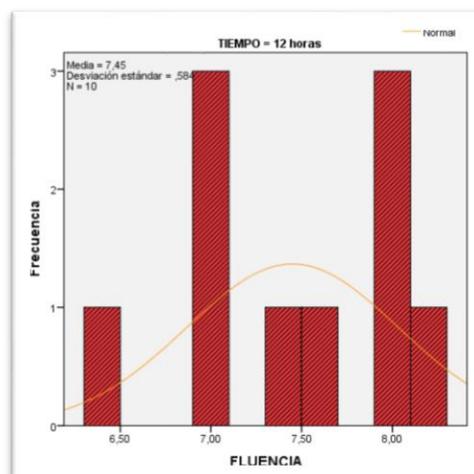


Figura 58. Distribución normal de fluencia a 12 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 59 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.724 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la fluencia analizada a 14 horas.

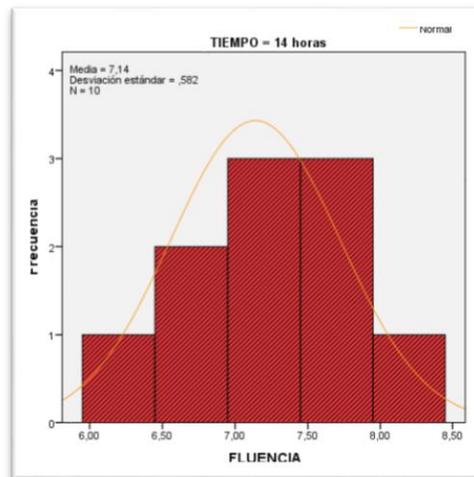


Figura 59. Distribución normal de fluencia a 14 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 60 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.044 < 0.05$, donde deducimos que la distribución no es normal para la fluencia analizada a 16 horas.

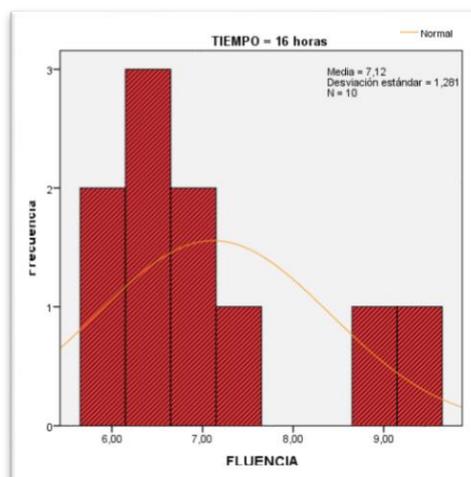


Figura 60. Distribución normal de fluencia a 16 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 61 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.208 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la fluencia analizada a 18 horas.

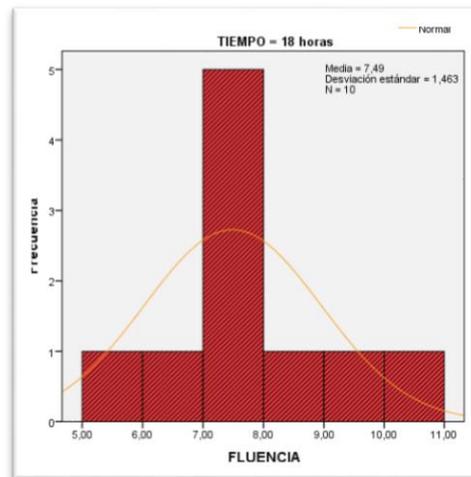


Figura 61. Distribución normal de fluencia a 18 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 62 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.015 < 0.05$, donde deducimos que la distribución no es normal para la fluencia analizada a 20 horas.

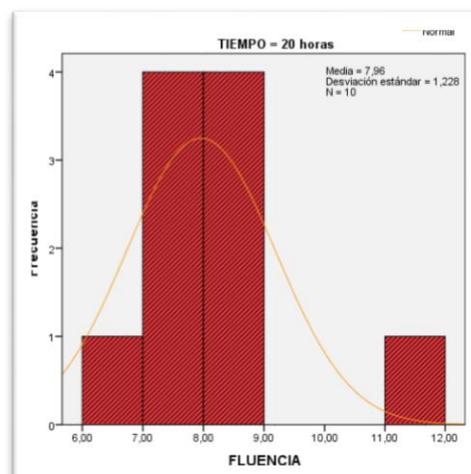


Figura 62. Distribución normal de fluencia a 20 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 63 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.161 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la fluencia analizada a 24 horas.

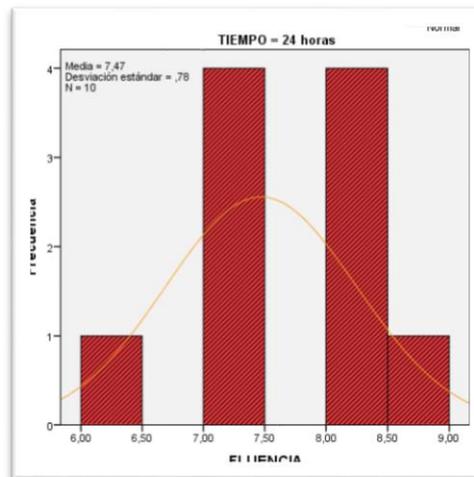


Figura 63. Distribución normal de fluencia a 24 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 64 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.100 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la fluencia analizada a 36 horas.

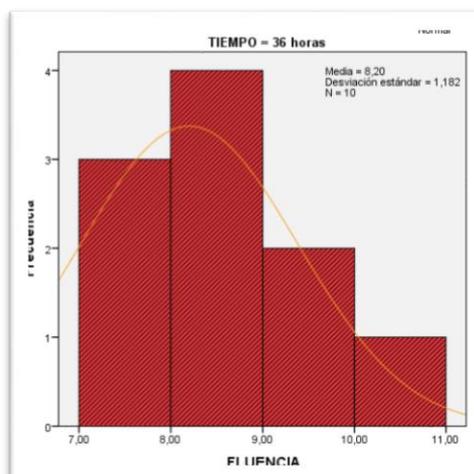


Figura 64. Distribución normal de fluencia a 36 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 65 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.000 < 0.05$, donde deducimos que la distribución no es normal para la fluencia analizada a 48 horas.

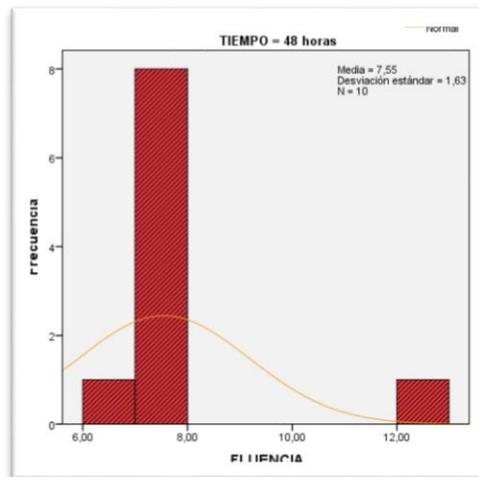


Figura 65. Distribución normal de fluencia a 48 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 66 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.094 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la fluencia analizada a 72 horas.

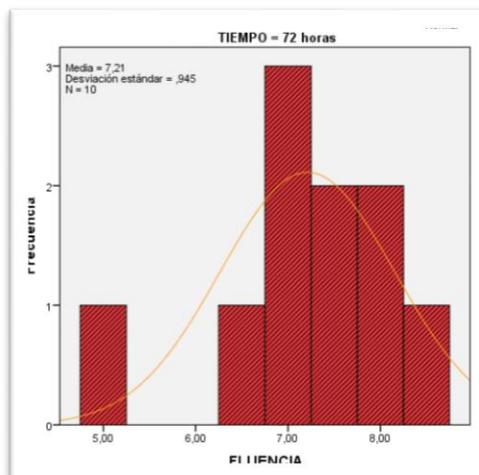


Figura 66. Distribución normal de fluencia a 72 horas.
Fuente: Propia.

Al realizar el análisis completo de la distribución normal de los datos, se observa si los datos son paramétricos o no paramétricos, para observar si existe la correlación entre las variables. En este caso se empleará el coeficiente de correlación de Spearman por ser un grupo de datos no paramétricos.

Luego planteamos las siguientes hipótesis: Nivel de significancia 0.05

H₀: $r = 0$ (No existe correlación entre el tiempo de espera para compactación y la fluencia de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h).

H₁: $r \neq 0$ (Existe correlación entre el tiempo de espera para compactación y la fluencia de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h).

Tabla 61.
Correlación de Spearman , Fluencia vs Tiempo

NIVEL DE CORRELACIÓN		TIEMPO	FLUENCIA	
Rho de Spearman	TIEMPO	Coficiente de correlación	1,000	,071
		Sig. (bilateral)		,406
		N	140	140
	FLUENCIA	Coficiente de correlación	,071	1,000
		Sig. (bilateral)	,406	.
		N	140	140
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).				

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 61 se observa el análisis del coeficiente de correlación de Spearman, en donde el nivel de significancia es 0.406 cuyo valor analizado es mayor a 0.05 del valor establecido, por ello se acepta la hipótesis nula donde nos indica que no existe correlación entre las dos variables. También

observamos un $r = 0.071$, donde nos indica que existe una correlación negativa débil, por tanto, concluimos que no existe una correlación significativa.

En la figura 67 se observa la curva de fluencia vs tiempo, donde se tomó en cuenta el R^2 el cual genera una línea de tendencia, para este análisis para el R^2 cúbico se tiene un valor de ajuste de 0.038.

También se observó que la fluencia es variable durante el análisis del tiempo estudiado, por tanto para analizar los valores se obtuvo la ecuación 2, a través de ello determinaremos los valores de fluencia:

$$Y = 7.27 + 3.43 * 10^{-3} * X + 6.82 * 10^{-4} * X^2 - 1.04 * 10^{-5} * X^3 \dots (2)$$

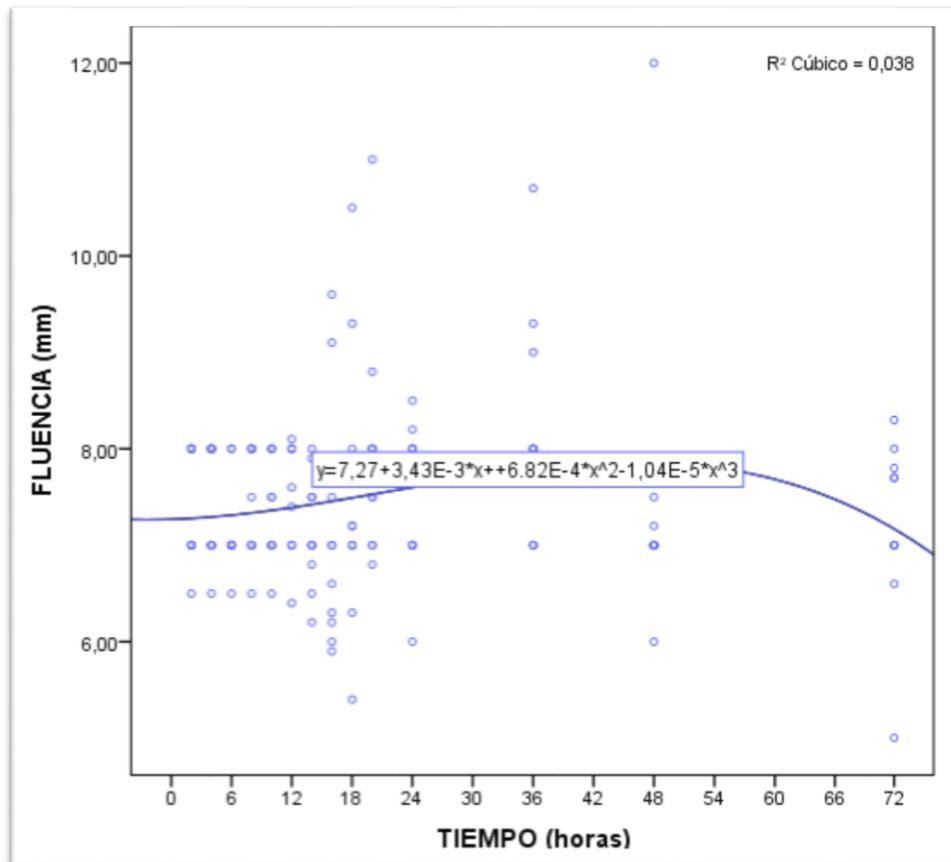


Figura 67. Fluencia vs Tiempo.
Fuente: Propia.

4.4.3. Análisis estadístico de Densidad vs Tiempo

En la tabla 62 y en la tabla 63 se observan los parámetros estadísticos obtenidos a partir de la densidad de los especímenes sometidos a ensayo. Se analizó para cada tiempo estudiado los parámetros estadísticos como la media, mediana, varianza, desviación estándar, etc.

Tabla 62.

Datos estadísticos de densidad de 2 horas a 14 horas

PARÁMETROS		DENSIDAD						
		2 HORA S	4 HORA S	6 HORA S	8 HORA S	10 HORA S	12 HORA S	14 HORA S
Media		2.36	2.36	2.34	2.35	2.35	2.35	2.35
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2.33	2.34	2.32	2.35	2.35	2.35	2.35
	Límite superior	2.39	2.39	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36
Mediana		2.39	2.36	2.34	2.36	2.35	2.36	2.35
Varianza		0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Desviación estándar		0.041	0.031	0.032	0.004	0.003	0.004	0.004
Mínimo		2.30	2.31	2.30	2.35	2.35	2.35	2.35
Máximo		2.40	2.40	2.39	2.36	2.36	2.36	2.36
Error Estándar		0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 63.

Datos estadísticos de densidad de 16 horas a 72 horas

PARÁMETROS		DENSIDAD						
		16 HORAS	18 HORAS	20 HORAS	24 HORAS	36 HORAS	48 HORAS	72 HORAS
Media		2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35
	Límite superior	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.35
Mediana		2.35	2.35	2.35	2.35	2.36	2.35	2.35
Varianza		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Desviación estándar		0.004	0.004	0.005	0.005	0.004	0.003	0.003
Mínimo		2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35
Máximo		2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36
Error Estándar		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 64 se analizó la prueba de normalidad para observar si siguen una tendencia hacia una distribución normal para cada tiempo estudiado, para ello utilizamos el programa estadístico SPSS.

Tabla 64.
Pruebas de normalidad de densidad de 2 horas a 72 horas

Pruebas de Normalidad (DENSIDAD)						
TIEMPO (HORAS)	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
2	,308	10	,008	,773	10	,007
4	,214	10	,200*	,906	10	,256
6	,171	10	,200*	,943	10	,584
8	,261	10	,052	,806	10	,017
10	,204	10	,200*	,940	10	,557
12	,207	10	,200*	,862	10	,081
14	,168	10	,200*	,908	10	,265
16	,139	10	,200*	,963	10	,814
18	,139	10	,200*	,963	10	,814
20	,184	10	,200*	,885	10	,148
24	,144	10	,200*	,914	10	,311
36	,165	10	,200*	,926	10	,412
48	,218	10	,195	,886	10	,154
72	,188	10	,200*	,912	10	,297

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis general de densidad vs tiempo se analizó con la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk, debido a que las muestras son menores a los 50 datos para cada tiempo estudiado. También podemos observar en la tabla 64 que el nivel de significancia no es estándar para todos los casos, en algunos casos es mayor a 0.05 y en otros casos es menor 0.05, con lo cual podemos asumir que existió una distribución normal en algunos casos y en otros no, durante el intervalo del tiempo estudiado.

En la figura 68 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.007 < 0.05$, donde deducimos que la distribución no es normal para la densidad analizada a 2 horas.

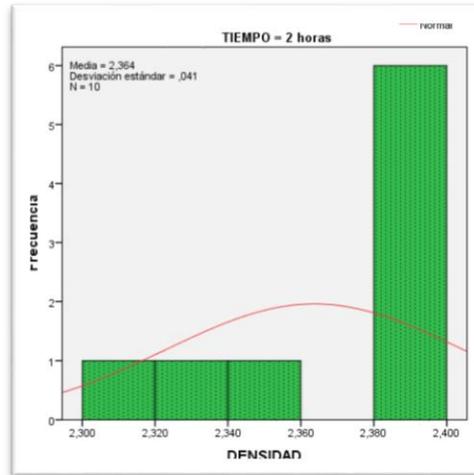


Figura 68. Distribución normal de densidad a 2 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 69 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.256 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la densidad analizada a 4 horas.

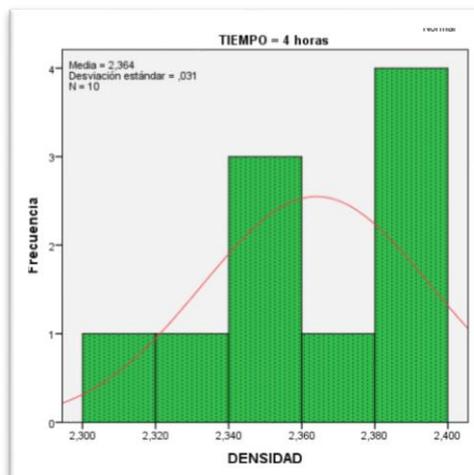


Figura 69. Distribución normal de densidad a 4 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 70 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.584 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la densidad analizada a 6 horas.

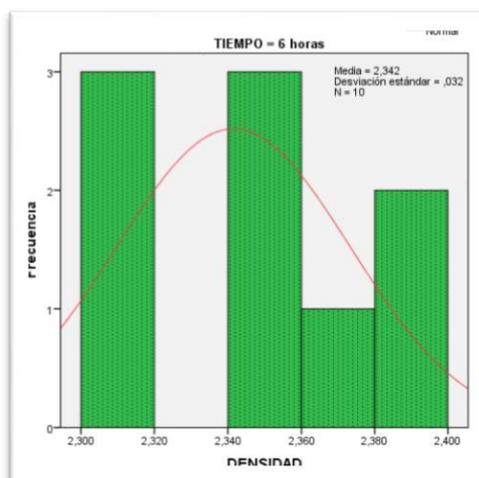


Figura 70. Distribución normal de densidad a 6 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 71 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.017 < 0.05$, donde deducimos que la distribución no es normal para la densidad analizada a 8 horas.

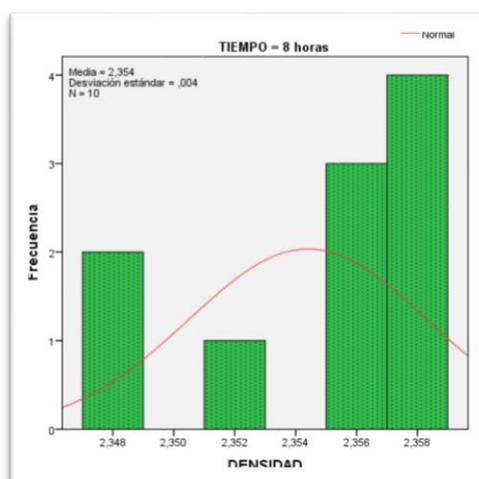


Figura 71. Distribución normal de densidad a 8 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 72 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.557 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la densidad analizada a 10 horas.

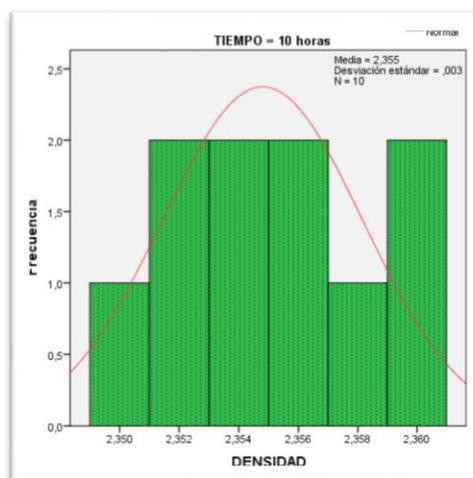


Figura 72. Distribución normal de densidad a 10 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 73 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0,081 > 0,05$, donde deducimos que la distribución es normal para la densidad analizada a 12 horas.

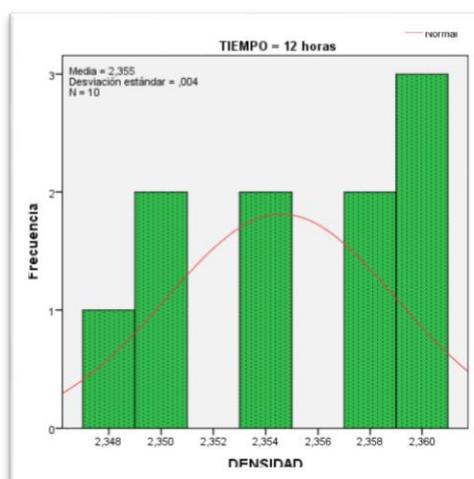


Figura 73. Distribución normal de densidad a 12 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 74 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0,265 > 0,05$, donde deducimos que la distribución es normal para la densidad analizada a 14 horas.

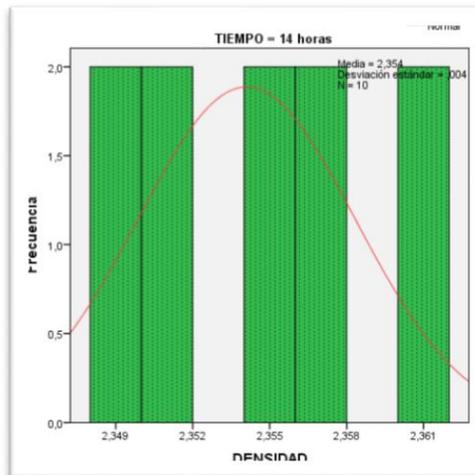


Figura 74. Distribución normal de densidad a 14 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 75 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.814 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la densidad analizada a 16 horas.

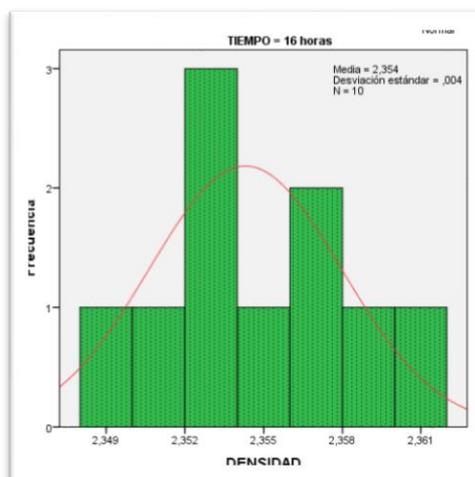


Figura 75. Distribución normal de densidad a 16 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 76 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.814 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la densidad analizada a 18 horas.

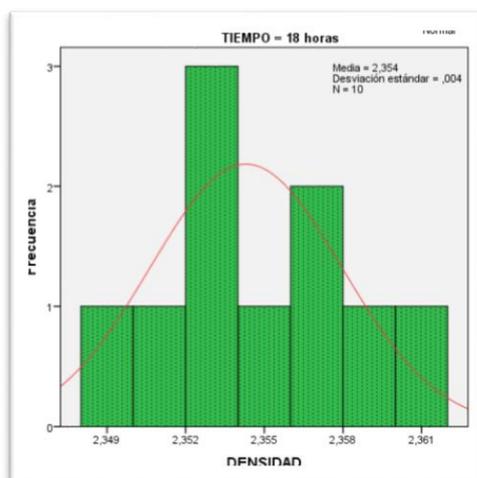


Figura 76. Distribución normal de densidad a 18 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 77 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.148 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la densidad analizada a 20 horas.

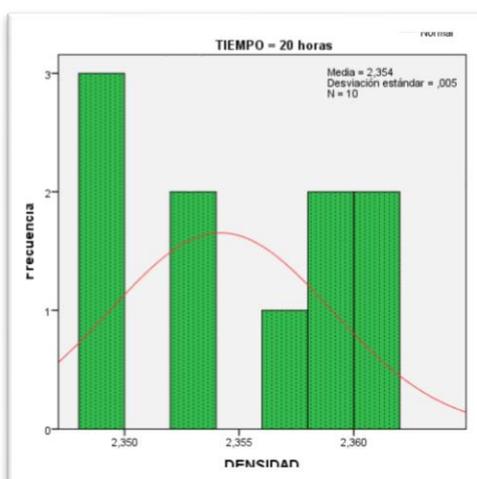


Figura 77. Distribución normal de densidad a 20 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 78 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.311 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la densidad analizada a 24 horas.

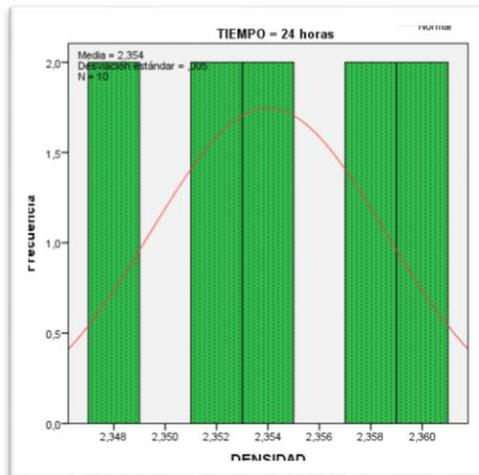


Figura 78. Distribución normal de densidad a 24 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 79 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.412 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la densidad analizada a 36 horas.

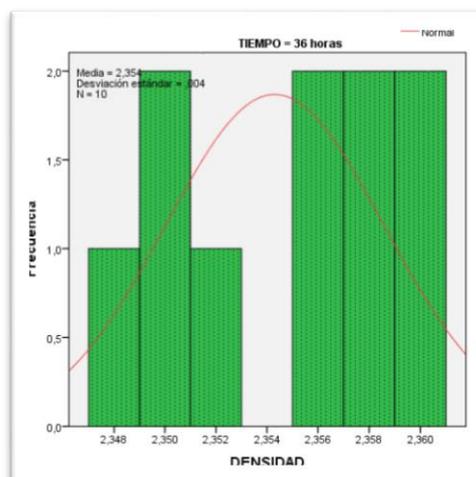


Figura 79. Distribución normal de densidad a 36 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 80 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.154 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la densidad analizada a 48 horas.

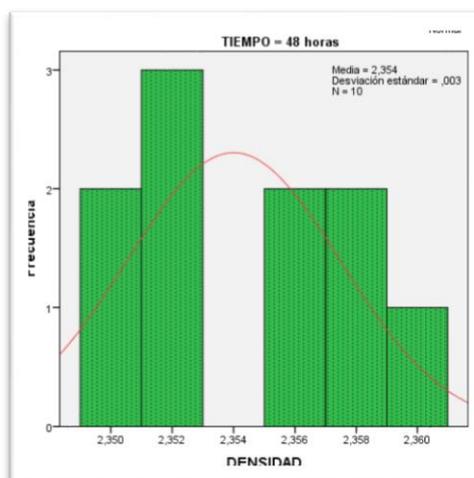


Figura 80. Distribución normal de densidad a 48 horas.
Fuente: Propia.

En la figura 81 se observa la prueba de normalidad en el cual se infiere que los datos tienden a ser simétricos. En el análisis estadístico el valor del nivel de significancia es $0.297 > 0.05$, donde deducimos que la distribución es normal para la densidad analizada a 72 horas.

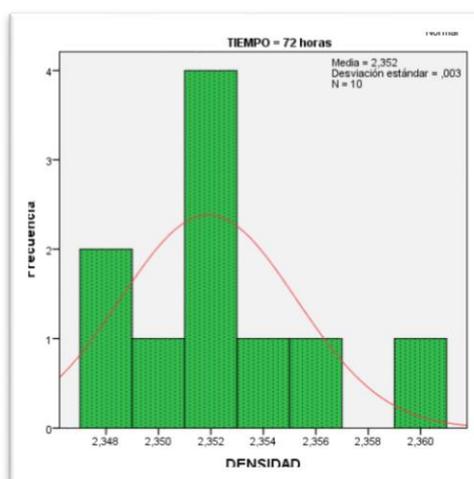


Figura 81. Distribución normal de densidad a 72 horas.
Fuente: Propia.

Al realizar el análisis completo de la distribución normal de los datos, se observó si los datos son paramétricos o no paramétricos, para analizar si existe la correlación entre las variables. En este caso se empleará el coeficiente de correlación de Spearman por contar un grupo de datos no paramétricos.

Luego planteamos las siguientes hipótesis: Nivel de significancia 0.05

H₀: $r = 0$ (No existe correlación entre el tiempo de espera para compactación y la densidad de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h).

H₁: $r \neq 0$ (Existe correlación entre el tiempo de espera para compactación y la densidad de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h).

Tabla 65.
Correlación de Spearman, Densidad vs Tiempo

NIVEL DE CORRELACIÓN		TIEMPO	DENSIDAD	
Rho de Spearman	TIEMPO	Coeficiente de correlación	1,000	-,085
		Sig. (bilateral)		,319
		N	140	140
	DENSIDAD	Coeficiente de correlación	-,085	1,000
		Sig. (bilateral)	,319	.
		N	140	140
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).				

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 65 se observa el análisis del coeficiente de correlación de Spearman, en donde el nivel de significancia es 0.319 cuyo valor analizado es mayor a 0.05 del valor establecido, por ello se acepta la hipótesis nula donde nos indica que no existe correlación entre las dos variables. También observamos un $r = -0.085$, donde nos indica que existe una correlación negativa débil, por tanto, concluimos que no existe una correlación significativa.

En la figura 82 se observa la curva de densidad vs tiempo, donde se tomó en cuenta el R^2 el cual genera una línea de tendencia, para este análisis para el R^2 cúbico se tiene un valor de ajuste de 0.014.

También se observó que la densidad es variable durante el análisis del tiempo estudiado, por tanto para analizar los valores se obtuvo la ecuación 3, a través de ello determinaremos los valores de densidad:

$$Y = 2.36 - 7.46 * 10^{-4} * X + 2.33 * 10^{-5} * X^2 - 2.02 * 10^{-7} * X^3 \dots (3)$$

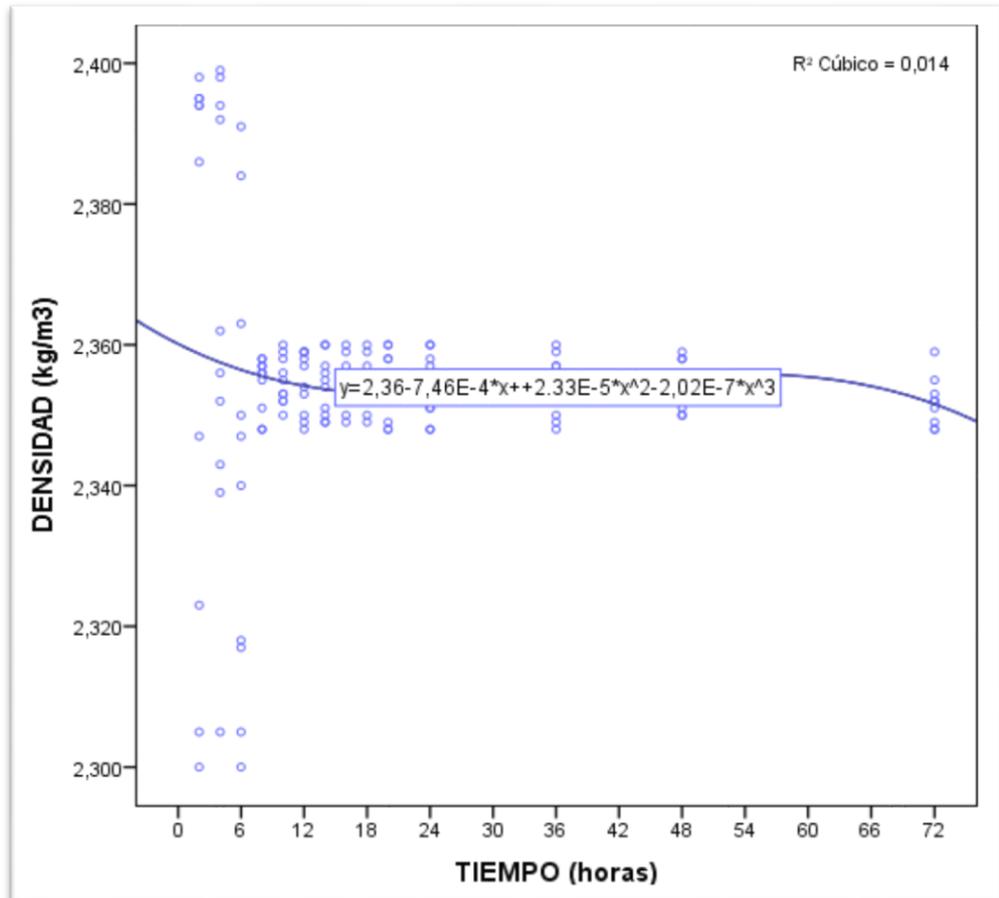


Figura 82. Densidad vs Tiempo.
Fuente: Propia.

4.5. Análisis comparativo entre la Estabilidad, Fluencia y Densidad entre el tiempo para la compactación.

En la Figura 83 se muestra el resultado comparativo de la estabilidad en función del tiempo al cual se ha compactado cada muestra, se utilizó la prensa de estabilidad Marshall para determinar la serie de valores, mediante un análisis estadístico se determinó el valor máximo, obteniéndose la estabilidad máxima de 2827.44 kg.

En la Figura 84 se muestra el resultado comparativo de la fluencia en función del tiempo al cual se ha compactado cada muestra, mediante el indicador de flujo de asfalto se determinó la serie de valores, registrando que la fluencia permanece casi constante alrededor de 7mm y 8mm.

La Figura 85 se muestra el resultado comparativo de la densidad en función del tiempo al cual se ha compactado cada muestra, el espécimen fue sometido a ensayo para determinar la densidad, de acuerdo a los valores se registró que la densidad varía con un pequeño aumento en el tiempo de 8 a 36 horas respecto a su compactación, a partir de ahí comienza a disminuir.

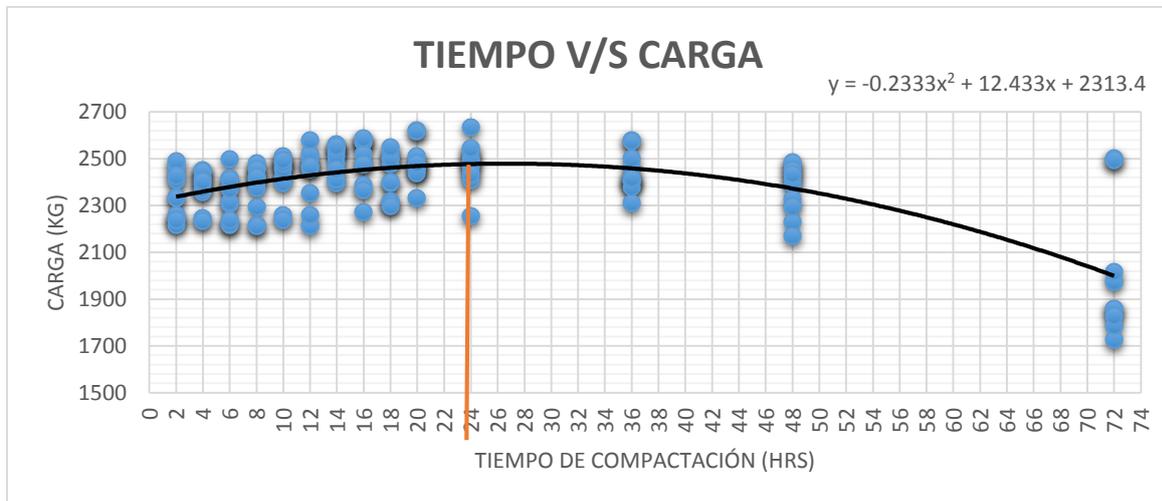


Figura 83. Variación de la estabilidad en función del tiempo de compactación.
Fuente: Elaboración propia.

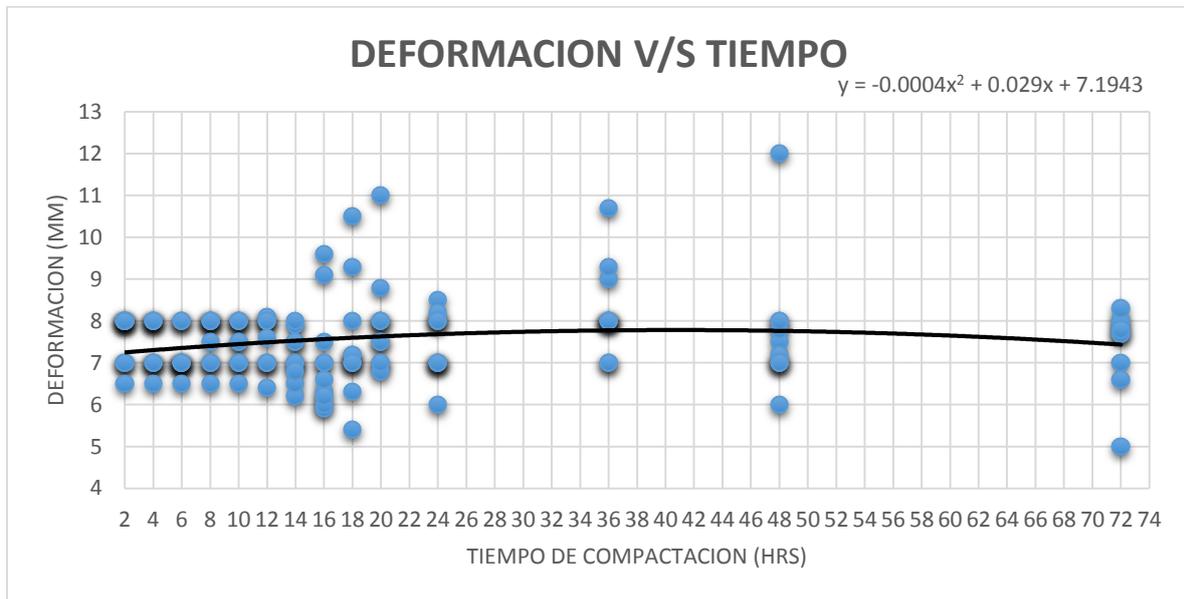


Figura 84. Variación de la deformación en función del tiempo de compactación.
Fuente: Elaboración propia

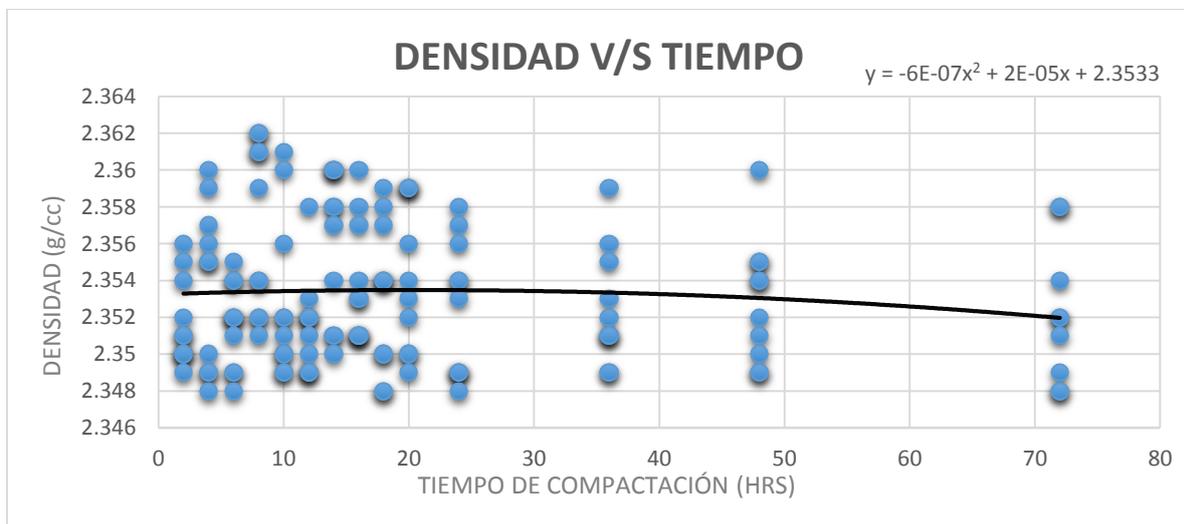


Figura 85. Variación de la Densidad en función del tiempo de compactación.
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Las conclusiones que se desprenden del desarrollo de esta tesis son las siguientes:

- Se ha podido observar que el uso granulométrico indicado en las especificaciones técnicas de la construcción de carreteras para mezcla asfáltica en frío, denota una mayor cantidad de finos que en la especificación de mezclas asfáltica en caliente. En nuestro diseño representa el 67.50% del total.
- Al obtener el % óptimo de la mezcla asfáltica en frío (7.41%) es mayor al óptimo observado en mezclas asfálticas en caliente que normalmente se encuentra entre 5 a 6 %, esto se debe a que la emulsión asfáltica contiene un aproximado de 30 % de agua.
- Se ha podido observar que las mayores estabilidades se dan cuando la compactación de los especímenes se realiza entre los 12 a 36 horas, siendo el valor más alto cuando el espécimen es compactado a las 22 y 24 horas.
-

MÍNIMA	1589.720 kg
MÁXIMA	2827.440 kg
PROMEDIO	2324.484 kg
DESV. ESTÁNDAR	202.632 kg

- En el caso de la fluencia, el tiempo de compactación no tiene mucha influencia pues los valores se mantienen casi constantes manteniendo un promedio de 7.449 mm, el cual se encuentra dentro de lo esperado, para una mezcla asfáltica en frío.

MÍNIMA	5.000 mm
MÁXIMA	12.000 mm
PROMEDIO	7.449 mm
DESV. ESTÁNDAR	0.965 mm

- Respecto a la densidad al igual que en la fluencia no hay mucha variación respecto al valor, existe una pequeña caída de la densidad a partir de las 36 horas, debido a que es más difícil compactar a partir de este periodo. La densidad promedio obtenido de los especímenes fue 2.355 gr/cm³.

MÍNIMA	2.300 gr/cm ³
MÁXIMA	2.399 gr/cm ³
PROMEDIO	2.355 gr/cm ³
DESV. ESTÁNDAR	0.017 gr/cm ³

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda continuar la investigación utilizando las diferentes variedades de emulsión asfáltica para determinar si arrojan diferentes tiempos de compactación óptimo.
- Se recomienda difundir el uso de las mezclas asfálticas en frío ya que con un uso adecuado de procedimientos y manejo de tiempos pueden ofrecer propiedades físicas muy cercanas a las mezclas asfálticas en caliente.

- Se recomienda que esta metodología se realice en zonas de acceso difícil o cuando el metrado es pequeño, tal que no justifica la instalación de una planta de asfalto en caliente.
- Se recomienda que el diseño de mezcla asfáltica en frío con emulsión CSS -1h, se elabore en el tiempo de 22 a 24 horas a un intervalo de temperatura de 0°C a 20°C, para obtener la mejor mezcla posible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Departamento de Desarrollo Urbano Quilcas.** *Mapa general de los barrios y anexos del Distrito de Quilcas.* Municipalidad Distrital de Quilcas, 2018.
- **Ibañez Aguilera, Hector.** *Usos de Emulsiones en Pavimentos Asfálticos ; Asfalto Calientes y Frios.* Tesis de Pregrado (Titulo de Constructor civil). Chile: Universidad Austral de Chile, 2003.
- **Instituto de Asfalto y Asociación de Fabricantes de Emulsiones Asfálticas.** *Manual Básico de Emulsiones Asfálticas.* Usa: s.n.,2014.
- **Ministerio de Transportes y Comunicaciones.** *Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción”.*Lima:s.n, 2013.
- **Ministerio de Transportes y Comunicaciones.** *Manual de Ensayo de Materiales.* Lima: s.n.,2016.
- **Monografías.** *Monografías.com* [en línea], 2017. [Citado el: 27 de Junio de 2018.] <http://www.monografias.com/trabajos85/coeficiente-correlacion-karl-pearson/coeficiente-correlacion-karl-pearson.shtml>.
- **Nolberto Sifuentes, Violeta y Ponce Aruneri, María.** *Estadística inferencial aplicada.* Textos de Maestría en Educación. Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2008.
- **Otiniano Arribasplata, Miguel y Paria Caballero, Maricarmen.** *Análisis de las Propiedades Físico – Mecánicas presentes en las Mezclas Asfálticas en Frío utilizando Emulsiones Asfálticas Catiónicas y Agregados Pétreos de la Localidad – Nuevo Chimbote - 2015.* Tesis de Pregrado (Título de Ingeniero Civil). Perú: Universidad Nacional del Santa, 2016.
- **Tamayo, Mario Tamayo.** *Proceso de la Investigación Científica.* México : Limusa, 2003.

- **Tan Malaga, Jorgue, Vera, Giovani y Oliveros Ramos, Ricardo.** *Tipos y estrategias de investigación científica.* s.n. : Morata, 2008.
- **Valderrama Mendoza, Santiago.** *Pasos para elaborar proyectos de Investigación Científica.* Lima : San Marcos E.I.R.L, 2002.
- **Villa Chaman, Víctor.** *Reciclado In Situ en Frío de Pavimentos empleando Emulsiones Asfálticas – Aplicación :Colegio FAP Manuel Polo Jiménez,Urb. San Gabiono – Santiago de Surco.* Tesis de Pregrado (Título de Ingeniero Civil. Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2017.
- **Zapata Ferrero, Ignacio.** *Formulación de Emulsiones Asfálticas,Proyecto de I+D+i de pertenencia: Metodología Teórico Práctica para el Diseño de Tratamientos Superficiales Bituminosos Bajo Condiciones de servicio.* Paper (LEMaC Centro de Investigación Viales). Argentina: Departamento de Ingeniería Civil, 2012.

ANEXOS

Anexos 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es la influencia del tiempo de espera para compactación en las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas – Huancayo 2017.? <p>Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es la influencia del tiempo de espera para compactación en la estabilidad de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas – Huancayo 2017.? • ¿Cuál es la influencia del tiempo de espera para compactación en la fluencia de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas – Huancayo 2017.? • ¿Cuál es la influencia del tiempo de espera para compactación en la densidad de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas – Huancayo 2017.? 	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar la influencia del tiempo de espera para compactación en las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas – Huancayo 2017. <p>Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar la influencia del tiempo de espera para compactación en la estabilidad de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas – Huancayo 2017. • Determinar la influencia del tiempo de espera para compactación en la fluencia de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas – Huancayo 2017. • Determinar la influencia del tiempo de espera para compactación en la densidad de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas – Huancayo 2017. 	<p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <ul style="list-style-type: none"> • El tiempo de espera para compactación influye en las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas – Huancayo 2017. <p>Hipótesis específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • El tiempo de espera para compactación influye en la estabilidad de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas – Huancayo 2017. • El tiempo de espera para compactación influye en la fluencia de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas – Huancayo 2017. • El tiempo de espera para compactación influye en la densidad de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas – Huancayo 2017. 	<p>Variable independiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de espera para compactación <p>Variable dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h

OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	
		Dimensiones	Indicadores
VI: Tiempo de espera para compactación	Es la estimación exacta del tiempo para ser compactado, utilizando el surfactante utilizado.	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo 	<ul style="list-style-type: none"> • Intervalo de tiempo (horas)
VD: Propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h	Las proporciones relativas de estos minerales determinan las propiedades mecánicas de la mezcla.	<ul style="list-style-type: none"> • Estabilidad • Fluencia • Densidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Prensa de estabilidad de Marshall • Dinamómetro • Gravedad específica aparente

CONTROL DE CALIDAD DE EMULSIONES ASFÁLTICAS CATIONICAS

Emulsión Asfáltica Cationica de Rotura Lenta CSS-1h, CRL-1h

CLIENTE	ASFALTOS & CONSTRUCCIONES S.A.C.	FECHA DE FABRICACIÓN	06-12-17
		FECHA DE EMBARQUE	07-12-17
		LOTE Nº	EM056-12-17

PRUEBAS A LA EMULSIÓN

Ensayos	Unidad	Resultado	Especificación NTP 321.059 / EG-2013	Método De Referencia
1. Viscosidad Saybol de Emulsiones Asfálticas 25°C	seg.	22	20 Min	ASTM D 88 MTC E-403.00
2. Tamizado de las Emulsiones Asfálticas	%	0.02	0.1 Max	ASTM D 6933 MTC E-406.00
3.- Carga de Partícula de las emulsiones asfálticas	(+)	(+)	Positivo	ASTM D 7402 MTC E-407.00
4. Estabilidad al almacenamiento (24h)	%	0.8	1.0 Max	ASTM D 6930-04
5. Residuo por Destilación	%	59.5	57.0 Min	ASTM D 244 MTC E-401.00

PRUEBAS AL RESIDUO POR DESTILACIÓN

Ensayos	Unidad	Resultado	Especificación NTP 321.059 / EG-2013	Método De Referencia
1. Penetración de los Materiales Asfálticos, 25°C	0.1mm	60	40-80	ASTM D 5 MTC E-304.00
2. Ductilidad de los Materiales Bituminosos, 25°C, 5cm/min	cm.	100	40 min	ASTM D 113 MTC E-306.00
3. Solubilidad en Tricloroetileno, %	%	99.2	97.5 min	ASTM D 2042 MTC E 302

* Especificación de emulsiones cationicas, EG-2013 tabla 415-04

Edición	Enero 2016, Versión 01	REVISADO POR	: Ing. M.V.B.
Hecho por	Tec. M.C.D.	FECHA DE ENSAYO	: 07-12-17
SUPERVISADO	Ing. I.C.R.	PESO ESPECIFICO EMULSION	: 1003 g/l

OBSERVACIONES:

- * para largos periodos de almacenamiento se recomienda redrcula la emulsión por lo menos una vez a la semana.
- * La solución jabonosa se diseño con un valor de pH = 1.9

original cliente
copio 1 área despacho
copio 2 área laboratorio

CAH CONTRATISTAS GENERALES S.A

M.V.B.
IQ MARIA VERGARA BARRANZUELA
JEFE DE LABORATORIO

* El presente documento contiene única y exclusivamente a la muestra sometida a ensayo y al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones.
* Queda terminantemente prohibido la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización expresa por escrito por CAH Contratistas Generales S.A, asimismo la empresa no es responsable por los daños o pérdidas ocasionadas por el uso inadecuado del producto.

Planta de Emulsiones Asfálticas y Asfaltos Modificados con Polímeros
Calleo: Calle 4-5, Urb. Grimanosa Mz C, Lt 5 --- Telfs: 5722457-- 572-3447-- 717-7388 Anexo Lab, 105-106 Nextel: 491*6906

Av. República de Colombia 671 - Oficina 603 San Isidro - Lima - Perú Telfs: 4406239-4417577-4400064-4220440-4225221
CENTRAL TELEFÓNICA: 204-5100 Fax: Anexo (150)



Foto 1: Cantera de agregado zarandeado, de donde se extrajo todo el material para los ensayos.



Foto 2: Llenado de agregado de acuerdo al tamaño nominal requerido por la norma.



Foto 3: Vaciado de material mojado en bandejas para ser llevado al horno.



Foto 4: Secado del material fino para ser tamizado.



Foto 5: Preparación de los agregados para ser tamizado.



Foto 6: Tamizado de material de $\frac{3}{4}$.



Foto 7: Tamizado de material de 3/8.



Foto 8: Pesado de material fino tamizado.



Foto 9: Primera etapa de material tamizado por tamaños nominales para ser mezclado y ensayado.



Foto 10: Total de material por tamaños nominales requeridos por la norma para ser mezclado y ensayado.



Foto 11: Vaciado del material al trompito para ser mezclado y encontrar una mezcla homogénea.



Foto 12: Pesado de la emulsión asfáltica CSS-1h.



Foto 13: Vaciado de la emulsión asfáltica CSS-1h.



Foto 14: Mezclado del material tamizado y la emulsión asfáltica en el trompito, hasta encontrar una mezcla homogénea.



Foto 15: Después de un mezclado homogéneo, se vierte el material en un recipiente para posteriormente ser ensayado.



Foto 16: Material asfáltico en frío terminando para ser ensayado.



Foto 17: Pesado 1250 gramos de material para ser ensayado y ser colocado en las briquetas.



Foto 18: Ensayo de Marshall de acuerdo a los intervalos de tiempos.



Foto 19: Desmolde de las briquetas para extraer el espécimen a las 10 horas.



Foto 20: Muestras extraídas de las briquetas a las 16 horas.



Foto 21: Total de muestras realizadas cada intervalo de tiempo.



Foto 22: Muestras exudadas después de 2 días.



Foto 23: Medición de la altura de todos los especímenes para realizar las correcciones.



Foto 24: Muestra 1 compactado a 2 horas, se observa que el espécimen tiene buena consistencia.



Foto 25: Muestras roturadas a 2 horas.