



UNIVERSIDAD LATINA
FACULTA DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Licenciatura Ingeniería Civil

Proyecto de graduación

Efecto del recalentamiento de las mezclas asfálticas en caliente en los resultados de los ensayos establecidos en la metodología de diseño Marshall

Autor:

David Artavia Aguilar

Heredia, septiembre de 2017



TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: "EFECTO DEL RECALENTAMIENTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EN LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS ESTABLECIDOS EN LA METODOLOGÍA DE DISEÑO MARSHALL", fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil:

ING. CARLOS SOLÍS MOLINA

TUTOR

ING. JOSÉ MARÍA ULATE ZARATE

LECTOR

ING. DOMINGO ERNESTO DELGADO MARTÍNEZ, PH.D

REPRESENTANTE DE RECTORÍA

COMITÉ ASESOR



ING. CARLOS SOLÍS MOLINA

TUTOR

ING. JOSÉ MARÍA ULATE ZARATE

LECTOR

ING. DOMINGO ERNESTO DELGADO MARTÍNEZ, PH.D

REPRESENTANTE DE RECTORÍA



**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR LECTOR DEL
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD (PROYECTO DE
GRADUACIÓN)**

Heredia, 18 de septiembre, de 2017

Sres.
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad (Proyecto de Graduación o Tesis de Grado) bajo el título "Efecto del recalentamiento de las mezclas asfálticas en caliente en los resultados de los ensayos establecidos en la metodología de diseño Marshall" por parte del estudiante: David Artavía Aguilar, como requisito para que el citado estudiante puedan optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

Ing. Carlos Solís Molina



**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR LECTOR DEL
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD (PROYECTO DE
GRADUACIÓN)**

Heredia, 19 de septiembre, de 2017

Sres.
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad (Proyecto de Graduación o Tesis de Grado) bajo el título "Efecto del recalentamiento de las mezclas asfálticas en caliente en los resultados de los ensayos establecidos en la metodología de diseño Marshall" por parte del estudiante: David Artavia Aguilar, como requisito para que el citado estudiante puedan optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

Ing. José María Ulate Zárata

Puntarenas, 2 de octubre de 2017

Señores:
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Escuela de Ingeniería Civil
Universidad Latina

Por este medio hago constar que he revisado y corregido la sintaxis, la morfología y la semántica del texto denominado: "Efecto del recalentamiento de las mezclas asfálticas en caliente en los resultados de los ensayos establecidos en la metodología de diseño Marshall", propiedad de David Artavia Aguilar, el cual se ha presentado como requisito para optar por el grado académico de Licenciatura Ingeniería Civil.

Cordialmente,



Lcda. Magdalena Venegas Porras
Filóloga
Carné 10785
Cédula 6-230-116



“Carta Autorización del autor(es) para uso didáctico del Trabajo Final de Graduación”

Vigente a partir del 31 de Mayo de 2016

Instrucción: Complete el formulario en PDF, imprima, firme, escanee y adjunte en la página correspondiente del Trabajo Final de Graduación.

Yo (Nosotros):

Escriba Apellidos, Nombre del Autor(a). Para más de un autor separe con " ; "

David Artavia Aguilar

De la Carrera / Programa: Licenciatura en Ingeniería Civil

autor (es) del (de la) *(Indique tipo de trabajo):* Proyecto de Graduación
titulado:

Efecto del recalentamiento de las mezclas asfálticas en caliente en los resultados de los ensayos establecidos en la metodología de diseño Marshall

Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página web institucional, así como medios electrónicos en general, internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos dentro o fuera de la Red Laureate, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo con lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente podrá ser consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando resguarden la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de esta.

La presente autorización se extiende el día *(Día, fecha)* 29 del mes septiembre del año 2017 a las 1:00 pm. Asimismo declaro bajo fe de juramento, conociendo las consecuencias penales que conlleva el delito de perjurio: que soy el autor(a) del presente trabajo final de graduación, que el contenido de dicho trabajo es obra original del (la) suscrito(a) y de la veracidad de los datos incluidos en el documento. Eximo a la Universidad Latina; así como al Tutor y Lector que han revisado el presente, por las manifestaciones y/o apreciaciones personales incluidas en el mismo, de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjuicio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores *Según orden de mención al inicio de ésta carta:*

AGRADECIMIENTO

A todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en la realización de este proyecto.

Al Ing. Carlos Solís Molina, por ser mi tutor durante este proyecto. Por brindarme la oportunidad de llevar a cabo la etapa de experimentación en CACISA.

Al Ing. Miguel Mora Chávez, por atender mis dudas durante la elaboración de este proyecto.

A los técnicos del laboratorio de CACISA por la ayuda brindada en la elaboración de este proyecto.

DEDICATORIA

A mis padres, por su sacrificio económico y su apoyo incondicional, pues sus ánimos de seguir adelante fueron muy importantes para poder culminar los estudios.

A mi familia, porque su apoyo incondicional y la motivación de seguir adelante me ayudaron a culminar esta etapa.

Resumen

Debido al continuo control de calidad que se realiza a las plantas de producción de mezclas asfálticas en caliente en nuestro país, para verificar que la producción diaria cumpla con los diseños de mezclas, se desea analizar el efecto del recalentamiento de las mezclas asfálticas en caliente, debido a que los laboratorios no pueden realizar los ensayos respectivos en condiciones normales como lo establece la metodología de diseño Marshall.

En la presente investigación se realizó un análisis mediante los ensayos de la metodología Marshall a catorce muestras, siete en condiciones normales de los ensayos “sin recalentar” y siete después de recalentar las muestras; ello, con el fin de verificar si el recalentamiento genera pérdida en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, en comparación con los resultados de los ensayos de la misma muestra de mezcla asfáltica en caliente.

El método utilizado para realizar los respectivos ensayos a las muestras de las mezclas asfálticas en caliente sin aditivos fue el método Marshall, el análisis comparativo de los resultados de los ensayos de las muestras en condiciones normales y recalentadas se realizó con métodos estadísticos, media, desviación estándar, coeficiente de variación y una validación de datos mediante la prueba F para varianzas de dos muestras.

Palabras claves: mezclas asfálticas, metodología Marshall, aditivo, recalentadas, sin recalentar, desviación estándar, coeficiente de variación, prueba F.

TABLA CONTENIDOS

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Antecedentes	1
1.2	Problema de la Investigación	2
1.3	Objetivo General	3
1.4	Objetivos Específicos.....	3
1.5	Justificación del estudio de la investigación	4
1.5	Impacto.....	4
1.6	Alcance y Limitaciones.....	4
II.	MARCO TEÓRICO.....	5
2.1	Mezclas asfálticas en caliente	5
2.2	Características de la mezcla	5
2.2.1	Densidad de la mezcla.....	5
2.2.2	Vacíos de aire	6
2.2.3	Vacíos en el agregado mineral	6
2.2.4	Contenido de asfalto.....	7
2.3	Propiedades consideradas en el diseño de mezclas	7
2.3.1	Estabilidad.....	7
2.3.2	Durabilidad.....	8
2.3.3	Impermeabilidad.....	9
2.3.4	Trabajabilidad.....	9
2.3.5	Flexibilidad.....	10
2.3.6	Resistencia a la fatiga	10
2.3.7	Resistencia al deslizamiento.....	10
2.4	Componentes en una mezcla asfáltica.....	11
2.4.1	Asfalto	11
2.4.2	Agregados.....	11

2.5	Método Marshall (ASTM D-6926 Y D-6927 O AASTHO T245).....	14
2.5.1	Descripción del método de Marshall.....	14
2.5.2	Preparación de las muestras de ensayos	15
2.5.3	Procedimientos del ensayo Marshall.....	16
2.5.3.1	Determinación del peso específico total.....	16
2.5.3.2	Ensayos de estabilidad y fluencia.....	16
2.5.3.3	Valor de estabilidad Marshall.....	17
2.5.3.4	Valor de fluencia Marshall	17
2.5.3.5	Análisis de densidad.....	18
2.5.3.6	Gravedad específica bruta (AASHTO T 166).....	18
2.5.3.7	Gravedad específica máxima teórica (ASTM D 2041).....	19
2.5.3.8	Extracción cuantitativa de aglutinante asfáltico de mezclas calientes (HMA) (AASHTO T 164-14).....	20
2.5.3.9	Contenido de humedad de mezclas de asfalto por método horno (AASHTO T 329-15)	20
2.5.3.10	Análisis mecánico del agregado extraído (AASHTO T 30-15)	21
2.5.3.11	Estabilidad Marshall y Flujo de Mezclas de Asfalto (ASTM D6927-15).....	22
2.5.3.12	Preparación de muestras de mezcla de asfalto utilizando el aparato Marshall (ASTM D6926-16).....	23
2.5.3.13	Análisis de vacíos.....	23
2.5.3.14	Análisis del peso unitario	24
2.5.3.15	Análisis de vacíos en el agregado mineral	24
2.5.3.16	Vacíos llenos de asfalto.....	24
2.6	Términos estadísticos	24
2.6.1	Media o media aritmética para una serie simple	24
2.6.2	Varianza (variancia).....	24
2.6.3	Desviación estándar o desviación típica.....	25
2.6.4	Coefficiente de variación.....	26

2.6.5 Prueba F para varianza de dos muestras.....	26
III. METODOLOGÍA	29
3.1 Procedimiento del proyecto.....	29
3.2 Equipo por utilizar.....	31
3.2.1 Moldeo de especímenes de mezcla asfáltica por el método Marshall.....	31
3.2.2 Gravedad específica bruta de la mezcla compactada (pastillas).....	32
3.2.3 Gravedad específica máxima teórica de la mezcla asfáltica suelta	33
3.2.4 Estabilidad Marshall y Flujo de Mezclas de Asfalto (ASTEM D6927-15)	34
3.2.5 Extracción cuantitativa de aglutinante asfáltico de mezclas calientes	34
3.2.6 Contenido de humedad de mezclas de asfalto por método horno (AASHTO T 329-15). 35	
3.2.7 Análisis mecánico del agregado extraído (AASHTO T 30-15)	35
3.2.6 Preparación de muestras de mezcla de asfalto utilizando el aparato Marshall (ASTM D6926-16)	36
3.3 Procedimientos para los ensayos.....	37
3.3.1 Preparación de muestras de mezcla de asfalto utilizando el aparato Marshall (ASTM D6926-16)	37
3.3.2 Gravedad específica bruta y densidad de la mezcla compactada (pastillas)	38
3.3.3 Gravedad específica máxima teórica de la mezcla asfáltica suelta	39
3.3.4 Estabilidad Marshall y Flujo de Mezclas de Asfalto (ASTEM D6927-15)	40
3.3.5 Extracción cuantitativa de aglutinante asfáltico de mezclas calientes	41
3.3.6 Contenido de humedad de mezclas de asfalto por método horno (AASHTO T 329-15). 42	
3.3.7 Análisis mecánico del agregado extraído (AASHTO T 30-15)	43
3.4 Definición de Variables.....	44
IV. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	45
4.1 Datos de los ensayos Marshall de la muestra sin recalentar.....	46
4.1.1 Muestra #3570-1	46
4.1.1.1 Gravedad específica máxima teórica.....	46
4.1.1.2 GBS, porcentaje de vacíos.....	47

4.1.1.3 Estabilidad y flujo plástico	47
4.1.1.4 Análisis de la estabilidad.....	48
4.1.1.5 Análisis del flujo plástico.....	49
4.1.1.6 Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado	51
4.1.1.7 Graduación de los agregados.....	52
4.1.2 Muestra #3570-3	53
4.1.2.1 Gravedad específica máxima teórica.....	53
4.1.2.2 GBS, porcentaje de vacíos.....	54
4.1.2.3 Estabilidad y flujo plástico.....	54
4.1.2.4 Análisis de estabilidad.....	55
4.1.2.5 Análisis del flujo plástico.....	56
4.1.2.6 Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado	58
4.1.2.7 Graduación de los agregados.....	59
4.1.3 Muestra #3570-5	60
4.1.3.1 Gravedad específica máxima teórica.....	60
4.1.3.2 GBS, porcentaje de vacíos.....	61
4.1.3.3 Estabilidad y flujo plástico.....	61
4.1.3.4 Análisis de Estabilidad	62
4.1.3.5 Análisis del Flujo Plástico.....	63
4.1.3.6 Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado	65
4.1.3.7 Graduación de los agregados.....	66
4.1.4 Muestra #3570-7	67
4.1.4.1 Gravedad específica máxima teórica.....	67
4.1.4.2 GBS, porcentaje de vacíos.....	68
4.1.4.3 Estabilidad y flujo plástico.....	68
4.1.4.4 Análisis de estabilidad.....	69
4.1.4.5 Análisis del Flujo Plástico.....	70

4.1.4.6	Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado	72
4.1.4.7	Graduación de los agregados.....	73
4.1.5	Muestra #3570-9	74
4.1.5.1	Gravedad específica máxima teórica.....	74
4.1.5.2	GBS y porcentaje de vacíos	75
4.1.5.3	Estabilidad y flujo plástico.....	75
4.1.5.4	Análisis de estabilidad.....	76
4.1.5.5	Análisis del flujo plástico.....	77
4.1.5.6	Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado	79
4.1.5.7	Graduación del agregado.....	80
4.1.6	Muestra #3570-11	81
4.1.6.1	Gravedad específica máxima teórica.....	81
4.1.6.2	GBS y porcentaje de vacíos	82
4.1.6.3	Estabilidad y flujo plástico.....	82
4.1.6.4	Análisis de estabilidad.....	83
4.1.6.5	Análisis del flujo plástico.....	84
4.1.6.6	Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado	86
4.1.6.7	Graduación de los agregados.....	87
4.1.7	Muestra #3570-13	88
4.1.7.1	Gravedad específica máxima teórica.....	88
4.1.7.2	Gbs y porcentaje de vacíos.....	89
4.1.7.3	Estabilidad y flujo plástico.....	89
4.1.7.4	Análisis de estabilidad.....	90
4.1.7.5	Análisis del flujo plástico.....	91
4.1.7.6	Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado	93
4.1.7.7	Graduación del agregado.....	94
4.1.8	Análisis de las muestras sin recalentar en forma conjunta	95

4.1.8.1 Gravedad específica máxima teórica de las muestras sin recalentar	95
4.1.8.2 Gravedad específica bruta de las muestras sin recalentar	96
4.1.8.3 Porcentaje de vacíos de las muestras sin recalentar	97
4.1.8.4 Estabilidad de las muestras sin recalentar	98
4.1.8.5 Flujo plástico de las muestras sin recalentar	100
4.1.8.6 Porcentaje de asfalto sobre la mezcla de las muestras sin recalentar	101
4.1.8.7 Porcentaje de asfalto sobre el agregado de las muestras sin recalentar	103
4.1.8.8 Graduación de los agregados de las muestras sin recalentar	104
4.2 Datos de los ensayos Marshall de las muestras recalentadas	106
4.2.1 Muestra #3570-2	106
4.2.1.1 Gravedad específica máxima teórica.....	106
4.2.1.2 Gravedad específica bruta y porcentaje de vacíos.....	107
4.2.1.3 Estabilidad y flujo plástico.....	107
4.2.1.4 Análisis de estabilidad.....	108
4.2.1.5 Análisis del flujo plástico.....	109
4.2.1.6 Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado	111
4.2.1.7 Graduación del agregado.....	112
4.2.2 Muestra #3570-4	113
4.2.2.1 Gravedad específica máxima teórica.....	113
4.2.2.2 Gravedad específica bruta y porcentaje de vacíos.....	114
4.2.2.3 Estabilidad y flujo plástico.....	114
4.2.2.4 Análisis de estabilidad.....	115
4.2.2.5 Análisis del flujo plástico.....	116
4.2.2.6 Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado	118
4.2.2.7 Graduación del agregado.....	119
4.2.3 Muestra #3570-6	120
4.2.3.1 Gravedad específica máxima teórica.....	120

4.2.3.2 Gravedad específica bruta y porcentaje de vacíos.....	121
4.2.3.3 Estabilidad y flujo plástico.....	121
4.2.3.4 Análisis de estabilidad.....	122
4.2.3.5 Análisis del flujo plástico.....	123
4.2.3.6 Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado	125
4.2.3.7 Graduación del agregado.....	126
4.2.4 Muestra #3570-8	127
4.2.4.1 Gravedad específica máxima teórica.....	127
4.2.4.2 Gravedad específica bruta y porcentaje de vacíos.....	128
4.2.4.3 Estabilidad y flujo plástico.....	128
4.2.4.4 Análisis de estabilidad.....	129
4.2.4.5 Análisis del flujo plástico.....	130
4.2.4.6 Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado	132
4.2.4.7 Graduación del agregado.....	133
4.2.5 Muestra #3570-10	134
4.2.5.1 Gravedad específica máxima teórica.....	134
4.2.5.2 Gravedad específica bruta y porcentaje de vacíos.....	135
4.2.2.3 Estabilidad y flujo plástico.....	135
4.2.5.4 Análisis de estabilidad.....	136
4.2.5.5 Análisis del flujo plástico.....	137
4.2.5.6 Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado	139
4.2.5.7 Graduación del agregado.....	140
4.2.6 Muestra #3570-12	141
4.2.6.1 Gravedad específica máxima teórica.....	141
4.2.6.2 Gravedad específica bruta y porcentaje de vacíos.....	142
4.2.6.3 Estabilidad y flujo plástico.....	142
4.2.6.4 Análisis de estabilidad.....	143

4.2.6.5	Análisis del flujo plástico.....	144
4.2.6.6	Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado	146
4.2.6.7	Graduación del agregado.....	147
4.2.7	Muestra #3570-14	148
4.2.7.1	Gravedad específica máxima teórica.....	148
4.2.7.2	Gravedad específica bruta y porcentaje de vacíos.....	149
4.2.7.3	Estabilidad y flujo plástico.....	149
4.2.7.4	Análisis de estabilidad.....	150
4.2.7.5	Análisis del flujo plástico.....	151
4.2.7.6	Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado	153
4.2.7.7	Graduación del agregado.....	154
4.2.8	Análisis de las muestras recalentadas en forma conjunta.....	155
4.2.8.1	Gravedad específica máxima teórica de las muestras recalentadas.....	155
4.2.8.2	Gravedad específica bruta de las muestras recalentadas	156
4.2.8.3	Porcentaje de vacíos de las muestras sin recalentar	157
4.2.8.4	Estabilidad de las muestras recalentadas.....	158
4.2.8.5	Flujo plástico de las muestras recalentadas.....	160
4.2.8.6	Porcentaje de asfalto sobre la mezcla de las muestras recalentadas.....	161
4.2.8.7	Porcentaje de asfalto sobre el agregado de las muestras recalentadas	163
4.2.8.8	Graduación de los agregados de las muestras recalentadas.....	164
4.3	Análisis de las mezclas en condición sin recalentar y recalentadas	165
4.3.1	Análisis de la muestras sin recalentar y recalentadas mediante los promedios finales de los ensayos	165
4.3.2	Prueba F para varianza de dos muestras.....	168
4.3.2.1	Prueba F para varianza de dos muestras de la gravedad específica máxima teórica.....	169
4.3.2.2	Prueba F para varianza de dos muestras para la gravedad específica bruta	170
4.3.2.3	Prueba F para la varianza de dos muestras del % de vacíos.....	170

4.3.2.4 Prueba F para la varianza de dos muestras de la estabilidad	171
4.3.2.5 Prueba F para la varianza de dos muestras del flujo plástico	171
4.3.2.6 Prueba F para la varianza de dos muestras del % asfalto sobre la mezcla	173
4.3.2.7 Prueba F para varianza de dos muestras del % asfalto sobre los agregados	174
4.3.2.8 Prueba F para la graduación de los agregados de las muestras	175
V. CONCLUSIONES	181
VI. RECOMENDACIONES	183
VII. BIBLIOGRAFIA.....	184
ANEXOS.....	186

Tablas

Tabla 1- Causas y Efectos de Inestabilidad en el pavimento	8
Tabla 2: Especificaciones de graduación para mezclas asfálticas en caliente a utilizar en superficies de ruedo y de base	13
Tabla 3: Fórmulas para el cálculo de la varianza	25
Tabla 4: Fórmulas para el cálculo de la desviación estándar	26
Tabla 5: Distribución F de Fisher con un valor de significancia del 0.05	28
Tabla 6: Numeración de las muestras	45
Tabla 7: Máxima Teórica, muestra # 3570-1	46
Tabla 8: GBS, % de vacíos, muestra #3570-1	47
Tabla 9: Estabilidad y Flujo plástico, muestra #3570-1	47
Tabla 10: Análisis de estabilidad, muestra #3570-1	48
Tabla 11: Análisis de estabilidad, muestra # 3570-1	48
Tabla 12: Análisis del flujo plástico, muestra #3570-1	49
Tabla 13: Análisis del Flujo plástico, muestra #3570-1	50
Tabla 14: Porcentaje de asfalto, muestra #3570-1	51
Tabla 15: Graduación de agregados, muestra #3570-1	52
Tabla 16: Máxima Teórica, muestra #3570-3	53
Tabla 17: GBS, porcentaje de vacíos, muestra #3570-3	54
Tabla 18: Estabilidad y Flujo plástico. Muestra #3570-3	54
Tabla 19: Análisis de estabilidad, muestra #3570-3	55
Tabla 20: Análisis de estabilidad, muestra #3570-3	56
Tabla 21: Análisis del flujo plástico, muestra #3570-3	56
Tabla 22: Análisis del flujo plástico, muestra #3570-3	57
Tabla 23: Porcentaje de asfalto, muestra #3570-3	58
Tabla 24: Graduación de los agregados, muestra #3570-3	59
Tabla 25: Máxima teórica, muestra #3570-5	60
Tabla 26: GBS y porcentaje de vacíos, muestra #3570-5	61
Tabla 27: Estabilidad y Flujo Plástico, muestra #3570-5	61
Tabla 28: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-5	62
Tabla 29: Análisis de Estabilidad, Muestra #3570-5	62
Tabla 30: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-5	63
Tabla 31: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-5	64
Tabla 32: Porcentaje de Asfalto, muestra #3570-5	65

Tabla 33: Graduación de los agregados, muestra #3570-5.....	66
Tabla 34: Máxima Teórica, muestra #3570-7	67
Tabla 35: GBS y porcentaje de vacíos, muestra #3570-7	68
Tabla 36: Estabilidad y Flujo Plástico, muestra #3570-7.....	68
Tabla 37: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-7	69
Tabla 38: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-7	69
Tabla 39: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-7.....	70
Tabla 40: Análisis del Flujo Plástico, #3570-7	71
Tabla 41: Porcentaje de Asfalto, muestra #3570-7	72
Tabla 42: Graduación de los agregados, muestra #3570-7.....	73
Tabla 43: Máxima Teórica, muestra #3570-9	74
Tabla 44: GBS y porcentaje de vacíos, muestra #3570-9	75
Tabla 45: Estabilidad y Flujo Plástico, muestra #3570-9.....	75
Tabla 46: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-9	76
Tabla 47: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-9.....	77
Tabla 48: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-9.....	77
Tabla 49: Análisis de flujo plástico, muestra #3570-9	78
Tabla 50: Porcentaje de Asfalto, muestra #3570-9	79
Tabla 51: Graduación del Agregado, muestra #3570-9	80
Tabla 52: Máxima Teórica, muestra #3570-11	81
Tabla 53: GBS y porcentaje de Vacíos, muestra #3570-11	82
Tabla 54: Estabilidad y Flujo Plástico, muestra #3570-11.....	82
Tabla 55: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-11	83
Tabla 56: Análisis de estabilidad, muestra #3570-11.....	84
Tabla 57: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-11.....	84
Tabla 58: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-11.....	85
Tabla 59: Porcentaje de Asfalto, muestra #3570-11	86
Tabla 60: Graduación de los Agregados, muestra #3570-11	87
Tabla 61: Máxima Teórica, muestra #3570-13	88
Tabla 62: Gbs y porcentaje de Vacíos, muestra #3570-13.....	89
Tabla 63: Estabilidad y Flujo Plástico, muestra #3570-13.....	89
Tabla 64: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-13	90
Tabla 65: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-13	91
Tabla 66: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-13.....	91

Tabla 67: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-13.....	92
Tabla 68: Porcentaje de Asfalto, muestra #3570-13	93
Tabla 69: Graduación del Agregado, #3570-13	94
Tabla 70: Promedios de los respectivos ensayos de las muestras sin recalentar	95
Tabla 71: Máxima Teórica de las Muestras sin recalentar	95
Tabla 72: Gravedad específica bruta de las muestras sin recalentar	96
Tabla 73: Porcentaje de Vacíos de las Muestras sin recalentar	97
Tabla 74: Estabilidad de las muestras sin recalentar	98
Tabla 75: Corrección de estabilidad de las muestras sin recalentar	99
Tabla 76: Flujo Plástico de las muestras sin recalentar	100
Tabla 77: Corrección del flujo plástico de las muestras sin recalentar	101
Tabla 78: % de Asfalto sobre la Mezcla de las muestras sin recalentar	101
Tabla 79: Corrección del % de asfalto sobre la mezcla de las muestras sin recalentar	102
Tabla 80: % Asfalto sobre el Agregado de las muestras sin recalentar.....	103
Tabla 81: Corrección del % asfalto sobre el agregado	104
Tabla 82: Rangos y tolerancia para los agregados para mezclas con un tamaño máximo nominal de 12.5mm.....	104
Tabla 83: % Pasando de la graduación de los agregados de las muestras sin recalentar	105
Tabla 84: Gravedad específica Máxima Teórica, muestra #3570-2.....	106
Tabla 85: Gbs y porcentaje de vacíos, muestra #3570-2.....	107
Tabla 86: Estabilidad y Flujo Plástico, muestra #3570-2.....	107
Tabla 87: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-2.....	108
Tabla 88: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-2.....	109
Tabla 89: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-2.....	109
Tabla 90: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-2.....	110
Tabla 91: Porcentaje de Asfalto, muestra #3570-2	111
Tabla 92: Graduación del Agregado, muestra #3570-2	112
Tabla 93: Máxima Teórica, muestra #3570-4	113
Tabla 94: Gbs y porcentaje de Vacíos, muestra #3570-4.....	114
Tabla 95: Estabilidad y Flujo Plástico, muestra #3570-4.....	114
Tabla 96: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-4	115
Tabla 97: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-4	116
Tabla 98: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-4.....	116
Tabla 99: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-4.....	117

Tabla 100: Porcentaje de Asfalto, muestra #3570-4	118
Tabla 101: Graduación del Agregado, muestra #3570-4	119
Tabla 102: Máxima Teórica, muestra #3570-6	120
Tabla 103: Gbs y porcentaje de Vacíos, muestra #3570-4.....	121
Tabla 104: Estabilidad y Flujo Plástico, muestra #3570-6.....	121
Tabla 105: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-6.....	122
Tabla 106: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-6.....	123
Tabla 107: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-6.....	123
Tabla 108: Análisis de Flujo Plástico, muestra #3570-6.....	124
Tabla 109: Porcentaje de Asfalto, muestra #3570-6	125
Tabla 110: Graduación de Agregado, muestra #3570-6.....	126
Tabla 111: Máxima Teórica, muestra #3570-8	127
Tabla 112: Gbs y porcentaje de Vacíos, muestra #3570-8.....	128
Tabla 113: Estabilidad y Flujo Plástico, muestra #3570-8.....	128
Tabla 114: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-8.....	129
Tabla 115: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-8.....	130
Tabla 116: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-8.....	130
Tabla 117: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-8.....	131
Tabla 118: Porcentaje de Asfalto, muestra #3570-8	132
Tabla 119: Graduación de Agregado, muestra #3570-8.....	133
Tabla 120: Máxima Teórica, muestra #3570-10	134
Tabla 121: Gbs y porcentaje de Vacíos, muestra #3570-10.....	135
Tabla 122: Estabilidad y Flujo Plástico.....	135
Tabla 123: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-10.....	136
Tabla 124: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-10.....	137
Tabla 125: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-10.....	137
Tabla 126: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-10.....	138
Tabla 127: Porcentaje de Asfalto, muestra #3570-10	139
Tabla 128: Graduación de Agregado, muestra #3570-10.....	140
Tabla 129: Máxima Teórica, muestra #3570-12	141
Tabla 130: Gbs y porcentaje de Vacíos, muestra #3570-12.....	142
Tabla 131: Estabilidad y Flujo Plástico.....	142
Tabla 132: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-12.....	143
Tabla 133: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-12.....	144

Tabla 134: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-12.....	144
Tabla 135: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-12.....	145
Tabla 136: Porcentaje de Asfalto, muestra #3570-12	146
Tabla 137: Graduación de Agregado, muestra #3570-12.....	147
Tabla 138: Máxima Teórica, muestra #3570-14	148
Tabla 139: Gbs y porcentaje de Vacíos, muestra #3570-14.....	149
Tabla 140: Estabilidad y Flujo Plástico, muestra #3570-14.....	149
Tabla 141: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-14.....	150
Tabla 142: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-14.....	151
Tabla 143: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-14.....	151
Tabla 144: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-14.....	152
Tabla 145: Porcentaje de Asfalto, muestra #3570-14	153
Tabla 146: Graduación de Agregado, muestra #3570-14.....	154
Tabla 147: Promedios de los respectivos ensayos de las muestras recalentadas.....	155
Tabla 148: Máxima Teórica de las muestras recalentadas	155
Tabla 149: Gravedad Específica Bruta de las muestras recalentadas.....	156
Tabla 150: Porcentaje de Vacíos de las muestras recalentadas	157
Tabla 151: Estabilidad de las muestras recalentadas.....	158
Tabla 152: Corrección de la estabilidad de las muestras recalentadas	159
Tabla 153: Flujo Plástico de las muestras recalentadas	160
Tabla 154: Corrección del flujo plástico de las muestras recalentadas	161
Tabla 155: Porcentaje de Asfalto sobre la Mezcla de las Muestras Recalentadas	161
Tabla 156: Corrección del % asfalto sobre la mezcla de las muestras recalentadas	162
Tabla 157: Porcentaje de Asfalto sobre el Agregado de las muestras recalentadas	163
Tabla 158: Corrección del % asfalto sobre el agregado de las muestras recalentadas	164
Tabla 159: Porcentaje pasando de la graduación de agregados de las mezclas recalentadas.....	164
Tabla 160: Promedios de los ensayos de las muestras sin recalentar.....	165
Tabla 161: Promedios de los ensayos de las muestras recalentadas	166
Tabla 162: Comparación de los promedios de los ensayos de las muestras sin recalentar y recalentadas	166
Tabla 163: Coeficiente de variación de las muestras sin recalentar y recalentadas	167
Tabla 164: Comparación de los % Pasando en las mallas para las muestras recalentadas y sin recalentar.....	168
Tabla 165: Resumen de datos para la prueba F.....	169

Tabla 166: Prueba F para la máxima teórica.....	169
Tabla 167: Prueba F para la gravedad específica bruta.....	170
Tabla 168: Prueba F para el % de vacíos	170
Tabla 169: Prueba F para la estabilidad	171
Tabla 170: Prueba F para el flujo plástico.....	171
Tabla 171: Prueba F para el flujo plástico con las muestras corregidas.....	172
Tabla 172: Prueba F para el % asfalto sobre la mezcla.....	173
Tabla 173: Prueba F para el % asfalto sobre la mezcla con muestras corregidas	173
Tabla 174: Prueba F del % asfalto sobre el agregado	174
Tabla 175: Prueba F del % asfalto sobre el agregado de las muestras corregidas	175
Tabla 176: Resumen del % pasando de las muestras sin recalentar.....	176
Tabla 177: Resumen del % pasando de las muestras recalentadas	176
Tabla 178: Prueba F para varianzas de dos muestras del % pasando de la malla de 12,7 mm	177
Tabla 179: Prueba F para varianzas de dos muestras del % pasando de la malla de 9,5 mm	177
Tabla 180: Prueba F para varianzas de dos muestras del % pasando de la malla N° 4.....	178
Tabla 181: Prueba F para varianzas de dos muestras del % pasando de la malla N°8.....	178
Tabla 182: Prueba F para varianzas de dos muestras del % pasando de la malla N°16.....	179
Tabla 183: Prueba F para varianzas de dos muestras del % pasando de la malla N°30.....	179
Tabla 184: Prueba F para varianzas de dos muestras de % pasando de la malla N°50.....	180
Tabla 185: Prueba F para varianzas de dos muestras del % pasando de la malla N°200.....	180

Ilustraciones:

Ilustración 2: Grafica de estabilidad, muestra #3570-1	48
Ilustración 3: Grafica de estabilidad, muestra #3570-1	49
Ilustración 4: Grafica del Flujo Plástico, muestra #3570-1	50
Ilustración 5: Grafica del Flujo Plástico, muestra #3570-1	50
Ilustración 6: Grafica de Estabilidad, muestra #3570-3	55
Ilustración 7: Grafica de estabilidad, muestra #3570-3	56
Ilustración 8: Grafica del flujo plástico, muestra #3570-3	57
Ilustración 9: Grafica del flujo plástico, muestra #3570-3	57
Ilustración 10: Grafica de Estabilidad, muestra #3570-5	62
Ilustración 11: Grafica de Estabilidad, muestra #3570-5	63
Ilustración 12: Grafica del Flujo Plástico, muestra #3570-5	64
Ilustración 13: Grafica del Flujo Plástico, muestra #3570-5	64
Ilustración 14: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-7	69
Ilustración 15: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-7	70
Ilustración 16: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-7	71
Ilustración 17: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-7	71
Ilustración 18 : Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-9	76
Ilustración 19: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-9	77
Ilustración 20: Gráfico del Flujo Plástico, muestra #3570-9	78
Ilustración 21: Grafica del Flujo Plástico, muestra #3570-9	78
Ilustración 22: Grafica de Estabilidad, muestra #3570-11	83
Ilustración 23: Grafica de estabilidad, muestra #3570-11	84
Ilustración 24: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-11	85
Ilustración 25: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-11	85
Ilustración 26: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-13	90
Ilustración 27: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-13	91
Ilustración 28: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-13	92
Ilustración 29: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-13	92
Ilustración 30: Gráfica de la Máxima Teórica de las Muestras sin recalentar	96
Ilustración 31: Grafica de la Gravedad Especifica Bruta de las muestras sin recalentar	97
Ilustración 32: Gráfica del % de Vacíos de las muestras sin recalentar	98

Ilustración 33: Gráfica de la Estabilidad de las muestras sin recalentar	99
Ilustración 34: Grafica del Flujo Plástico de las muestras sin recalentar	100
Ilustración 35: Gráfica del % Asfalto sobre la mezcla de las muestras sin recalentar	102
Ilustración 36: Gráfica del % Asfalto sobre el Agregado de las muestras sin recalentar	103
Ilustración 37: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-2	108
Ilustración 38: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-2	109
Ilustración 39: Grafica del Flujo Plástico, muestra #3570-2	110
Ilustración 40: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-2	110
Ilustración 41: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-4	115
Ilustración 42: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-4	116
Ilustración 43: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-4	117
Ilustración 44: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-4	117
Ilustración 45: Grafica de Estabilidad, muestra #3570-6	122
Ilustración 46: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-6	123
Ilustración 47: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-6	124
Ilustración 48: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-6	124
Ilustración 49: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-8	129
Ilustración 50: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-8	130
Ilustración 51: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-8	131
Ilustración 52: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-8	131
Ilustración 53: Grafica de Estabilidad, muestra #3570-10	136
Ilustración 54: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-10	137
Ilustración 55: Grafica del Flujo Plástico, muestra #3570-10	138
Ilustración 56: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-10	138
Ilustración 57: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-12	143
Ilustración 58: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-12	144
Ilustración 59: Grafica del Flujo Plástico, muestra #3570-12	145
Ilustración 60: Gráfico del Flujo Plástico, muestra #3570-12	145
Ilustración 61: Gráfico de estabilidad, muestra #3570-14	150
Ilustración 62: Gráfica de estabilidad, muestra #3570-12	151
Ilustración 63: Gráfico del Flujo Plástico, muestra #3570-14	152
Ilustración 64: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-14	152
Ilustración 65: Gráfica de la Máxima Teórica de las muestras recalentadas	156
Ilustración 66: Gráfica de la Gravedad Específica Bruta de las muestras recalentadas	157

Ilustración 67: Gráfica del Porcentaje de Vacíos de las muestras recalentadas	158
Ilustración 68: Grafica de la Estabilidad de las muestras recalentadas	159
Ilustración 69: Grafica del Flujo Plástico de las muestras recalentadas.....	160
Ilustración 70: Gráfica del Porcentaje de Asfalto sobre el Mezcla de las muestras recalentadas ...	162
Ilustración 71: Grafica del Porcentaje de Asfalto sobre el Agregado de las muestras recalentadas	163

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Los conceptos del Método de Marshall para diseño de mezclas de pavimentos fueron desarrollados por Bruce Marshall, un ex. Ingeniero de Bitúmenes del Departamento de Carreteras del Estado de Mississippi. El ensayo Marshall en la forma en que se conoce actualmente, surgió mediante una investigación realizada por el cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en 1943. El cuerpo de Ingenieros adoptó el método Marshall, con el objetivo de adaptarlo para el diseño y control de mezclas de pavimento bituminoso en el campo. A través de extensas investigaciones de pruebas de tránsito, de estudios en el laboratorio, el Cuerpo de Ingenieros mejoró y agregó detalles en el procedimiento del ensayo Marshall que posteriormente ayudaron al desarrollo de más criterios de diseño de mezclas asfálticas en caliente. Se conoce como MAC a las mezclas asfálticas en caliente.

El propósito del método de Marshall para el diseño de mezclas asfálticas en caliente de pavimento que usan cemento asfáltico, consiste en determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados, proveyendo información sobre las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, también establece densidades y contenidos óptimos de vacío que se deben cumplir durante la construcción del pavimento, el cual solo se puede utilizar en mezclas asfálticas en caliente. (Asphalt Institute , 1982)

1.2 Problema de la Investigación

¿Cuáles serán las características de hacer los ensayos de la metodología Marshall, con muestras de la mezcla bajo condiciones de recalentamiento, ventajoso o no? ¿Disminuirán las propiedades mecánicas de la mezcla debido al recalentamiento? ¿Es significativo, desde el punto de vista de resultados de los ensayos de laboratorio, el recalentamiento de las mezclas asfálticas?

1.3 Objetivo General

Analizar los efectos adversos del recalentamiento de las mezclas asfálticas en caliente obtenidos de los especímenes ensayados mediante la metodología de diseño Marshall, para verificar si se producen variaciones considerables en los resultados al recalentar las muestras.

1.4 Objetivos Específicos

1. Realizar el muestreo de las mezclas asfálticas en la planta de producción de Meco.
2. Determinar las propiedades mediante la metodología de diseño Marshall de las mezclas asfálticas en caliente en condiciones normales, mediante los ensayos de gravedad específica bruta y gravedad específica máxima teórica, estabilidad, flujo plástico, contenido de asfalto y graduación de los agregados.
3. Determinar las propiedades mediante la metodología de diseño Marshall de las mezclas asfálticas en caliente bajo condiciones de recalentamiento, mediante los ensayos de gravedad específica bruta y gravedad específica máxima teórica, estabilidad, flujo plástico, contenido de asfalto y graduación de los agregados.
4. Comparar los resultados obtenidos entre las mezclas asfálticas en caliente en condiciones normales con respecto a las mezclas asfálticas en caliente, bajo condiciones de recalentamiento.

1.5 Justificación del estudio de la investigación

Este proyecto nace debido a que no hay una norma o reglamento que indique que no se puede recalentar las mezclas asfálticas en caliente para determinar las propiedades que se obtienen de los ensayos de la metodología diseño Marshall.

Debido a esto existe la necesidad de determinar las propiedades de las mezclas asfálticas en caliente mediante los ensayos de laboratorio, con mezclas en condiciones normales con respecto a las mezclas bajo condiciones de recalentamiento en hornos a 110-130°C, para determinar si se pierde veracidad en los resultados.

Mediante esta investigación se generará un documento con el que se pueda determinar si el recalentamiento en las mezclas asfálticas influye o no en los resultados obtenidos de los ensayos del laboratorio.

1.5 Impacto

Se quiere generar un documento en cual se demuestre si el recalentamiento genera pérdidas o no en los resultados de los ensayos de laboratorio.

1.6 Alcance y Limitaciones

Se utilizarán mezclas asfálticas en caliente de 12.5mm, tamaño máximo nominal, sin aditivo, producidas en planta de Meco, de un diseño conocido, para la investigación.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Mezclas asfálticas en caliente

En las mezclas asfálticas en caliente para pavimentos, el asfalto y los agregados se deben combinar en proporciones exactas. Mediante las proporciones relativas de estos materiales se determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el desempeño del pavimento terminado. Existen dos métodos de diseño que se utilizan para determinar las propiedades del asfalto y los agregados en la mezcla. Los cuales son el método de Marshall y el método Hveem.

Ambos métodos de diseño son ampliamente usados para el diseño de mezclas asfálticas para pavimentos. La selección y uso de cualquier de estos métodos de diseño de mezclas, queda al gusto del diseñador, debido a que los métodos tienen características y ventajas singulares, con cualquiera de los dos métodos se obtiene resultados satisfactorios. (Asphalt Institute , 1982)

2.2 Características de la mezcla

A las muestras de mezcla de pavimento preparadas en un laboratorio se les realiza un análisis para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. Este se enfoca hacia cuatro características de la mezcla, y la influencia que estas pueden tener en su desempeño. (Asphalt Institute , 1982)

Las cuatro características son:

2.2.1 Densidad de la mezcla

La densidad de una mezcla compacta se define como su peso unitario. Es de gran importancia tener una alta densidad en el pavimento terminado para asegurar un rendimiento duradero. Esta característica se expresa en kilogramos por metro cubico (kg/m^3) o libras por pie cubico (lb/ft^3); se calcula al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg/m^3 o 62.416 lb/ft^3). La densidad que se obtiene en el laboratorio se convierte en la densidad patrón, y se utiliza como referencia

para verificar si la densidad del pavimento colocado es, o no, la adecuada. (Asphalt Institute , 1982)

2.2.2 Vacíos de aire

Son espacios pequeños de aire presentes entre los agregados en la mezcla final compacta. Es necesario que las mezclas contengan cierto porcentaje de vacíos los cuales permiten que se dé una compactación adicional bajo el tráfico, proporcionando espacios en los que el asfalto pueda fluir durante las compactaciones provocadas por el tráfico diario. Entre un 3 y 5 por ciento es el porcentaje de vacíos permitido, el cual depende del diseño de la mezcla.

La durabilidad del pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos, pues un porcentaje alto de vacíos va a permitir la filtración de agua y aire que causan deterioro al pavimento, y un porcentaje muy bajo de vacíos puede provocar exudación de asfalto.

El contenido de vacíos y la densidad están directamente relacionados. Entre más alta sea la densidad, es menor el porcentaje de vacíos en el pavimento, y viceversa. (Asphalt Institute , 1982)

2.2.3 Vacíos en el agregado mineral

En los agregados minerales los vacíos son los espacios de aire que se encuentran entre las partículas del agregado en una mezcla compactada de pavimento, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto, los cuales son conocidos como VMA

El VMA representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (es todo el asfalto menos lo que es absorbido por el agregado) y el volumen de vacíos en la mezcla. Entre mayor sea el VMA, más espacios se tendrá para las películas de asfalto. Se tiene valores mínimos de VMA, los cuales se establecen para que se pueda lograr un espesor durable de la película de asfalto. Es perjudicial, en la calidad del pavimento, disminuir el VMA para economizar en el contenido de asfalto, ya que pueden resultar películas delgadas de este y mezclas con baja durabilidad y apariencia seca. (Asphalt Institute , 1982)

2.2.4 Contenido de asfalto

La cantidad de asfalto en una mezcla es de gran importancia y se debe determinar en el laboratorio y luego controlar con precisión en la obra. El contenido óptimo de asfalto en una mezcla dependerá de las características de los agregados, tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría de los agregados está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto. Es de gran importancia determinar la capacidad de absorción de los agregados usados en la mezcla para determinar el contenido óptimo 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 las superficies de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto”. (Asphalt Institute , 1982)

2.3 Propiedades consideradas en el diseño de mezclas

Para obtener un buen diseño de mezcla asfáltica, se debe cumplir con las siguientes características:

2.3.1 Estabilidad

En un asfalto la estabilidad es su capacidad para resistir desplazamiento y deformaciones bajo las cargas de tránsito. Para que un pavimento sea estable, debe ser capaz de mantener su forma y lisura bajo las cargas repetidas; un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos, ondulaciones y otras señales que indican cambios en la mezcla.

Los requisitos de estabilidad del pavimento solo se pueden establecer después de realizar un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de la estabilidad para un pavimento depende del tránsito esperado. Estas especificaciones deben ser lo suficientemente altas para acomodar de manera adecuada el tránsito esperado, pero no más altas de las que exigen las condiciones de tránsito; valores muy altos de estabilidad prucen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, un pavimento menos durable.

La estabilidad de una mezcla asfáltica depende de la cohesión y fricción interna. La cohesión es el resultado de la capacidad ligante del asfalto. La fricción interna de las partículas de agregado, está relacionada con características del agregado, tales como su forma y textura superficiales. En resumen, entre más angular sea la forma de las partículas del agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla asfáltica.

La fuerza ligante a la cohesión puede aumentar, con aumentos en la frecuencia de carga (tráfico), también aumenta a medida que se den aumentos en la viscosidad del asfalto, o a medida que la temperatura del pavimento disminuye; también los aumentos de contenido de asfalto en la mezcla hacen que la cohesión aumente. Cuando se produce aumentos en el contenido de asfalto, se produce una película demasiado gruesa sobre las partículas de agregado, lo cual resulta en pérdida de fricción entre las partículas. (Asphalt Institute , 1982)

Existen varias causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en los pavimentos. Algunas de estas causas y efectos son los mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1- Causas y Efectos de Inestabilidad en el pavimento

ESTABILIDAD BAJA	
CAUSAS	EFFECTOS
Exceso de asfalto en la mezcla.	Ondulaciones, ahuellamiento, afloramiento o exudación.
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla.	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente durante un cierto tiempo, genera dificultad para la compresión.
Agregado redondos sin, o con poca, superficie triturada.	Ahuellamiento y canalización.

Fuente: (Asphalt Institute , 1982)

2.3.2 Durabilidad

La durabilidad de un pavimento asfáltico es la capacidad para poder resistir factores como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto y

separación de sus películas de asfalto, como resultado de factores externos, tanto climáticos, de tránsito, o una combinación de estos.

La durabilidad depende de la calidad de los materiales en la mezcla. Hay tres formas de aumentar la durabilidad: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregados resistente a la separación y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

La mezcla no debe tener demasiados vacíos, lo cuales disminuyen la permeabilidad y conllevan al envejecimiento prematuro del pavimento.

2.3.3 Impermeabilidad

La impermeabilidad de un pavimento asfáltico es la resistencia al paso de agua y aire a través de él; está relacionado con el contenido de vacíos de la mezcla compactada.

La impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas; en teoría todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de pavimentos tienen cierto grado de permeabilidad. Lo cual es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados.

2.3.4 Trabajabilidad

La trabajabilidad permite la facilidad de colocación con que una mezcla de pavimento puede ser colocada y compactada; está ligada al comportamiento de los agregados, contenido de asfalto, relleno mineral, temperatura, grado y porcentaje entre otros. Las mezclas con una buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar, aquellas con mala trabajabilidad presentan dificultades de colocación y compactación.

La trabajabilidad se puede mejorar mediante los parámetros de diseño de la mezcla, el tipo de agregado o la granulometría. Si una mezcla es poco trabajable se puede adicionar asfalto y agregado fino para volverla más trabajable; ello, teniendo cuidado para garantizar que la mezcla modificada cumpla con los otros criterios de diseño, contenido de vacíos y estabilidad.

“La trabajabilidad es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y rastrillar a mano cantidades considerables de mezclas, como por ejemplo alrededor de tapas de alcantarillado, curvas pronunciadas, y otros obstáculos similares. Es muy importante usar mezclas trabajables en dichos sitios”. (Asphalt Institute , 1982)

Existen mezclas fácilmente deformables o trabajables conocidas como mezclas tiernas. Estas son demasiado inestables para su colocación y compactación apropiada; puede ser debido a su falta de relleno mineral, mucha arena de tamaño mediano, partículas lisas y redondeadas del agregado o demasiada humedad en la mezcla.

2.3.5 Flexibilidad

La flexibilidad es la capacidad que tiene un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que ocurran grietas, debido a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. La flexibilidad es una característica que se desea en todo pavimento asfáltico porque virtualmente todas las subrasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden por expansión del suelo.

Se debe buscar un equilibrio entre la flexibilidad y la estabilidad, para que sus requerimientos no entren en conflicto.

2.3.6 Resistencia a la fatiga

Es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio investigaciones, que la de cantidad de vacíos y de la viscosidad, tienen un efecto relevante en la resistencia a la fatiga. Un pavimento cuyo asfalto se ha deteriorado, envejecido o endurecido, tiene menor resistencia a la fatiga; también una mezcla asfáltica muy rígida. También influye el espesor de la capa y la capacidad de soporte de las capas inferiores.

2.3.7 Resistencia al deslizamiento

Es la habilidad de la superficie del pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las llantas de los vehículos, especialmente cuando la superficie está

mojada. Para obtener una buena resistencia al deslizamiento, las llantas del vehículo deben ser capaces de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento. Si un pavimento cuenta con una superficie áspera y rugosa tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa.

Para obtener la mejor resistencia al deslizamiento, los agregados deben ser de textura áspera y deben resistir el pulimiento bajo el tránsito. Existen agregados resistentes al pulimiento tipo silíceos, a diferencia de los calcáreos que son lo opuesto.

2.4 Componentes en una mezcla asfáltica

Una mezcla asfáltica está compuesta por los siguientes componentes:

2.4.1 Asfalto

Es un material de color negro, cementante el cual, en altas temperaturas se ablanda y se vuelve líquido; ello permite el recubrimiento de las partículas del agregado.

El asfalto que se usa para pavimentos se conoce como cemento asfáltico; es un material viscoso y pegajoso que se adhiere fácilmente a las partículas del agregado, lo que lo hace un excelente cemento para unir las partículas del agregado en un pavimento de mezcla en caliente.

2.4.2 Agregados

Los agregados son cualquier material mineral duro e inerte, que se usa en forma de partículas graduadas o fragmentos, como parte de las de las mezclas asfálticas en caliente. Algunos agregados muy comunes se componen de arena, grava, piedra triturada, escoria y polvo de roca. Los agregados constituyen entre el 90 y el 95 por ciento, en peso y entre el 75 y el 85 por ciento, en volumen. Dicho añadido al material asfáltico, permite ser un esqueleto que aportar resistencia y rigidez al sistema.

Tipos de agregados:

- Agregados Naturales: Estos se usan en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento; están constituidos por partículas producidas en procesos naturales de erosión y degradación.
- Agregados Procesados: Estos agregados se trituran y tamizan antes de usarlos. Proviene de la trituración de gravas naturales, piedras grandes y fragmentos de lecho rocoso que deben ser reducidos en tamaños para poder ser usados en pavimentos.
- Agregados Sintéticos: Estos agregados no existen en la naturaleza, son producto del procesamiento físico o químico de materiales.

Debido a que los agregados conforman el 90 a 95 por ciento, del peso de la mezcla de pavimentos, eso que la calidad del agregado sea un factor crítico en el comportamiento del pavimento, por lo que deben considerar los siguientes factores:

- Graduación y tamaño máximo de partículas.
- Limpieza.
- Dureza.
- Forma de la partícula.
- Textura de la superficie.
- Capacidad de absorción.
- Afinidad con el asfalto.
- Peso específico.

Para efectos de esta investigación se utilizó el tamaño de partícula máximo de 12.5 milímetros, estipulado por CR-2010; para capas de ruedo deberán ser menores o iguales un tamaño máximo nominal de 19 mm, de lo contrario, se utilizarán para bases o sub-bases.

Tabla 2: Especificaciones de graduación para mezclas asfálticas en caliente a utilizar en superficies de ruedo y de base

Especificaciones de graduación para mezcla asfáltica en caliente a utilizar en superficies de ruedo y capas de base														
Porcentaje pasando por peso Tamaño máximo nominal														
Mallas	37.5 mm		25 mm		19 mm		12.5 mm		9.5 mm		7.5 mm		4.75 mm	
	Rango Especificado	Tolerancia	Rango Especificado	Tolerancia	Rango Especificado	Tolerancia	Rango Especificado	Tolerancia	Rango Especificado	Tolerancia	Rango Especificado	Tolerancia	Rango Especificado	Tolerancia
50.0 mm	100													
37.5 mm	90 - 100	±5	100											
25.4 mm	75 - 90	±5	90 - 100	±5	100									
19.0 mm	-	-	77 - 92	±5	90 - 100	±5								
12.7 mm	42 - 85	±5	60 - 80	±5	66 - 90	±5	90 - 100	±5	100					
9.5 mm	-	-	50 - 70	±5	56 - 80	±5	70 - 90	±5	90 - 100	±5				
No.4	22 - 35	±4	30 - 39	±4	36 - 57	±4	45 - 65	±4	55 - 75	±4				
No.8	15 - 23	±4	19 - 27	±4	23 - 35	±4	28 - 39	±4	32 - 47	±4				
No.16	8 - 15	±4	11 - 18	±4	14 - 22	±4	16 - 26	±4	19 - 31	±4				
No.30	5 - 12	±4	7 - 14	±4	9 - 17	±4	9 - 16	±4	11 - 23	±4				
No.60	3 - 10	±4	4 - 11	±4	5 - 14	±4	5 - 16	±4	7 - 19	±4				
No.200	0 - 6	±2	1 - 7	±2	2 - 8	±2	2 - 8	±2	2 - 10	±2				

NOTAS:

1. La tolerancia es la desviación permitida al valor prescrito en la fórmula de mezcla para trabajo, en salidas del rango especificado. La tolerancia es absoluta.
2. La verificación de la granulometría de la mezcla producida, se efectuará de acuerdo con la norma de ensayo AASHTO T 30.
3. Alternativamente, para la verificación de la granulometría de la fórmula de la mezcla para trabajo, se podrá utilizar agregado proveniente de la banda transportadora en plantas mezcladoras de tambor, o de las tolvas calientes en plantas de dosificación. El agregado será utilizado de acuerdo con las normas de ensayo AASHTO T 11 y AASHTO T 27.

Fuente: (Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR-2010), 2010).

2.5 Método Marshall (ASTM D-6926 Y D-6927 O AASTHO T245)

Con el diseño de mezcla por el método Marshall, se pretende determinar entre el contenido óptimo de asfalto, combinación específica de agregados y todas las propiedades que deba tener una mezcla.

El método más utilizado en Costa Rica es el Marshall y el CR – 77 estipula en el artículo 401.03. “Se usará el método de diseño Marshall descrito por ASTM en la designación D–6926 y D–6927 u otro método aprobado por el ingeniero”. (Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes (CR-77), 1997). En el CR–2010 estipula en el artículo 418.03. “El contratista presentará al Ingeniero de Proyecto, antes de iniciar la producción de la mezcla asfáltica, el diseño propuesto, elaborado de acuerdo con el diseño Marshall Estándar, descrito por ASTM designación D 1559, para agregados con tamaño máximo nominal igual o menor que 19 mm, o el método Marshall Modificado para agregados para agregados con tamaño nominal mayor de 19 mm; tal como se describe en el Manual del Instituto del Asfalto MS-2, o por cualquier otro método aceptado por la administración”. (Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR-2010), 2010)

2.5.1 Descripción del método de Marshall

El método Marshall consiste en una serie de muestras normalizadas cada una con la misma combinación de agregados, pero con diferentes porcentajes de asfalto, normalmente entre 3 a 7%, variando cada 0.5% y mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar las mezclas asfálticas del agregado. La información más importante del método Marshall corresponde a: un análisis de la relación vacíos – densidad y una prueba de estabilidad – flujo de las muestras compactadas.

2.5.2 Preparación de las muestras de ensayos

El primer paso en el diseño, es determinar las principales características (estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, resistencia al deslizamiento, entre otros). Luego, seleccionar un tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que debe combinarse acorde con las necesidades del pavimento y la mezcla.

Se debe preparar una serie de pastillas o especímenes cilíndricos con dimensiones de 10 centímetros de diámetro y 6,35 de alto. Estas son preparadas haciendo que cada una contenga una cantidad diferente de asfalto.

Las muestras son preparadas de la siguiente forma:

1. El asfalto y el agregado a la hora del mezclado se calientan y se secan para simular los procesos de la planta. A la hora del mezclado, los agregados deben ser secados previamente por lo menos 12 horas al horno, a una temperatura de 110°C, para obtener un peso constante de estos y eliminar humedad. Se debe tener presente la temperatura de mezclado y su compactación.
2. Las mezclas asfálticas se colocan en moldes pre-calentados Marshall (aproximadamente de 95 a 150°C, puede equivaler a dos horas de curado en horno), para la preparación para la compactación con el martillo Marshall, que de igual forma es calentado el martillo; esta puede ser de forma mecánica o eléctrica. Antes de compactar los baches, deben darse 15 golpes de varilla alrededor del perímetro y diez en el interior.
3. Las probetas son compactadas mediante golpes en las dos caras, aplicados con el mazo Marshall, cuyo peso es de 4.5 kilogramos con una caída de 45.7 centímetros. Se aplican de 50 a 75 golpes en cada base. Se debe poner un filtro en ambas caras, esto para que no pierda la temperatura por el contacto con el molde. Importante, que dicho proceso debe ser rápido, pues no se puede perder temperatura. Una vez terminado, se debe esperar a que la pastilla se enfríe un poco para ser removida del molde y dejarse curar por más de tres horas.

4. Generalmente, se fabrican cinco series de tres especímenes, por lo menos con diferentes porcentajes de asfalto, aumentando o disminuyendo en un 0,5% por peso total de la mezcla y por peso total del agregado, tratando de ubicar el valor óptimo. Se debe guardar inmediatamente el peso seco para que no sea afectado por la humedad.

(Apuntes del curso de Laboratorio de Pavimentos. Ingeniería Civil, Universidad Latina, Campus San Pedro, 2017)

2.5.3 Procedimientos del ensayo Marshall

El método de ensayo Marshall tiene varios procesos:

2.5.3.1 Determinación del peso específico total

El peso específico total de cada muestra (pastilla) se determina tan pronto como las muestras recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente, aproximadamente durante tres horas a temperatura ambiente. El peso específico total se determina usando el procedimiento descrito en la norma AASHTO T 166.

2.5.3.2 Ensayos de estabilidad y fluencia

Este ensayo está dirigido a medir la resistencia a la deformación de mezcla; la fluencia mide dicha deformación, bajo cargas provocadas por el tránsito. La estabilidad es la máxima resistencia de la pastilla para soportar cargas en el momento de falla. Se mide la deformación con el aparato estabilómetro Marshall, que aplica la carga a una velocidad de 5.08 centímetros por minuto. El flujo o fluencia es una medición de la deformación plástica que tiene la pastilla al momento de falla. Se expresa en unidades de centésimas de centímetro (1/100 cm). Valores bajos de flujo son mezclas muy rígidas y al contrario representan muy blandas.

Los valores idóneos en Costa Rica se encuentran dentro de un rango de 20 a 40 centésimas de centímetro.

Las mezclas con valores bajos de fluencia y altos de estabilidad; son muy frágiles y rígidas para darles uso en un pavimento. Al contrario, con valores altos de fluencia son muy plásticas y con la tendencia a deformarse.

El procedimiento es el siguiente:

1. Las pastillas son calentadas en un baño de agua (60°C). Esta temperatura es la más caliente que un pavimento pueda experimentar.
2. La pastilla es removida del baño, se seca y es colocada en el aparato Marshall. Se aplica una carga sobre la pastilla y se mide la carga y deformación (fluencia).
3. La carga es aplicada con una velocidad constante de 51 mm (2 pulgadas) por minuto hasta fallar. Definida por la capacidad máxima que la pastilla pueda resistir.
4. Una vez sacada la pastilla del baño de agua, no se debe exceder más de 30s para fallarla.
5. El valor de estabilidad Marshall es la carga de falla y la lectura del medidor de fluencia se registra como fluencia.

2.5.3.3 Valor de estabilidad Marshall

Es una medida de la carga bajo la cual la pastilla cede o falla totalmente. El aparato Marshall cuenta con un medidor para las lecturas de estabilidad; durante el ensayo la carga es aplicada lentamente, las cabezas superior e inferior del aparato se acercan, y la carga sobre la pastilla aumenta al igual que la lectura en el indicador de cuadrante. La carga se suspende una vez se obtiene la carga máxima; la carga máxima indicada por el medidor es el valor de estabilidad Marshall.

2.5.3.4 Valor de fluencia Marshall

Es medida en centésimas de pulgada, representa la deformación de la pastilla; está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la pastilla. Las mezclas con valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento; tienen valores altos de fluencia, son

consideradas demasiado plásticas y tienen tendencia a sufrir deformaciones fácilmente bajo las cargas de tránsito.

2.5.3.5 Análisis de densidad

La densidad muestra el grado de compactación que logró la mezcla, la cual se determina con la gravedad específica bruta de los agregados y se expresa en kilogramos por metro cúbico.

2.5.3.6 Gravedad específica bruta (AASHTO T 166)

Se determina mediante los siguientes pasos:

1. Se deben tomar los pesos secos a una temperatura ambiente de la pastilla.
2. Se sumerge cada espécimen en agua a una temperatura de 25 +- 1°C. Por un periodo de 4 +- 1 minutos y se toma el peso sumergido.
3. Se remueve el espécimen y se seca con un paño húmedo, hasta que no se aprecie agua superficial. Se determina el peso de superficie saturada seca (W_{sss}).

La gravedad específica bruta debe tener hasta el tercer decimal.

Se calcula con la siguiente fórmula:

$$G_{bs} = \frac{W_{seco}}{(W_{sss} - W_{sum})}$$

Donde:

G_{bs} = Gravedad específica bruta de especímenes.

W_{seco} = Peso “seco” de la muestra en el aire (g).

W_{sss} = peso superficie saturada seca (g).

W_{sum} = peso de la muestra sumergida en agua a 25 ° C (g).

(AASHTO T 166, Bulk Specific Gravity of Compacted Asphalt Mixtures Using, 2007)

2.5.3.7 Gravedad específica máxima teórica (ASTM D 2041)

Se trata de una relación del peso dado de un material, al peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura. La temperatura usada es 25°C. Permite analizar cuánto puede absorber la mezcla para el porcentaje de asfalto óptimo. También, gracias a esta prueba se pueden determinar los vacíos en los especímenes Marshall compactados.

Procedimiento:

1. Mismo a la hora de preparar y mezclar los baches, la única diferencia es que se deja suelto; no se compactará.
2. Se calienta la mezcla previamente en el horno aproximadamente a 110°C por dos horas. Se separa la mezcla en una bandeja evitando que queden grupos muy unidos e impidiendo crear una fractura en el agregado y que no sean más grandes que 6.3mm (1/4”).
3. Se deja enfriar la muestra a temperatura ambiente; se vierte en un recipiente calibrado (Picnómetro) y se pesa. El peso seco de la muestra es nombrado “A”. El peso del recipiente lleno de agua a 25°C ± 0.5°C es nombrado “D”.
4. Se coloca agua de una forma apoyada al frasco para no introducir más vacíos y a 25°C. Luego se remueve el aire atrapado de la muestra por medio de la aplicación de vacío en una bomba de vacío. Dicha presión se mantiene por un periodo de 50 a 60 minutos.
5. El recipiente se termina de llenar completamente. El peso del frasco, más la muestra y el agua es “E”.

Se calcula con la siguiente fórmula:

$$G_{bsmax} = \frac{A}{(A + D - E)}$$

- $G_{bsm\acute{a}x}$: Gravedad específica máxima teórica, adimensional.
- A: Peso seco de la muestra, en g.
- E: Peso del picnómetro más tapa más muestra más agua, en g.

- D: Peso del picnómetro más tapa más agua, en g.

(Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures, 2003)

2.5.3.8 Extracción cuantitativa de aglutinante asfáltico de mezclas calientes (HMA) (AASHTO T 164-14)

El HMA se extrae mediante tricloroetileno usando el equipo de extracción aplicable al método particular. El contenido de aglutinante de asfalto se calcula por diferencias de masa del agregado extraído, contenido de humedad y material mineral en el extracto; el contenido de asfalto se expresa como un porcentaje en masa de mezclas libres de humedad. (Mechanical analysis of extracted aggregate (AASHTO T 30-15), 2015)

Se calcula de la siguiente forma:

$$\% \text{ asfalto sobre la mezcla} = \frac{(w_1 - w_2) - (w_3 + w_4)}{w_1 - w_2} \times 100$$

$$\% \text{ asfalto sobre el agregado} = \frac{(w_1 - w_2) - (w_3 + w_4)}{w_3 + w_4} \times 100$$

Dónde:

W1= Masa del espécimen de ensayo

W2= Masa de agua

W3= Masa del agregado

W4= Masa del material mineral (masa de la ceniza)

2.5.3.9 Contenido de humedad de mezclas de asfalto por método horno (AASHTO T 329-15)

Mediante este método se determina el contenido de humedad de las mezclas asfálticas mediante el secado en un horno. Donde una muestra de mezcla de asfalto se seca en un horno de aire forzado, ventilado o de convención a masa constante. (Moisture content of asphalt mixtures by oven method (AASHTO T 329-15), 2015)

Se calcula de la siguiente manera:

$$\% = \frac{M_i - M_f}{M_f} \times 100$$

Dónde:

M_i = masa de la muestra de ensayo húmeda inicial, (g).

M_f = masa de muestra seca final, (g).

Se reporta el contenido de humedad al 0.01.

2.5.3.10 Análisis mecánico del agregado extraído (AASHTO T 30-15)

Mediante este método se determina la clasificación de los agregados extraídos de las mezclas asfálticas, sus resultados son utilizados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partícula con los requisitos aplicables y para proporcionar los datos necesarios para el control de la producción de los diferentes agregados que se utilizan en las mezclas asfálticas en caliente. El procedimiento de este método permite determinar la distribución de partículas de agregados finos y gruesos extraídos de las mezclas asfálticas mediante el uso de tamices con aberturas cuadradas.

Se calcula de la siguiente manera:

Se debe registrar la masa de material que pasa por cada tamiz, la masa retenida en el siguiente tamiz y la cantidad que pasa por el tamiz de 75- μm (No. 200). La suma de estas masas debe estar dentro del 0.2 por ciento de la masa después del lavado. Añadir la masa del material seco que pasa por el tamiz de 75- μm (n^o 200) por medio de una cuchara seca a la masa eliminada por lavado y, si procede, la masa de materia mineral en el aglutinante de asfalto, para obtener el total de los 75- μm (No. 200). Se debe convertir las masas de fracciones retenidas en los distintos tamices y el total que pasa el tamiz de 75- μm (N^o 200) a porcentajes dividiendo cada uno por la masa de muestra inicial determinada inicialmente, según corresponda. (Mechanical analysis of extracted aggregate (AASHTO T 30-15), 2015)

2.5.3.11 Estabilidad Marshall y Flujo de Mezclas de Asfalto (ASTM D6927-15)

Este método de ensayo cubre la medición de la resistencia al flujo plástico de muestras cilíndricas de 102 mm (4 pulgadas) de una mezcla de asfalto cargada en una dirección perpendicular al eje cilíndrico por medio del aparato Marshall. Este método de ensayo es para uso con mezclas de asfalto densas, preparadas con cemento asfáltico (modificado y no modificado), asfalto cortado, alquitrán y caucho alquímico con tamaño máximo de agregado de hasta 25 mm (1 in). (25 mm).

Marshall estabilidad y los valores de flujo, junto con la densidad, huecos de aire en la mezcla total, huecos en el agregado mineral o huecos llenos de asfalto, o ambos, rellenos de asfalto, se usan para el diseño de mezcla de laboratorio y evaluación de mezclas de asfalto. Además, la estabilidad y el flujo de Marshall se pueden utilizar para supervisar el proceso de la planta de producir la mezcla del asfalto. Marshall estabilidad y el flujo también se puede utilizar para evaluar relativamente diferentes mezclas y los efectos de acondicionamiento, como con el agua.

La estabilidad y el flujo de Marshall son características de mezcla de asfalto determinadas a partir de ensayos de especímenes compactados de una geometría específica. El ensayo Marshall se puede realizar con dos tipos diferentes de equipos: (1) Método A - utilizando un bastidor de carga con un anillo de carga y un indicador de deformación (Método Tradicional) o (2) Método B - usando una carga en combinación con una célula de carga y un transductor diferencial variable lineal (LVDT) u otro dispositivo automático de grabación (Método Automatizado).

Los cálculos se realizan de la siguiente manera:

Las muestras moldeadas de laboratorio deberán cumplir el requisito de espesor de 2.50 ± 0.10 in (63.5 ± 2.5 mm). Los especímenes dentro de la tolerancia del grosor pueden ser corregidos con base en el volumen o espesor de la muestra. También se corregirán la estabilidad determinadas en núcleos de campo con grandes variaciones en volumen o espesor. Sin embargo, los resultados con correcciones mayores deben usarse con precaución. La relación de correlación se utiliza de la siguiente manera. (Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures (ASTM D6927-15), 2015)

$$A = B \times C$$

Donde:

A = estabilidad corregida

B = medida de estabilidad (carga)

C = relación de correlación de la tabla 1 especificada en ASTM D6917-15

2.5.3.12 Preparación de muestras de mezcla de asfalto utilizando el aparato Marshall (ASTM D6926-16)

Esta norma cubre la preparación y compactación de especímenes de un diámetro de 4 in (101,6 mm) por muestras de mezcla de asfalto cilíndrico de 2,5 in (63,5 mm) de alto. Esta práctica está diseñada para ser usada con mezclas asfálticas de laboratorio y de plantas con agregados de hasta 1 in. (25,4 mm) de tamaño máximo y para re-compactación de muestras de asfalto.

Los especímenes de mezcla asfáltica compactada moldeados por este procedimiento se usan para diversas pruebas físicas tales como estabilidad, flujo, resistencia a la tracción indirecta, fatiga, fluencia y módulo. También se realizan análisis de densidad y vacío en muestras para el diseño de la mezcla y la evaluación de la compactación del campo. (Preparation of Asphalt Mixture Specimens Using Marshall (ASTM D6926-16), 2016)

2.5.3.13 Análisis de vacíos

Los vacíos son espacios o huecos dentro de la mezcla compactada, que permiten el acceso del agua. Se miden como porcentaje por volumen.

Para el diseño es permitido un rango de 3% a 5% de vacíos, no obstante, en campo, se permite de 8% a 10% para mezclas convencionales. Dichos rangos son creados debido a que las mezclas muy porosas son menos resistentes a las cargas; al contrario, valores menores de vacíos generan problemas de exudación del ligante y disminución en la durabilidad de las mismas.

Dicho porcentaje se calcula a partir del peso específico total de cada probeta (pastilla) compactada y del peso específico teórico de la mezcla de pavimentación (sin vacíos). Este es calculado a partir de pesos específicos del asfalto y el agregado de la mezcla. El peso específico total de las probeta compactada se obtiene pesando las pastillas en aire y agua.

2.5.3.14 Análisis del peso unitario

El peso unitario promedio para cada muestra se calcula multiplicando el peso específico total de la mezcla por 1000 kg/m³ (62.4 lb/ft³).

2.5.3.15 Análisis de vacíos en el agregado mineral

Son todos los espacios que quedan entre partículas de agregado, ya sea vacíos o llenos de asfalto, incluyendo los vacíos de aire y el contenido efectivo de asfalto y se expresa como un porcentaje del volumen total de la mezcla; son conocidos como VMA.

Se calcula con base en el peso específico total del agregado. Otra forma, es restar el volumen del agregado del volumen total de la mezcla compactada.

2.5.3.16 Vacíos llenos de asfalto

Es el porcentaje que queda lleno de asfalto; abarca asfalto y aire. Se expresa por porcentaje y se obtiene dividiendo la diferencia de los vacíos en el agregado mineral y el porcentaje de vacíos entre los vacíos en el agregado mineral; son conocidos como VFA.

2.6 Términos estadísticos

2.6.1 Media o media aritmética para una serie simple

La media o promedio es la suma de los valores de una serie, de la cual se desea obtener el promedio; se obtiene dividiendo el resultado entre el número de datos que se consideran en la suma.

2.6.2 Varianza (variancia)

“La varianza de una muestra o conjunto de datos es la desviación promedio de valores obtenidos a partir de la media elevada al cuadrado y dividida entre n-1. Cuando

hablamos de datos que reflejan únicamente una parte de la población, es decir, una muestra, utilizamos n ; cuando nos referimos a toda una población, es decir, los datos de la muestra son iguales al total de la población estudiada, pero como eso sucede en pocos casos casi siempre se utiliza $n-1$. La variancia o varianza se representa como s^2 cuando se refiere a la varianza maestra y como O^2 (letra griega sigma minúscula al cuadrado), cuando se trata de la varianza de una población”. (Monroy Saldívar, 2008)

Las fórmulas para calcular la varianza se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3: Fórmulas para el cálculo de la varianza

Series simples	Series de frecuencia	Series de clases y frecuencias
$s_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$	$s_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n f_i (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$	$s_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n f_i (\gamma_i - \bar{x})^2}{n-1}$
Donde: x_i = Valores de x \bar{x} = Valor de la media n = Número de elementos	Donde: f_i = Frecuencias	Donde: γ_i = Valor de la marca de clase o punto medio de la clase

Fuente: (Monroy Saldívar, 2008)

2.6.3 Desviación estándar o desviación típica

“La desviación estándar s , para la población o s , para la muestra, es la desviación en promedio de las diferencias de los valores con respecto a su media. La desviación estándar es simplemente la raíz cuadrada de la varianza”. (Monroy Saldívar, 2008)

Las fórmulas para el cálculo de la desviación estándar se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4: Fórmulas para el cálculo de la desviación estándar

Series simples	Series de frecuencia	Series de clases y frecuencias
$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ <p>Donde: x_i = Valores de x \bar{x} = Valor de la media n = Número de elementos</p>	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ <p>Donde: f_i = Frecuencias</p>	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i (\gamma_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ <p>Donde: γ_i = Valor de la marca de clase o punto medio de la clase</p>

Fuente: (Monroy Saldívar, 2008)

2.6.4 Coeficiente de variación

El coeficiente de variación se utiliza cuando se debe hacer una referencia a la relación entre el tamaño del promedio y la variabilidad de la variable. Se expresa la desviación estándar como porcentaje del promedio; permite una mejor interpretación porcentual del grado de variabilidad que la desviación estándar. Entre mayor valor del coeficiente de variación, mayor heterogeneidad de los valores de la variable y a menor valor del coeficiente de variación, mayor homogeneidad de los valores de la variable. Se calcula:

$$Cv: (S/\bar{X}) * 100$$

2.6.5 Prueba F para varianza de dos muestras

Esta prueba aparece frecuentemente como la distribución nula de una prueba estadística; se utiliza principalmente para probar la igualdad entre dos varianzas poblacionales que provienen de poblaciones que tienen una distribución normal. Sus valores críticos en los niveles 0.05 y 0.01 son proporcionados generalmente para determinadas combinaciones de sus tamaños de muestra y el número de muestra. La razón más pequeña que se puede dar es 0, debido a que ambos términos de la razón F se encuentran elevados al cuadrado, por lo que no se puede obtener un valor negativo. El cálculo se realiza mediante las siguientes fórmulas o medio de la herramienta de Excel que

brinda un cálculo más rápido. Se deben establecer dos hipótesis: una nula (H_0) y una hipótesis alternativa (H_1) para comparar la varianza de las dos muestras. La fórmula para el cálculo de F es la siguiente: (Academia.edu)

$$F=S_1^2/S_2^2$$

El resultado estadístico que se obtiene de la prueba se debe comparar con un valor tabular de F, el cual indica el valor máximo del valor estadístico de prueba que ocurriría si H_0 sea verdadera, a un nivel de significancia deseado, establecido antes de proceder a realizar la prueba.

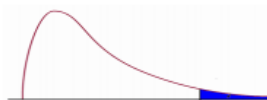
Mediante la herramienta de Excel se puede calcular la prueba F, la cual “Devuelve el resultado de una prueba F. Una prueba F devuelve la probabilidad doble de que las varianzas de los argumentos matriz1 y matriz2 no presenten diferencias significativas. Use esta función para determinar si las varianzas de dos muestras son diferentes”. (Microsoft)

El valor crítico de la prueba F se obtiene mediante la intersección de los grados de libertad de las muestras “k-1”, donde k es el número de observaciones de cada muestra, mediante la siguiente tabla:

Tabla 5: Distribución F de Fisher con un valor de significancia del 0.05

Distribución F 0.05

En las columnas se encuentran los valores F que corresponden al área 0.05 a la derecha
 En las columnas se encuentran los grados de libertad del numerador
 En los renglones se encuentran los grados de libertad del denominador.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	20	24	30	40	60	120
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.0	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35

Fuente: (Bosque)

III. METODOLOGÍA

Por medio de la investigación comparativa se analizarán los datos obtenidos de las diferentes pruebas de laboratorio aplicadas a las muestras usadas para obtener los resultados respectivos; ello convierte la investigación en comparativa. Los datos se analizarán mediante desviación estándar, promedio, límite máximo y mínimo, coeficiente de variación.

Para realizar el proyecto, se utilizará un diseño de mezcla ya conocido, el cual será proporcionado por la empresa CACISA, con un tamaño máximo nominal de 12.5mm, sin aditivos, de un diseño conocido.

3.1 Procedimiento del proyecto

Las muestras de mezcla asfáltica se obtienen de la planta Mecó ubicada en Uruca, utilizados en los ensayos de la metodología Marshall. Se usan siete especímenes (muestras), en condiciones normales y otros siete especímenes bajo condiciones de recalentamiento. Se obtienen dos muestras por día de la misma vagoneta; a una se le deben realizar los ensayos correspondientes el mismo día; la otra se deja enfriar para recalentarla tres días después y realizar los mismos ensayos de la primera muestra. De la misma manera se procesan las demás muestras.

Las muestras sin recalentar se deben manejar de la siguiente manera: cuando llegan al laboratorio de CACISA se procede a colocar en una mesa de metal, en donde se tomarán cinco de 1200g en bolsas de papel, inmediatamente, sin que se llegue a enfriar la mezcla y se introducen al horno que se encuentra a una temperatura de 150 °C. Se utilizan para moldear las pastillas Marshall; de las cinco muestras para las pastillas Marshall se moldea una primero y se deja enfriar hasta que alcance la temperatura ambiente. Se mide la altura para verificar que cumple con los 63.50 mm \pm 1.27 mm y si no cumpliera se procederá a corregir por peso las otras cuatro muestras. Posteriormente se enfría el resto de la muestra, moviéndola constantemente con una pala, hasta que alcance la temperatura ambiente, evitando que se generen grumos; después se apila la muestra en el centro de la mesa en donde se procede a separarla en cuatro partes iguales, mediante una equis de metal

grande. Posteriormente se debe cuartear para obtener las muestras de los respectivos ensayos Marshall; se toman dos muestras de 1500g a 1650g para realizar el ensayo de gravedad específica máxima teórica, una muestra de 1500g a 2000g para el ensayo del porcentaje del contenido de asfalto y una muestra de 1000g a 1500g para el determinar el contenido de humedad.

Las muestras que serán recalentadas posteriormente, se colocan en el horno a una temperatura de 160 °C durante dos horas. Se debe verificar con una termocupla que la muestra alcance los 160 °C; cuando eso sucede, se procede a sacarla del horno y esparcirla en la mesa de metal, donde se debe mover constantemente con una pala hasta que alcance la temperatura ambiente, evitando que queden grumos. Después se apila la muestra en el centro de la mesa en donde se procede a separarla en cuatro partes iguales, mediante una equis de metal grande. Posteriormente se debe cuartear para obtener 4 muestras de 1190g a 1200g para moldear las pastillas Marshall, dos muestras de 1500g a 1650g para realizar el ensayo de gravedad específica máxima teórica, una muestra de 1500g a 2000g para el ensayo del porcentaje del contenido de asfalto y una muestra de 1000g a 1500g para el determinar el contenido de humedad.

Los datos que se obtengan de los ensayos se registrarán en sus respectivos formularios para facilitar su registro y posterior análisis.

Este proceso se realizará a las demás muestras de estudio, a las cuales se les deben realizar los siguientes ensayos:

- Porcentaje de vacíos que contiene la mezcla asfáltica, gravedad específica bruta y máxima teórica.
- Porcentaje de asfalto.
- Estabilidad y flujo.
- Graduación de agregado.

Finalmente, se procederá a analizar los resultados obtenidos de los ensayos realizaos a las siete muestras en condiciones normales y a las siete muestras recalentadas, para comprobar la variación en los resultados, de manera que se pueda verificar si el

recalentamiento de las mezclas asfálticas genera disminución en las capacidades mecánicas de las mezclas recalentadas, versus las mezclas en condiciones normales.

3.2 Equipo por utilizar

Para realizar los ensayos respectivos se utilizarán los equipos correspondientes a cada ensayo.

3.2.1 Moldeo de especímenes de mezcla asfáltica por el método Marshall

Para realizar los moldes de los especímenes se utilizarán los siguientes equipos:

- Compactador Marshall que incluye masa de base plana de diámetro 98.4mm y un peso de 4,54kg y una caída de 457,2mm incluye contador digital.
- Una plantilla eléctrica.
- Bandeja de acero inoxidable.
- Espátula ancha para mezclado.
- Cuchara sopera de acero inoxidable
- Dos termocuplas con capacidad máxima de 290 °C y precisión de $\pm 2^{\circ}\text{C}$.
- Espátula pequeña.
- Pares de guantes de soldador.
- Horno capaz de mantener una temperatura uniforme a $\pm 140^{\circ}\text{C}$.
- Espátula grande de acero inoxidable para acomodar la mezcla.
- Recipiente de acero inoxidable con capacidad de 100ml.
- Recipiente de acero inoxidable con capacidad de 200ml.
- Recipiente de acero inoxidable con capacidad de 800ml.
- Cinco moldes de hierro con un diámetro de 101,6mm para fabricar la pastilla con base y collar.

- Extractor de muestras.
- Discos de papel grueso antiadherente de diámetro ± 101 mm.
- Crayón de acera.
- Balanza digital con capacidad de 8Kg y una precisión de $\pm 0,1$ g.
- Balanza digital con capacidad de 20Kg y una precisión de $\pm 1,0$ g.
- Campana extractora de gases.
- Mascarilla desechable.

(Apuntes del curso de Laboratorio de Pavimentos. Ingeniería Civil, Universidad Latina, Campus San Pedro, 2017)

3.2.2 Gravedad específica bruta de la mezcla compactada (pastillas)

Para obtener la gravedad específica bruta se utilizarán los siguientes equipos:

- Canasta de metal con capacidad de $\pm 1,2$ L.
- Balanza Digital con capacidad de 3Kg con precisión de $\pm 0,1$ g.
- Ollas de acero inoxidable medianas.
- Plantilla eléctrica.
- Balde plástico mediano.
- Termómetro de mercurio con una precisión de $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$.
- Bandeja de acero inoxidable de 60x60cm.
- Paño.
- Cronometro.
- Espátulas pequeñas.
- Baño maría capaz de mantener una temperatura uniforme a $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$.
- Plantilla eléctrica.

- Beaker plástico con capacidad de 250ml.
- Beaker plástico con capacidad de 500ml.
- Recipiente de aluminio de $\pm 0,5L$ de capacidad.

(AASHTO T 166, Bulk Specific Gravity of Compacted Asphalt Mixtures Using, 2007)

3.2.3 Gravedad específica máxima teórica de la mezcla asfáltica suelta

Para obtener la gravedad específica máxima teórica se utilizarán los siguientes equipos:

- Mesa vibradora.
- Picnómetro metálico con capacidad de 4500ml que incluye tapa en acrílico con manómetro para medir el vacío y tapa con orificio capilar.
- Balanza digital con capacidad de 15Kg y una precisión de $\pm 0,5g$.
- Bandeja de acero Inoxidable con un diámetro de 28cm.
- Bomba de vacío con manómetro y disecador.
- Cuchara sopera de acero inoxidable.
- Termómetro de mercurio con una precisión de $\pm 0,2^{\circ}C$.
- Ollas de acero inoxidable medianas.
- Balde plástico mediano.
- Plantilla eléctrica.
- Recipiente de aluminio con capacidad de 0,5litros.
- Cronometro.
- Beaker plástico con capacidad de 250ml.
- Beaker plástico con capacidad de 500ml.
- Beaker de vidrio con capacidad de 250ml.

- Bandeja de acero inoxidable de 29x32x10cm.
- Cubo de hierro de 10x10cm.

(Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures, 2003)

3.2.4 Estabilidad Marshall y Flujo de Mezclas de Asfalto (ASTEM D6927-15)

Para obtener la estabilidad y flujo se utilizarán los siguientes equipos:

- Máquina de compresión Marshall con anillo de carga de capacidad 5000Kg (50KN) deformímetro con una precisión de 1×10^{-4} pulgadas.
- Medidor de flujo con una precisión de $\pm 1/100$ pulgadas.
- Mordaza con molde de acero para la prueba de estabilidad
- Baño María capaz de mantener temperatura uniforme de $60 \pm 1^\circ\text{C}$
- cronómetros.
- Termómetro digital con una precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$.
- Espátula pequeña.
- Paño grande.

(Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures (ASTM D6927-15), 2015)

3.2.5 Extracción cuantitativa de aglutinante asfáltico de mezclas calientes

Para calcular el porcentaje de asfalto sobre la mezcla y agregado del método B se utilizan los siguientes equipos:

- Horno capaz de mantener la temperatura a 110°C , para calentar las muestras.
- Horno capaz de mantener la temperatura entre 149 y 163°C , para secar la muestra si no se determinó el contenido de humedad.
- Balanza, debe tener capacidad suficiente, ser legible a 0,1 por ciento de la masa de la muestra o mejor, y cumplir con los requisitos de M 231.
- Cilindros, graduado, 1000 ó 2000 ml de capacidad.
- Frasco de vidrio cilíndrico, liso, hecho de cristal resistente al calor.

- Marcos metálicos cilíndricos uno o dos, en forma de conos con patas de longitud suficiente para poder soportarse a sí mismos. En el interior del reborde superior de cada cono puede incorporarse un asa de manubrio para una mejor manipulación.
- Condensador, fabricado con una superficie de condensación hemisférica truncada y una parte superior cónica truncada.
- Papel filtrante de grado medio, filtrado rápido.
- Plantilla (placa) eléctrica, controlada termostáticamente, de dimensiones y capacidad suficiente para permitir el reflujó del disolvente.

3.2.6 Contenido de humedad de mezclas de asfalto por método horno (AASHTO T 329-15)

Para obtener el contenido de humedad se necesitan los siguientes equipos:

- Balanza de 2kg, con capacidad legible de por lo menos 0.1 g.
- Horno, capaz de mantener la temperatura que rodea la muestra a $163 \pm 14^{\circ}\text{C}$.
- Contenedor de muestra
- Termómetro, se puede leer a 2°C más cercano, para determinar la temperatura de la muestra asfáltica.

(Moisture content of asphalt mixtures by oven method (AASHTO T 329-15), 2015)

3.2.7 Análisis mecánico del agregado extraído (AASHTO T 30-15)

Para realizar el procedimiento se necesitan los siguientes equipos:

- Balanza-A, clase G2 que cumpla con los requisitos de precisión de M 231.
- Tamices, con conformidad de los requisitos de M 92.
- Agitador mecánico de tamiz, un dispositivo de tamizado mecánico.
- Horno, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Agente humectante, cualquier agente dispersante tal como detergente, que ayudará en la separación de los materiales finos.
- Un recipiente, de tamaño suficiente de contener la muestra cubierta con agua y detergente.
- Cuchara o utensilio de mezcla o similar para agitar la muestra durante el procedimiento de lavado.

(Mechanical analysis of extracted aggregate (AASHTO T 30-15), 2015)

3.2.6 Preparación de muestras de mezcla de asfalto utilizando el aparato Marshall (ASTM D6926-16)

Para realizar el procedimiento se necesitan los siguientes equipos:

- Ensamblaje del molde del espécimen, tales como cilindros del molde, placas de base y collares.
- Extractor de muestras - El extractor de muestras tendrá un disco de acero que entrará en el molde sin atar y no deberá tener un diámetro mínimo de 3,95 pulgadas (100,3 mm) y un grosor de 12,7 mm (0,5 in.). El disco de acero se utiliza para la extracción de muestras compactadas de moldes con el uso del collar de molde. Puede utilizarse cualquier dispositivo de extracción adecuado, tal como un aparato de gato hidráulico o un dispositivo de brazo de palanca, siempre que los especímenes no se deformen durante el proceso de extracción.
- Los martillos de compactación con un mango manual (tipo 1) o fijo (tipo 2), manejados mecánica o manualmente, tendrán un pie de compactación plano y circular con un eje giratorio de resorte y un margen de $10 \pm 0,02$ libras ($4,545 \pm 0,009$ kg) con una caída libre de $18 \pm 0,06$ pulgadas ($457,2 \pm 1,5$ mm).
- Pedestal de compactación, el pedestal de compactación consistirá en un poste de madera de 7,5 in. por 8,2 in (191,0 mm por 203,2 mm) de largo, con una placa de acero de aproximadamente 12 in. (304,8 mm) y 1 in (25,4 mm) de espesor. El poste de madera será de roble, pino amarillo u otra madera con una densidad seca media de 674,2 a 770,5 kg / m³. El poste de madera debe ser asegurado por pernos a través de cuatro soportes angulares a una losa de concreto sólida. La tapa de acero debe estar firmemente fijada al poste. El montaje del pedestal debe ser instalado de modo que el poste sea aplomado y la tapa esté nivelada.
- Soporte para molde de espécimen, con un solo martillo compactador, el soporte debe ser montado en el pedestal de compactación para centrar el molde de compactación sobre el centro del poste. Los soportes deben mantener el molde de compactación, el collar y la placa de base en posición segura durante la compactación del espécimen.
- Hornos, se deben proveer hornos de aire de circulación o cacerolas térmicas controladas termostáticamente y placas calientes para calentar agregados, material asfáltico, moldes de

muestras, martillos de compactación y otros equipos a una temperatura de 3 ° C más que las temperaturas requeridas de mezcla y compactación.

- Aparato de mezcla, la mezcla mecánica es recomendado, pero también se puede mezclar manualmente.
- Equipo variado, recipientes para agregados de calefacción, cacerolas metálicas de fondo plano u otros recipientes adecuados. Los contenedores cubiertos para la carpeta de asfalto para calefacción, pueden ser latas tipo branquias, vasos de precipitados, vasijas o cacerolas. Las Herramientas de Mezclado, consisten en una llana de acero (albañil con punta redondeada), cuchara o espátula, para mezclado manual.
- Termómetro, tamices.
- Guantes para el manejo del equipo caliente.
- Marcadores, para identificar especímenes.
- Cuchara de fondo plano, para los agregados de dosificación.
- Cuchara, grande, para colocar la mezcla en los moldes de la muestra.

(Preparation of Asphalt Mixture Specimens Using Marshall (ASTM D6926-16), 2016)

3.3 Procedimientos para los ensayos

Para la recolección de datos se procederá de la siguiente manera:

3.3.1 Preparación de muestras de mezcla de asfalto utilizando el aparato Marshall (ASTM D6926-16)

El moldeo de los especímenes se realizará mediante los siguientes pasos:

1. Las muestras se tomarán de la planta de producción de Meco, en donde se deberán cuartear para proceder a realizar las pastillas.
2. Las mezclas asfálticas se colocan en moldes precalentados Marshall (aproximadamente de 95 a 150°C, puede equivaler a dos horas de curado en horno), para la preparación y la compactación con el martillo Marshall, que de igual forma es calentado. Esta puede ser de forma mecánica o eléctrica. Antes de compactar los baches, deben darse 15 golpes de varilla alrededor del perímetro y diez en el interior.

3. Las probetas son compactadas mediante golpes en las dos caras aplicados con el mazo Marshall, cuyo peso es de 4.5 kilogramos con una caída de 45.7 centímetros. Se aplican de 50 a 75 golpes en cada base. Se debe poner un filtro en ambas caras; esto para que no pierda la temperatura por el contacto con el molde. Es importante, que dicho proceso debe ser rápido, pues no se puede perder temperatura. Una vez terminado, se debe esperar a que la pastilla se enfríe un poco para ser removida del molde y dejarla curar por más de tres horas.
4. Se debe guardar inmediatamente el peso seco para que no sea afectado por la humedad.
5. Para las muestras de la mezcla que se va a recalentar, se debe cuartear la mezcla y dejar enfriando hasta el día siguiente; posteriormente se recalentará la mezcla en un horno a una temperatura entre 110° C-130°C; después se realizarán los procedimientos anteriores para realizar las pastillas.

(Apuntes del curso de Laboratorio de Pavimentos. Ingeniería Civil, Universidad Latina, Campus San Pedro, 2017)

3.3.2 Gravedad específica bruta y densidad de la mezcla compactada (pastillas)

La gravedad específica y densidad se realizará mediante los siguientes pasos:

1. Con ayuda de la espátula, se quitaron las partículas de las pastillas que se podrían caer durante el proceso del ensayo.
2. Mediante la balanza se obtiene el peso seco al aire de la pastilla.
3. Se sumergen las pastillas en el baño maría a temperatura de $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ por un tiempo de 3 a 5 minutos y se registra este tiempo.
4. Se coloca debajo de la balanza la bandeja de acero y la olla; se ajusta la canasta y se le echa agua a $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ hasta que se rebalse.

5. Después, se debe sacar la muestra del baño maría, y colocar la muestra en la canasta para determinar el peso neto sumergido de la pastilla más la canasta, revisando que el agua está a una temperatura de $25\pm 1^{\circ}\text{C}$.
6. Con el paño, se seca la pastilla del agua y se elimina el agua superficial de la pastilla para obtener la condición superficie saturada seca.
7. Se coloca la pastilla en la balanza y se obtiene el peso superficie saturada seca de la pastilla.
8. Se repite el proceso para las demás pastillas.

(Apuntes del curso de Laboratorio de Pavimentos. Ingeniería Civil, Universidad Latina, Campus San Pedro, 2017)

3.3.3 Gravedad específica máxima teórica de la mezcla asfáltica suelta

Preparación previa:

Sin dejar de revolver, se le baja la temperatura hasta llevarla a temperatura ambiente por lo que el agregado queda impregnado de asfalto, pero sin pegarse.

Procedimiento:

1. Se pesa el picnómetro vacío sin tapa en la balanza digital.
2. Se coloca la muestra en el picnómetro y se determina el peso del picnómetro + muestra, al peso neto lo denominamos con la letra "A".
3. Se prepara el agua desairada y a una temperatura ambiente de $25\pm 1^{\circ}\text{C}$.
4. Se echa el agua al picnómetro hasta aproximadamente la mitad del volumen del picnómetro.
5. Se coloca el picnómetro en la mesa vibratoria, colocando la tapa acrílica con manómetro y se cierra la válvula de alivio.
6. Luego se procede a poner la mesa a vibrar y de inmediato de toma el tiempo.

7. Se deja aproximadamente 50 minutos que la bomba extrajera el aire, se debe verificar que la presión de succión sea de 28,7inHg (730mHg).
8. Luego de extraer el aire se libera la presión mediante la válvula de alivio y se quita la tapa.
9. Se ajusta el volumen total del picnómetro con agua desairada a $25\pm 1^{\circ}\text{C}$.
10. Se coloca la tapa metálica con orificio capilar hasta que salga un poco de agua por este orificio.
11. Se determina el peso del picnómetro + tapa + muestra + agua y a este peso lo denominamos "E".
12. Se saca el agua y la muestra. Posteriormente se calibra el picnómetro echándole agua desairada a $25\pm 1^{\circ}\text{C}$. Se coloca la tapa hasta que salga agua por el orificio y se determina el peso del picnómetro + tapa + agua y a este peso lo denominamos "D".

(Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures, 2003)

3.3.4 Estabilidad Marshall y Flujo de Mezclas de Asfalto (ASTEM D6927-15)

La estabilidad y flujo plástico se realiza mediante los siguientes pasos:

1. Se sumergen las pastillas para el curado en agua a una temperatura de $60\pm 1^{\circ}\text{C}$ por un tiempo de 30 a 35 minutos.
2. Antes que concluyeran los 30 minutos de curado, se debe verificar el funcionamiento de la mordaza pues debe tener las barras de deslizamiento limpias para que se deslicen con facilidad y también se debe verificar que el agua esté a una temperatura de 21-38°C.
3. Se sacan las pastillas del baño maría e inmediatamente se colocan en la mordaza; esta se pone centrada en la máquina de ensayo.
4. Se aplica la carga a una velocidad de 50,8 mm/min.

5. Antes de iniciar con la aplicación de la carga, se debe colocar el medidor digital de deformación en cero.
6. El tiempo máximo que comenzó desde la salida del curado a 60°C a la aplicación de la carga y la falla no debía ser mayor a 30 segundos.
7. Se determina la lectura máxima de rotura de la muestra.
8. Al mismo tiempo, se debe registrar el flujo para lectura de rotura en 1/100 pulgadas.
9. Se repite el procedimiento para las otras pastillas restantes.

(Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures (ASTM D6927-15), 2015)

3.3.5 Extracción cuantitativa de aglutinante asfáltico de mezclas calientes

El porcentaje de contenido de asfalto se realiza de la siguiente manera, mediante el método B.

1. Secar una hoja de papel de filtro para cada cono usado a masa constante en un horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$, doblar el filtro formando un cono de manera que encaje en el cono metálico.
2. Determinar la masa de cada cono metálico con su revestimiento de papel de filtro a 0.5g, registre la masa de cada cono.
3. Colocar la porción de prueba en el (los) cono (s); si se utilizan dos conos distribuir la porción de prueba entre los dos de manera igual. Determinar la masa de cada cono por separado y registrarla.
4. Utilizar uno de los disolventes especificados; verter el disolvente en el cilindro de vidrio y colocar el cono inferior en él. El nivel del disolvente debe estar por debajo del vértice inferior del cono; si se utilizan dos conos, colocar el cono superior en el cono inferior, encajando sus patas en los orificios en el borde superior del cono inferior.
5. Cubrir el cilindro con el condensador, circular una corriente suave y constante de agua fría. Ajustar la temperatura de la placa caliente para que el disolvente hierva suavemente y una corriente constante de disolvente condensado fluya en el cono. Continuar el reflujo hasta que el disolvente que fluya desde el cono inferior sea un color paja ligero (cuando se ve sobre un fondo blanco). En ese instante, apagar la placa caliente y dejar que el aparato se enfríe lo suficiente para manejar los conos; apagar el condensador y retirarlo del cilindro.

6. Retire el conjunto de conos del cilindro. Deje que se seque a temperatura ambiente y luego seque a una masa constante en un horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
7. Determine el material mineral extraído de la muestra y realizar los cálculos.

3.3.6 Contenido de humedad de mezclas de asfalto por método horno (AASHTO T 329-15)

El contenido de humedad se realiza mediante los siguientes procedimientos:

1. Determinar y registrar la masa del recipiente de la muestra incluyendo cualquier material utilizado para alinear el recipiente de muestra a 0.1 g más cercano.
2. Colocar la muestra en el recipiente de muestra, determinar y registrar la temperatura de muestra del ensayo. Para facilitar el secado, distribuir de manera uniforme la muestra en el recipiente de muestra.
3. Determinar y registre la masa total del recipiente más la muestra húmeda a 0.1 g más cercano.
4. Precalentar el horno a la temperatura de secado, la cual debe andar en $163 \pm 14^{\circ}\text{C}$.
5. Calcular la masa de la muestra húmeda inicial restando la masa del recipiente determinada en el punto 1 de la masa total del recipiente más la masa de la muestra determinada en el paso 3.
6. Secar la muestra inicialmente durante 90 ± 5 min y determinar su masa. Se continúa secando la muestra a masa constante, comprobando a intervalos de 30 ± 5 min hasta que el secado adicional no altere la masa en más del 0.05 por ciento.
7. Enfriar el recipiente de la a temperatura ambiente, aproximadamente a la misma temperatura que se determinó en el paso 2.
8. Determinar y registrar la masa total del recipiente más muestra a 0.1 g más cercano.
9. Calcular la masa de la muestra seca final, restando la masa del recipiente de la muestra, determinado en el paso 1 a la masa dl recipiente más muestra determinada en el paso 8.

(Moisture content of asphalt mixtures by oven method (AASHTO T 329-15), 2015)

3.3.7 Análisis mecánico del agregado extraído (AASHTO T 30-15)

Para extraer el agregado se utiliza el siguiente procedimiento:

1. Secar la muestra, si es necesario, hasta que el secado adicional a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ no altere la masa en más del 0.1 %, determine y registre la masa de la muestra a la más cercana a 0.1g.
2. Colocar la muestra de prueba en un recipiente y cubrirla con agua. Añadir una cantidad suficiente del agente humectante, agitar el contenido del recipiente vigorosamente y decantar inmediatamente el agua de lavado sobre un nido de dos tamices conformado por un tamiz de 2.00 mm (N° 10) o 1.18 mm (N° 16) puesto sobre el un tamiz de 75-um (N° 200).
3. Agitar vigorosamente la muestra, llevando las partículas más finas que el tamiz de 75-um (N° 200) en suspensión. Decantar la suspensión sobre el nido de tamiz para separar completamente las partículas finas de las partículas gruesas. Repetir la operación hasta que el agua de lavado esté clara.
4. Devolver todo el material retenido en los tamices anidados al recipiente. Secar el agregado lavado a masa constante y se determina su masa a 0.1% más cercano.
5. Tamizar el agregado sobre varios tamaños de tamiz, incluyendo el tamiz de 75-um (N° 200) como se requiere en la especificación que cubre las mezclas de asfalto. Agitar los tamices por un aparato mecánico durante un período suficiente, establecido mediante el ensayo.
6. Limitar la cantidad de material en un tamiz dado de manera que todas las partículas tengan la misma oportunidad de alcanzar las aperturas de tamiz varia veces durante la operación de tamizado. No se debe superar una masa de 7 kg/m^2 retenida por tamiz en cualquier tamiz con aberturas inferiores a 4.75 mm (N° 4). No exceda una masa en el producto de $2.5 \times$ (apertura del tamiz en mm) \times (área de tamizado eficaz, m^2) para tamices con abertura de 4.75 mm (N° 4) y mayores.
7. Continuar el tamizado durante un periodo suficiente de tal manera que, después de la terminación, no más de 0.5 % en masa de la muestra total pase por cualquier tamiz durante 60 s de tamizado manual realizado de la siguiente manera: Sostenga el tamiz individual, en una posición levemente inclinada en una mano. Golpee el lado del tamiz agudamente y con un movimiento ascendente contra el tablón de la otra mano a una velocidad aproximada de 150 veces por minuto, girando el tamiz alrededor de una sexta parte de una revolución a intervalos aproximados de 25 golpes.

(Mechanical analysis of extracted aggregate (AASHTO T 30-15), 2015)

3.4 Definición de Variables

Variable dependiente:

Hallazgos de resultados de los respectivos ensayos.

Variable independiente:

1. Temperatura de los agregados
2. Temperatura del asfalto.
3. Tipo de mezcla asfáltica (diseño y tamaño máximo nominal).

IV. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Las muestras se numeraron con el código 3570-1 hasta 3570-14. Aquellas con terminación impar son las muestras sin recalentar y aquellas con la terminación par son las muestras recalentadas. Así se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 6: Numeración de las muestras

Muestras sin recalentar	Muestras recalentadas
3570-1	3570-2
3570-3	3570-4
3570-5	3570-6
3570-7	3570-8
3570-9	3570-10
3570-11	3570-12
3570-13	3570-14

Fuente: Propia

4.1 Datos de los ensayos Marshall de la muestra sin recalentar

4.1.1 Muestra #3570-1

4.1.1.1 Gravedad específica máxima teórica

Tabla 7: Máxima Teórica, muestra # 3570-1

PARAMETROS MARSHALL (Maxima Teorica, GBS, Estabilidad y flujo plastico y calculo de vacíos)						
		N° Muestra 3570-1		Contenido Agua Mezcla		
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA		Determinacion N° 1	Determinacion N° 2	Peso inicial (A)	1444,8	
(A)	Masa del recipiente (g)	1040,5	1268,7	Peso final (B)	1444,1	
	Masa del recipiente + Muestra (g)	2671,1	2894,6	Contenido de agua ((A-B)/B)*100	0,05	
	Masa de la muestra (g)	1630,6	1625,9			
	Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1629,8	1625,1			
	(D)	Masa del recipiente + agua (g)	3340,2	3479,5		
	(E)	Masa recipiente + agua + muestra (despues de aplicar el vacio) (g)	4311,1	4447,1		
	(A')	Masa de la muestra SSS	1631,9	1627,2		
		Gravedad Especifica Maxima Teorica (Gmt) sin absorcon: $A/(A+D-E)$	2,473	2,472		
		Gravedad Especifica Maxima Teorica (Gmt) con absorcon: $A/(A'+D-E)$	2,466	2,464		
		Promedio	2,465			
	Temperatura del agua en el contenedor °C	24,6	Fecha de realizacion	12/06/2017		
	Codigo Balanza:	BA-020				

Fuente: Propia

La gravedad específica máxima teórica promedio de la muestra #3570-1 es de 2.465.

4.1.1.2 GBS, porcentaje de vacíos

Tabla 8: GBS, % de vacíos, muestra #3570-1

PARAMETROS MARSHALL (Máxima Teórica, GBS, Estabilidad y flujo plástico y cálculo de vacíos)								
N° Muestra: 3570-1			Fecha Realización 14/06/2017					
Gravedad Especifica Bruta de Mezcla Asfáltica y Cálculo de Vacíos								
Temp. Ambiente °C: 23,2			Temp. Agua °C: 24,6					
# Pastilla	Masa seca(g) (A)	Masa SSS(g) (B)	Masa sumergida(g) (C)	B-C	% Agua Absorción: $100*(B-A/B-C)$	Gbs: (A/B-C) (E)	Máxima Teórica (D)	% Vacíos: $100*(D-E/D)$
1	1182,2	1183,3	685,4	497,9	0,22	2,374	2,465	3,7
2	1183,5	1184,9	685,3	499,6	0,28	2,369	2,465	3,9
3	1182,7	1184	682,3	501,7	0,26	2,357	2,465	4,4
4	1182,4	1183,9	682	501,9	0,30	2,356	2,465	4,4
Promedio						2,364	2,465	4,1

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-1 el GBS promedio es de 2.364 y el porcentaje de vacíos promedio es de 4.1 %.

4.1.1.3 Estabilidad y flujo plástico

Tabla 9: Estabilidad y Flujo plástico, muestra #3570-1

Estabilidad y Flujo plástico			
# Pastilla	Altura (cm)	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100cm)
1	6,32	2132	39,0
2	6,39	1945	49,9
3	6,38	2059	35,5
4	6,40	2000	41,6
Promedio:		2034	41,5

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-1 la estabilidad promedio es de 2034 kg y el flujo plástico promedio es de 41.5 (1/100cm).

Con el fin de bajar el coeficiente de variación de los datos se procede a eliminar la muestra que se encuentra más dispersa, mediante límites máximos y mínimos.

4.1.1.4 Análisis de la estabilidad

Tabla 10: Análisis de estabilidad, muestra #3570-1

# Pastilla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
1	2132	2034	2103	1965	69	3,42
2	1945	2034	2103	1965		
3	2059	2034	2103	1965		
4	2000	2034	2103	1965		

Fuente: Propia

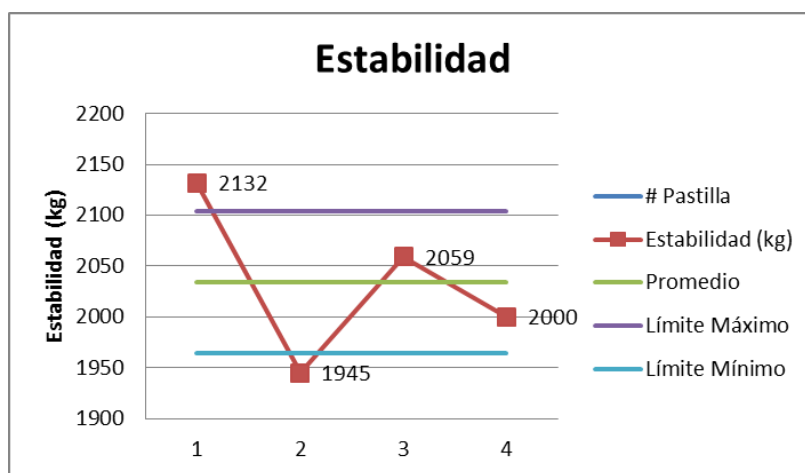


Ilustración 1: Gráfica de estabilidad, muestra #3570-1

Se tiene una estabilidad promedio de 2034 kg y un coeficiente de variación de 3.42, En la gráfica se puede apreciar que el dato más disperso es de la pastilla #1 de 2132kg, por lo que se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 11: Análisis de estabilidad, muestra # 3570-1

# Pastilla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
2	1945	2001	2048	1955	47	2,33
3	2059	2001	2048	1955		
4	2000	2001	2048	1955		

Fuente: Propia

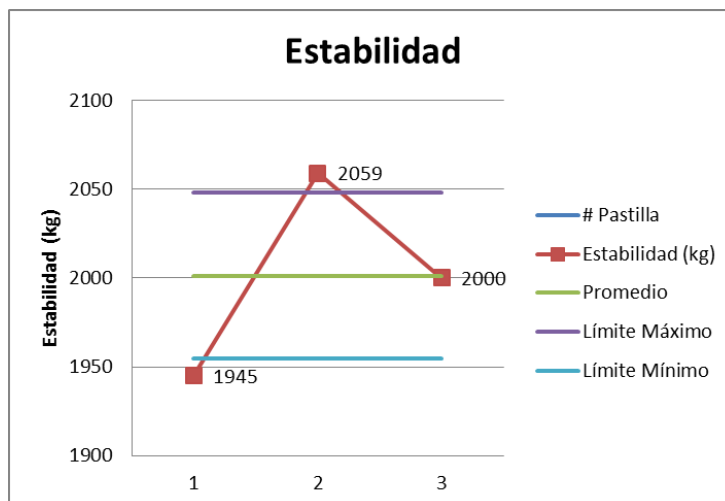


Ilustración 2: Grafica de estabilidad, muestra #3570-1

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 3.42 a 2.33, disminuyendo el coeficiente de variación en un 32%. La estabilidad promedio final de la muestra #3570-1 es de 2001 kg.

4.1.1.5 Análisis del flujo plástico

Tabla 12: Análisis del flujo plástico, muestra #3570-1

# Pastilla	Flujo (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
1	39,0	41,5	47	36	5	12,80
2	49,9	41,5	47	36		
3	35,5	41,5	47	36		
4	41,6	41,5	47	36		

Fuente: Propia

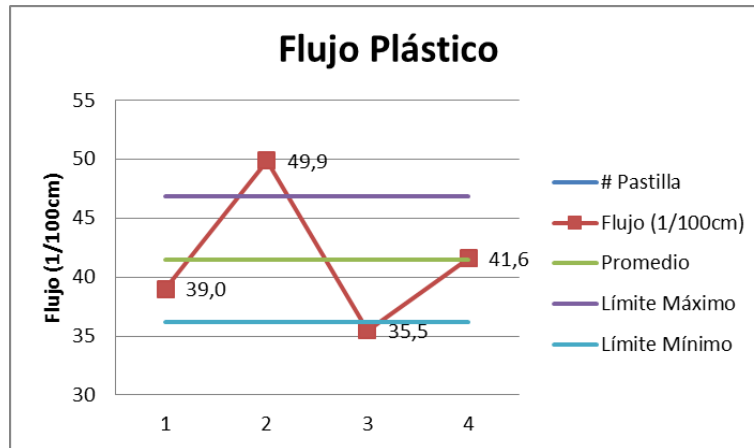


Ilustración 3: Grafica del Flujo Plástico, muestra #3570-1

De la muestra #3570-1 se obtuvo un flujo plástico promedio de 41.5 (1/100cm) y un coeficiente de variación de 12.80. En la gráfica se observa que el dato más disperso es de la pastilla #2 el cual se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 13: Análisis del Flujo plástico, muestra #3570-1

# Pastilla	Flujo (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
1	39,0	38,7	41	36	2	6,46
3	35,5	38,7	41	36		
4	41,6	38,7	41	36		

Fuente: Propia

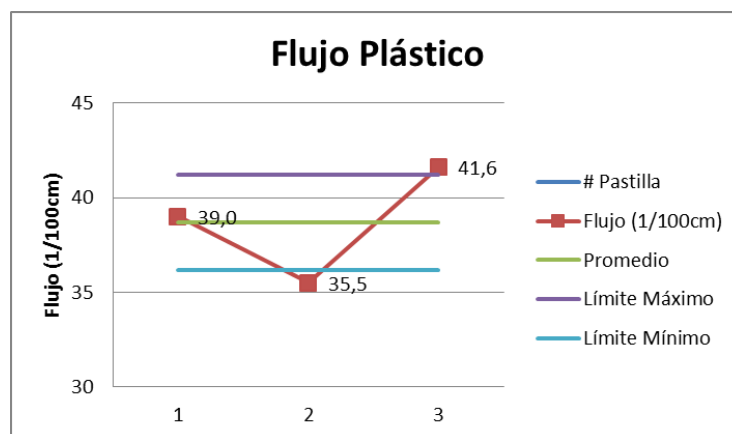


Ilustración 4: Grafica del Flujo Plástico, muestra #3570-1

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 12.80 a 6.46, disminuyendo el coeficiente de variación en un 50.5%. El flujo plástico promedio final de la muestra #3570-1 es de 38.7 (1/100cm).

4.1.1.6 Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado

Tabla 14: Porcentaje de asfalto, muestra #3570-1

N° de muestra: <u>3570-1</u>			
EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS			
CENIZA		Código Balanza: <u>BA-012</u>	
Masa del crisol (g):	<u>136,016</u>	Masa del crisol + ceniza (g):	<u>136,599</u>
G) Masa de ceniza (g):	<u>0,583</u>	V2) Volumen de la alicuota (ml):	<u>100</u>
V1) Volumen total del líquido (ml):	<u>975</u>	% Ceniza (100*(W4/W5))	<u>0,32</u>
W4) Masa del material mineral G*(V1/V2) (g):	<u>5,684</u>		
RELUX		Código Balanza: <u>BA-025</u>	
C) Humedad de la mezcla (%):	<u>0,05</u>		
W1) Masa del espécimen de ensayo (g):	<u>1895,6</u>	Masa mezcla cono 1 (g):	<u>1021,4</u>
W2) Masa de Agua (C*W1/100) (g):	<u>0,948</u>	Masa mezcla cono 2 (g):	<u>874,2</u>
Masa de filtros (g):	<u>20,2</u>		
Masa agregado + filtros (g):	<u>1805,9</u>		
W3) Masa del agregado (g):	<u>1785,7</u>		
W5) Masa del agregado + Ceniza (W3+W4)	<u>1791,4</u>		
% de Asfalto sobre la mezcla $100*((w1-w2)-(w3+w4))/(w1-w2)$		<u>5,45</u>	%
% de Asfalto sobre el agregado $100*((w1-w2)-(w3+w4))/(w3+w4)$		<u>5,76</u>	%

Fuente: Propia

Se obtiene un porcentaje de asfalto sobre la mezcla de 5.45% y un porcentaje de asfalto sobre el agregado de 5.76%, de la muestra # 3570-1.

4.1.1.7 Graduación de los agregados

Tabla 15: Graduación de agregados, muestra #3570-1

Graduación de Agregado Extraído					
Código de la Balanza:		<u>BA-020</u>	N° muestra: <u>3570-1</u>		
W5) Masa seca inicial (W3+W4):		<u>1791,4</u>			
W6) Masa lavada seca:		<u>1694,4</u>			
# Malla	Malla (mm)	W7) Masa (g)	W8) % retenido $100*(w7/w5)$	W9) % retenido acumulado	% Pasando $100-W9$
					100
1/2"	12,7	87,5	4,9	5	95
3/8"	9,5	203,6	11,4	16	84
N° 4	4,75	604,3	33,7	50	50
N° 8	2	311,8	17,4	67	33
N° 16	1,18	187,5	10,5	78	22
N° 30	0,6	106,9	6,0	84	16
N° 50	0,3	81,9	4,6	88	12
N° 200	0,075	105,5	5,9	94	5,72
Charola		5,2	0,3	95	
W10) Suma total masa:		<u>1694,2</u>			
% de variacion de masa $100*((w6-w10)/w5)$			<u>0,01</u>	(no debe ser mayor al 0,03%)	

Fuente: Propia

Se obtiene un porcentaje de variación de masa de 0.01% menor al permitido de 0.03%.

4.1.2 Muestra #3570-3

4.1.2.1 Gravedad específica máxima teórica

Tabla 16: Máxima Teórica, muestra #3570-3

PARAMETROS MARSHALL (Máxima Teórica, GBS, Estabilidad y flujo plástico y calculo de vacíos)						
		N° Muestra	3570-3		Contenido Agua Mezcla	
GRAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA TEÓRICA		Determinación N° 1	Determinación N° 2	Peso inicial (A)	1423,9	
(A)	Masa del recipiente (g)	1039,2	1267,2	Peso final (B)	1422,8	
	Masa del recipiente + Muestra (g)	2666,8	2786,3	Contenido de agua ((A-B)/B)*100	0,08	
	Masa de la muestra (g)	1627,6	1519,1			
	Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1626,3	1517,9			
	(D)	Masa del recipiente + agua (g)	3340,2	3479,5		
	(E)	Masa recipiente + agua + muestra (después de aplicar el vacío) (g)	4310,5	4386,9		
	(A')	Masa de la muestra SSS	1631,9	1523,4		
		Gravedad Especifica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción: A/(A+D-E)	2,479	2,486		
		Gravedad Especifica Máxima Teórica (Gmt) con absorción: A/(A'+D-E)	2,458	2,464		
		Promedio	2,461			
	Temperatura del agua en el contenedor °C	24,7	Fecha de realización	15/06/2017		
	Código Balanza:	BA-020				

Fuente: Propia

La gravedad específica máxima teórica promedio de la muestra #3570-3 es de 2.461.

4.1.2.2 GBS, porcentaje de vacíos

Tabla 17: GBS, porcentaje de vacíos, muestra #3570-3

PARAMETROS MARSHALL (Máxima Teórica, GBS, Estabilidad y flujo plástico y calculo de vacíos)								
N° Muestra: 3570-3				Fecha Realización		16/06/2017		
Gravedad Específica Bruta de Mezcla Asfáltica y Calculo de Vacíos								
Temp. Ambiente °C:		23,5		Temp. Agua °C:		25,1		
# Pastilla	Masa seca(g) (A)	Masa SSS(g) (B)	Masa sumergida(g) (C)	B-C	% Agua Absorción: $100*(B-A/B-C)$	Gbs: (A/B-C) (E)	Máxima Teórica (D)	% Vacíos: $100*(D-E/D)$
1	1193,8	1195,7	688,0	507,7	0,37	2,351	2,461	4,5
2	1192,5	1193,8	690,4	503,4	0,26	2,369	2,461	3,7
3	1190,6	1192,2	687,8	504,4	0,32	2,360	2,461	4,1
4	1193,5	1194,9	688,0	506,9	0,28	2,355	2,461	4,3
Promedio						2,359		4,2

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-3 se obtiene un GBS promedio de 2.359 y un porcentaje de vacíos de 4.2%.

4.1.2.3 Estabilidad y flujo plástico

Tabla 18: Estabilidad y Flujo plástico. Muestra #3570-3

Estabilidad y Flujo plástico			
# Pastilla	Altura (cm)	Estabilidad (kg)	Flujo Plástico (1/100cm)
1	6,41	1829	32,0
2	6,40	1861	37,0
3	6,38	1829	32,0
4	6,39	1970	44,0
Promedio:		1872	36,3

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-3 la estabilidad promedio es de 1872 kg y el flujo plástico promedio es de 36.3 (1/100cm).

Con el fin de bajar el coeficiente de variación de los datos se procede a eliminar la muestra que se encuentra más dispersa mediante límites máximos y mínimos.

4.1.2.4 Análisis de estabilidad

Tabla 19: Análisis de estabilidad, muestra #3570-3

# Pasti lla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación	
1	1829	1872	1930	1814	58	3,09	
2	1861	1872	1930	1814			
3	1829	1872	1930	1814			
4	1970	1872	1930	1814			

Fuente: Propia

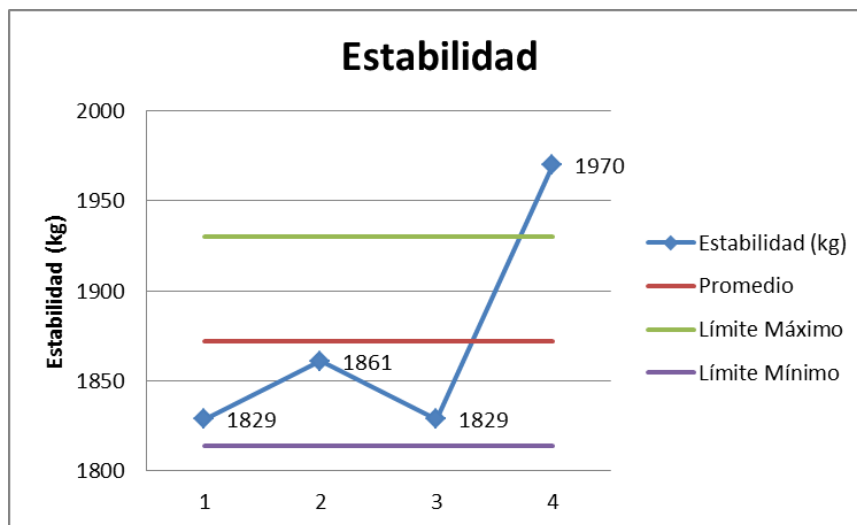


Ilustración 5: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-3

Para la muestra #3570-3 se obtuvo una estabilidad promedio de 1872 kg y con un coeficiente de variación de 3.09. Mediante la gráfica se observa que el dato más disperso es de la pastilla #4 de 1970 kg, por lo que se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 20: Análisis de estabilidad, muestra #3570-3

# Pasti lla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
1	1829	1840	1855	1825	15	0,82
2	1861	1840	1855	1825		
3	1829	1840	1855	1825		

Fuente: Propia

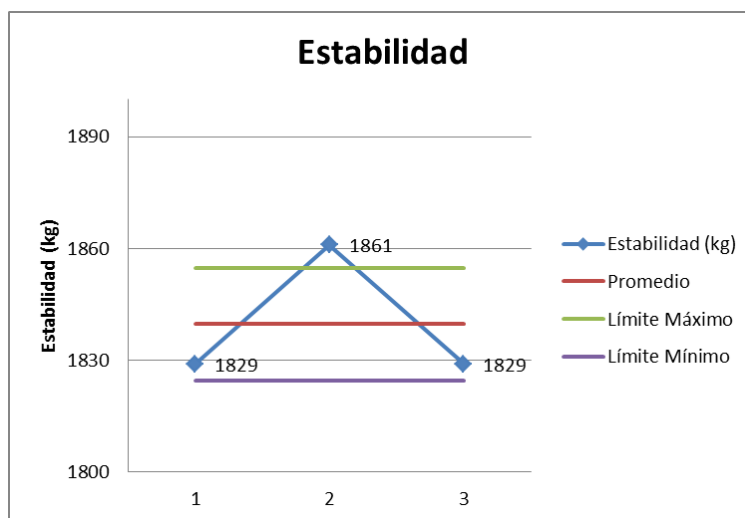


Ilustración 6: Grafica de estabilidad, muestra #3570-3

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 3.09 a 0.82, disminuyendo el coeficiente de variación en un 73.4%, la estabilidad promedio final de la muestra #3570-3 es de 1840 kg.

4.1.2.5 Análisis del flujo plástico

Tabla 21: Análisis del flujo plástico, muestra #3570-3

# Pasti lla	Flujo Plástico (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
1	32,0	36,3	41,2	31,3	4,92	13,57
2	37,0	36,3	41,2	31,3		
3	32,0	36,3	41,2	31,3		
4	44,0	36,3	41,2	31,3		

Fuente: Propia

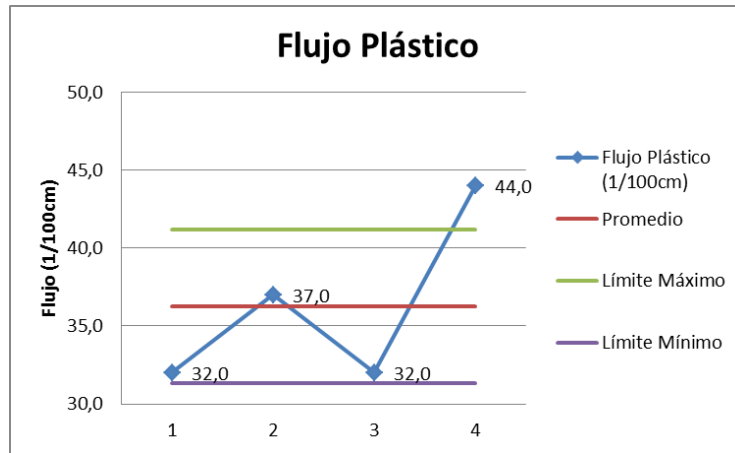


Ilustración 7: Grafica del flujo plástico, muestra #3570-3

De la muestra #3570-3 se obtuvo un flujo plástico promedio de 36.3 (1/100cm) y un coeficiente de variación de 13.53. En la gráfica se observa que el dato más disperso es de la pastilla #4 el cual se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 22: Análisis del flujo plástico, muestra #3570-3

# Pastilla	Flujo Plástico (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
1	32,0	33,7	36,02	31,31	2,36	7,00
2	37,0	33,7	36,02	31,31		
3	32,0	33,7	36,02	31,31		

Fuente: Propia

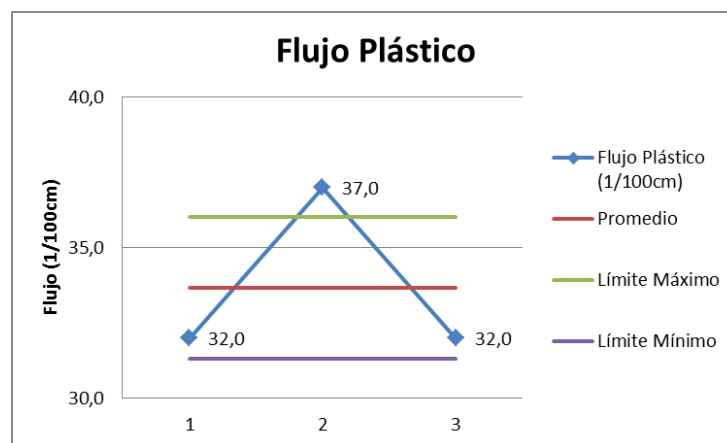


Ilustración 8: Grafica del flujo plástico, muestra #3570-3

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 13.57 a 7.00, disminuyendo el coeficiente de variación en un 48.4%. El flujo plástico promedio final de la muestra #3570-3 es de 33.7 (1/100cm).

4.1.2.6 Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado

Tabla 23: Porcentaje de asfalto, muestra #3570-3

N° de muestra: <u>3570-3</u>			
EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS			
CENIZA		Código Balanza: <u>BA-012</u>	
Masa del crisol (g):	<u>136,014</u>	Masa del crisol + ceniza (g):	<u>136,604</u>
G) Masa de ceniza (g):	<u>0,590</u>	V2) Volumen de la alicuota (ml):	<u>100</u>
V1) Volumen total del líquido (ml):	<u>980</u>	% Ceniza (100*(W4/W5))	<u>0,31</u>
W4) Masa del material mineral G*(V1/V2) (g):	<u>5,782</u>		
REFLUX		Código Balanza: <u>BA-020</u>	
C) Humedad de la mezcla (%):	<u>0,08</u>		
W1) Masa del espécimen de ensayo (g):	<u>1955,4</u>	Masa mezcla cono 1 (g):	<u>1095</u>
W2) Masa de Agua (C*W1/100) (g):	<u>1,5</u>	Masa mezcla cono 2 (g):	<u>860,4</u>
Masa de filtros (g):	<u>19</u>		
Masa agregado + filtros (g):	<u>1868</u>		
W3) Masa del agregado (g):	<u>1849</u>		
W5) Masa del agregado + Ceniza (W3+W4)	<u>1854,8</u>		
% de Asfalto sobre la mezcla $100*((w1-w2)-(w3+w4))/(w1-w2)$		<u>5,07</u>	%
% de Asfalto sobre el agregado $100*((w1-w2)-(w3+w4))/(w3+w4)$		<u>5,34</u>	%

Fuente: Propia

De la muestra #3570-3 se obtiene un porcentaje de asfalto sobre la mezcla de 5.07% y un porcentaje de asfalto sobre el agregado de 5.34%.

4.1.2.7 Graduación de los agregados

Tabla 24: Graduación de los agregados, muestra #3570-3

Graduación de Agregado Extraído					
Código de la Balanza:	<u>BA-020</u>	N° muestra:	<u>3570-3</u>		
W5) Masa seca inicial (W3+W4):	<u>1854,8</u>				
W6) Masa lavada seca:	<u>1759</u>				
# Malla	Malla (mm)	W7) Masa (g)	W8) % retenido $100*(w7/w5)$	W9) % retenido acumulado	% Pasando $100-W9$
					100
1/2"	12,7	165,6	8,9	9	91
3/8"	9,5	270,7	14,6	24	76
N° 4	4,75	560,6	30,2	54	46
N° 8	2	296,6	16,0	70	30
N° 16	1,18	179,7	9,7	79	21
N° 30	0,6	101,8	5,5	85	15
N° 50	0,3	77,7	4,2	89	11
N° 200	0,075	102,4	5,5	95	5,37
Charola		3,8	0,2	95	
W10) Suma total masa:	<u>1758,9</u>				
% de variación de masa $100*((w6-w10)/w5)$	<u>0,01</u>	(no debe ser mayor al 0,03%)			

Fuente: Propia

Se obtiene un porcentaje de variación de masa de 0.01% menor al permitido de 0.03%.

4.1.3 Muestra #3570-5

4.1.3.1 Gravedad específica máxima teórica

Tabla 25: Máxima teórica, muestra #3570-5

PARAMETROS MARSHALL (Máxima Teórica, GBS, Estabilidad y flujo plástico y calculo de vacíos)					
	N° Muestra	3570-5		Contenido Agua Mezcla	
GRAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA TEÓRICA	Determinación N° 1	Determinación N° 2	Peso inicial (A)	1483,5	
(A)	Masa del recipiente (g)	1039,8	1268,1	Peso final (B)	1482,5
	Masa del recipiente + Muestra (g)	2662,2	2887,8	Contenido de agua ((A-B)/B)*100	0,07
	Masa de la muestra (g)	1622,4	1619,7		
(A)	Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1621,3	1618,6		
(D)	Masa del recipiente + agua (g)	3340,2	3479,5		
(E)	Masa recipiente + agua + muestra (después de aplicar el vacío) (g)	4304,1	4441,5		
(A')	Masa de la muestra SSS	1623,8	1621,1		
	Gravedad Especifica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción: $A/(A+D-E)$	2,466	2,465		
	Gravedad Especifica Máxima Teórica (Gmt) con absorción: $A/(A'+D-E)$	2,457	2,456		
	Promedio	2,456			
	Temperatura del agua en el contenedor °C	24,4	Fecha de realización	16/06/2017	
	Código Balanza:	BA-020			

Fuente: Propia

La gravedad específica máxima teórica promedio de la muestra #3570-5 es de 2.456.

4.1.3.2 GBS, porcentaje de vacíos

Tabla 26: GBS y porcentaje de vacíos, muestra #3570-5

PARAMETROS MARSHALL (Máxima Teórica, GBS, Estabilidad y flujo plástico y calculo de vacíos)								
N° Muestra: 3570-5				Fecha Realización		16/06/2017		
Gravedad Especifica Bruta de Mezcla Asfáltica y Calculo de Vacíos								
Temp. Ambiente °C:		23,9		Temp. Agua °C:		24,7		
# Pasti lla	Masa seca(g) (A)	Masa SSS(g) (B)	Masa sumergía(g) (C)	B-C	% Agua Absorción: $100*(B-A/B-C)$	Gbs: (A/B-C) (E)	Máxima Teórica (D)	% Vacíos: $100*(D-E/D)$
1	1182,9	1184,8	684,5	500,3	0,38	2,364	2,456	3,74
2	1184,9	1186,8	685,0	501,8	0,38	2,361	2,456	3,87
3	1185,1	1187,0	686,3	500,7	0,38	2,367	2,456	3,64
4	1185,7	1186,2	685,7	500,5	0,10	2,369	2,456	3,55
Promedio						2,365		3,70

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-5 se obtiene un GBS promedio de 2.365 y un porcentaje de vacíos de 3.70%.

4.1.3.3 Estabilidad y flujo plástico

Tabla 27: Estabilidad y Flujo Plástico, muestra #3570-5

Estabilidad y Flujo plástico			
# Pasti lla	Altura (cm)	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100cm)
1	6,34	1786	47,3
2	6,32	1886	31,8
3	6,35	1643	49,6
4	6,38	2044	43,7
Promedio:		1840	43,1

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-5 la estabilidad promedio es de 1840 kg y el flujo plástico promedio es de 43.1 (1/100cm).

Con el fin de bajar el coeficiente de variación de los datos se procede a eliminar la muestra que se encuentra más dispersa mediante límites máximos y mínimos.

4.1.3.4 Análisis de Estabilidad

Tabla 28: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-5

# Pastilla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
1	1786	1840	1986	1694	146	7,94
2	1886	1840	1986	1694		
3	1643	1840	1986	1694		
4	2044	1840	1986	1694		

Fuente: Propia

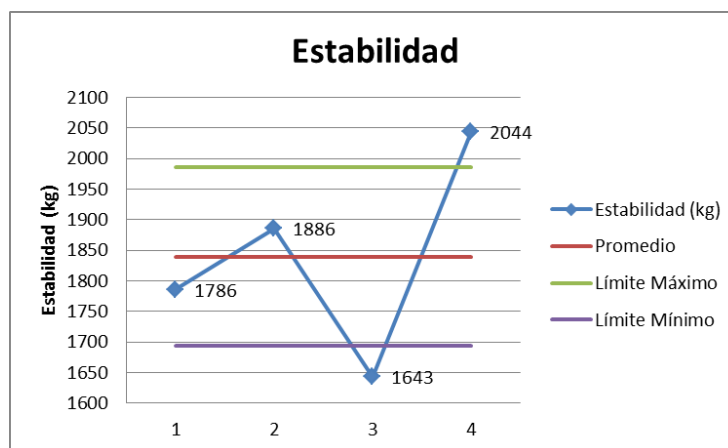


Ilustración 9: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-5

Para la muestra #3570-5 se obtuvo una estabilidad promedio de 1840 kg y con un coeficiente de variación de 7.94. Mediante la gráfica se observa que el dato más disperso es de la pastilla #3 de 1643 kg, por lo que se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 29: Análisis de Estabilidad, Muestra #3570-5

# Pastilla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
1	1786	1905	2012	1799	106	5,57
2	1886	1905	2012	1799		
4	2044	1905	2012	1799		

Fuente: Propia

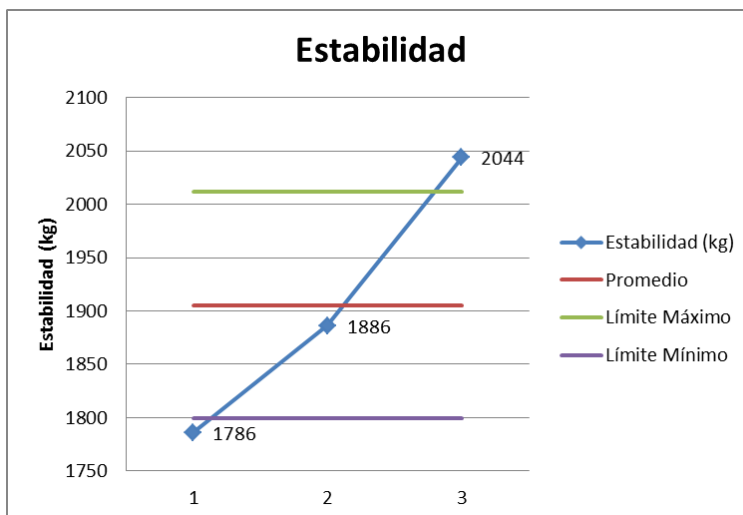


Ilustración 10: Grafica de Estabilidad, muestra #3570-5

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 7.94 a 5.57, disminuyendo el coeficiente de variación en un 29.8%, la estabilidad promedio final de la muestra #3570-5 es de 1905 kg.

4.1.3.5 Análisis del Flujo Plástico

Tabla 30: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-5

# Pasti lla	Flujo (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
1	47,3	43,1	50,0	36,2	6,85	15,90
2	31,8	43,1	50,0	36,2		
3	49,6	43,1	50,0	36,2		
4	43,7	43,1	50,0	36,2		

Fuente: Propia

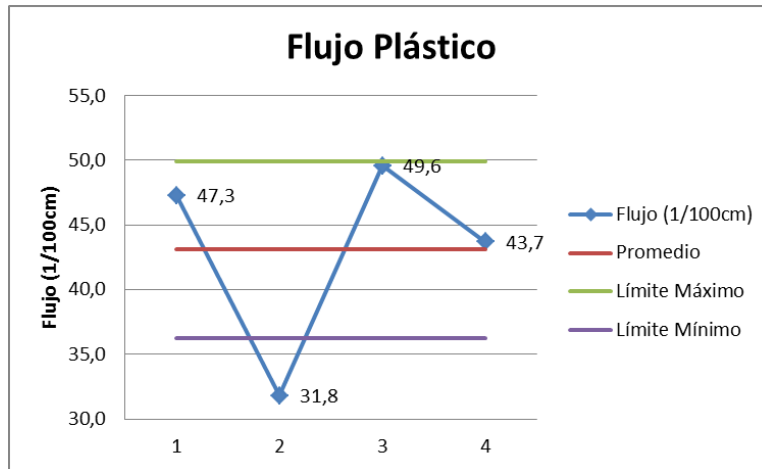


Ilustración 11: Grafica del Flujo Plástico, muestra #3570-5

De la muestra #3570-5 se obtuvo un flujo plástico promedio de 43.1 (1/100cm) y un coeficiente de variación de 15.90. En la gráfica se observa que el dato más disperso es de la pastilla #2 el cual se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 31: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-5

# Pastilla	Flujo (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
2	47,3	46,9	49,29	44,44	2,43	5,18
3	49,6	46,9	49,29	44,44		
4	43,7	46,9	49,29	44,44		

Fuente: Propia

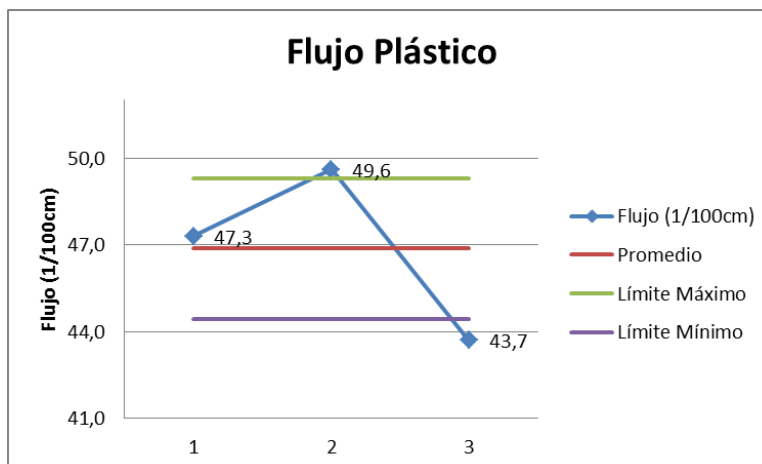


Ilustración 12: Grafica del Flujo Plástico, muestra #3570-5

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 15.90 a 5.18, disminuyendo el coeficiente de variación en un 67.4%, el flujo plástico promedio final de la muestra #3570-5 es de 46.9 (1/100cm).

4.1.3.6 Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado

Tabla 32: Porcentaje de Asfalto, muestra #3570-5

N° de muestra: <u>3570-5</u>		Fecha: 21/06/2017	
EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS			
CENIZA		Código Balanza: <u>BA-012</u>	
Masa del crisol (g):	<u>136,018</u>	Masa del crisol + ceniza (g):	<u>136,607</u>
G) Masa de ceniza (g):	<u>0,589</u>	V2) Volumen de la alicuota (ml):	<u>100</u>
V1) Volumen total del líquido (ml):	<u>1000</u>	% Ceniza (100*(W4/W5))	<u>0,34</u>
W4) Masa del material mineral G*(V1/V2) (g):	<u>5,890</u>		
REFLUX		Código Balanza: <u>BA-020</u>	
C) Humedad de la mezcla (%):	<u>0,07</u>		
W1) Masa del espécimen de ensayo (g):	<u>1821,4</u>	Masa mezcla cono 1 (g):	<u>998,2</u>
W2) Masa de Agua (C*W1/100) (g):	<u>1,2</u>	Masa mezcla cono 2 (g):	<u>823,2</u>
Masa de filtros (g):	<u>19,1</u>		
Masa agregado + filtros (g):	<u>1732,3</u>		
W3) Masa del agregado (g):	<u>1713,2</u>		
W5) Masa del agregado + Ceniza (W3+W4)	<u>1719,1</u>		
% de Asfalto sobre la mezcla $100*((w1-w2)-(w3+w4))/(w1-w2)$		<u>5,55</u>	%
% de Asfalto sobre el agregado $100*((w1-w2)-(w3+w4))/(w3+w4)$		<u>5,88</u>	%

Fuente: Propia

De la muestra #3570-5 se obtiene un porcentaje de asfalto sobre la mezcla de 5.55% y un porcentaje de asfalto sobre el agregado de 5.88%.

4.1.3.7 Graduación de los agregados

Tabla 33: Graduación de los agregados, muestra #3570-5

Graduación de Agregado Extraído					
Código de la Balanza:		<u>BA-020</u>	N° muestra: <u>3570-5</u>		
W5) Masa seca inicial (W3+W4):		<u>1719,1</u>			
W6) Masa lavada seca:		<u>1639,7</u>			
# Malla	Malla (mm)	W7) Masa (g)	W8) % retenido $100*(w7/w5)$	W9) % retenido acumulado	% Pasando 100-W9
					100
1/2"	12,7	119,2	6,9	7	93
3/8"	9,5	272,9	15,9	23	77
N° 4	4,75	585,1	34,0	57	43
N° 8	2	250,1	14,5	71	29
N° 16	1,18	154,5	9,0	80	20
N° 30	0,6	91,8	5,3	86	14
N° 50	0,3	70	4,1	90	10
N° 200	0,075	92,1	5,4	95	4,85
Charola		3,6	0,2	95	
W10) Suma total masa:		<u>1639,3</u>			
% de variación de masa $100*((w6-w10)/w5)$			<u>0,02</u>	(no debe ser mayor al 0,03%)	

Fuente: Propia

Se obtiene un porcentaje de variación de masa de 0.02% menor al permitido de 0.03%.

4.1.4 Muestra #3570-7

4.1.4.1 Gravedad específica máxima teórica

Tabla 34: Máxima Teórica, muestra #3570-7

PARAMETROS MARSHALL (Máxima Teórica, GBS, Estabilidad y flujo plástico y calculo de vacíos)					
		N° Muestra 3570-7		Contenido Agua Mezcla	
GRAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA TEÓRICA		Determinación N° 1	Determinación N° 2	Peso inicial (A)	1394,8
	Masa del recipiente (g)	1039,1	1267,2	Peso final (B)	1394,1
	Masa del recipiente + Muestra (g)	2573,3	2862,3	Contenido de agua ((A-B)/B)*100	0,05
(A)	Masa de la muestra (g)	1534,2	1595,1		
	Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1533,4	1594,3		
(D)	Masa del recipiente + agua (g)	3340,2	3479,5		
(E)	Masa recipiente + agua + muestra (después de aplicar el vacío) (g)	4253,3	4430,4		
(A')	Masa de la muestra SSS	1535,9	1597,6		
	Gravedad Especifica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción: $A/(A+D-E)$	2,472	2,478		
	Gravedad Especifica Máxima Teórica (Gmt) con absorción: $A/(A'+D-E)$	2,462	2,465		
	Promedio	2,464			
	Temperatura del agua en el contenedor °C	24	Fecha de realización	21/06/2017	
	Código Balanza:	BA-020			

Fuente: Propia

La gravedad específica máxima teórica promedio de la muestra #3570-7 es de 2.464.

4.1.4.2 GBS, porcentaje de vacíos

Tabla 35: GBS y porcentaje de vacíos, muestra #3570-7

PARAMETROS MARSHALL (Máxima Teórica, GBS, Estabilidad y flujo plástico y calculo de vacíos)								
N° Muestra: 3570-7				Fecha Realización		22/06/2017		
Gravedad Especifica Bruta de Mezcla Asfáltica y Calculo de Vacíos								
Temp. Ambiente °C:		24,1		Temp. Agua °C:		25,2		
# Pastilla	Masa seca(g) (A)	Masa SSS(g) (B)	Masa sumergía(g) (C)	B-C	% Agua Absorción: $100*(B-A/B-C)$	Gbs: (A/B-C) (E)	Máxima Teórica (D)	% Vacíos: $100*(D-E/D)$
1	1178,7	1180,9	678,6	502,3	0,44	2,347	2,464	4,8
2	1179,6	1181,2	678,7	502,5	0,32	2,347	2,464	4,7
3	1179,7	1181,2	678,9	502,3	0,30	2,349	2,464	4,7
4	1174,7	1176,7	677,7	499	0,40	2,354	2,464	4,4
Promedio						2,349		4,6

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-7 se obtiene un GBS promedio de 2.349 y un porcentaje de vacíos de 4.6%.

4.1.4.3 Estabilidad y flujo plástico

Tabla 36: Estabilidad y Flujo Plástico, muestra #3570-7

Estabilidad y Flujo plástico			
# Pastilla	Altura (cm)	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100cm)
1	6,40	2068	46,8
2	6,35	1860	27,9
3	6,33	1712	47,2
4	6,30	1956	37,4
Promedio:		1899	39,8

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-7 la estabilidad promedio es de 1899 kg y el flujo plástico promedio es de 43.1 (1/100cm).

Con el fin de bajar el coeficiente de variación de los datos se procede a eliminar la muestra que se encuentra más dispersa mediante límites máximos y mínimos.

4.1.4.4 Análisis de estabilidad

Tabla 37: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-7

# Pastilla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
1	2068	1899	2030	1768	131	6,88
2	1860	1899	2030	1768		
3	1712	1899	2030	1768		
4	1956	1899	2030	1768		

Fuente: Propia

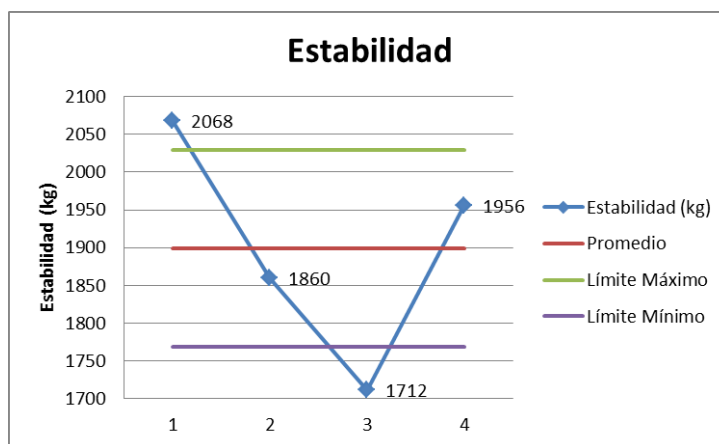


Ilustración 13: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-7

Para la muestra #3570-7 se obtuvo una estabilidad promedio de 1899 kg y con un coeficiente de variación de 6.88. Mediante la gráfica se observa que el dato más disperso es de la pastilla #3 de 1712 kg, por lo que se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 38: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-7

# Pastilla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
1	2068	1961	2046	1876	85	4,33
2	1860	1961	2046	1876		
4	1956	1961	2046	1876		

Fuente: Propia

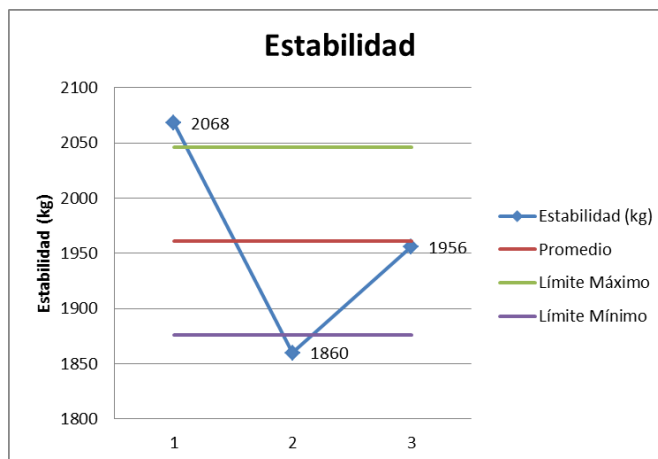


Ilustración 14: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-7

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 6.88 a 4.33, disminuyendo el coeficiente de variación en un 37.1%. La estabilidad promedio final de la muestra #3570-7 es de 1961 kg.

4.1.4.5 Análisis del Flujo Plástico

Tabla 39: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-7

# Pastilla	Flujo (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
1	46,8	39,8	47,7	31,9	7,92	19,90
2	27,9	39,8	47,7	31,9		
3	47,2	39,8	47,7	31,9		
4	37,4	39,8	47,7	31,9		

Fuente: Propia

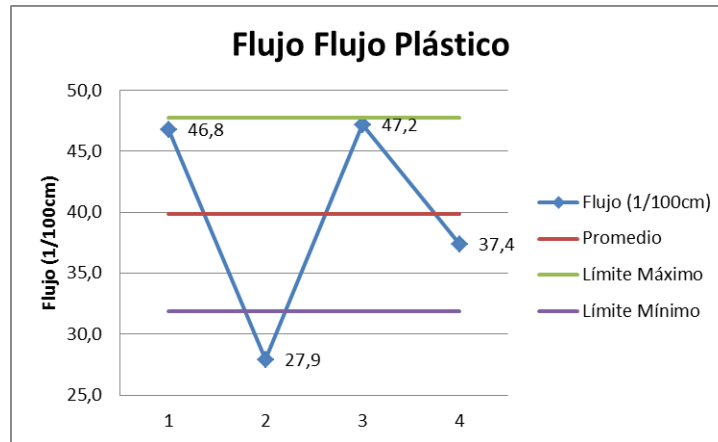


Ilustración 15: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-7

De la muestra #3570-7 se obtuvo un flujo plástico promedio de 39.8 (1/100cm) y un coeficiente de variación de 19.90. En la gráfica se observa que el dato más disperso es de la pastilla #2 el cual se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 40: Análisis del Flujo Plástico, #3570-7

# Pasti lla	Flujo (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
1	46,8	43,8	48,33	39,27	4,53	10,34
3	47,2	43,8	48,33	39,27		
4	37,4	43,8	48,33	39,27		

Fuente: Propia

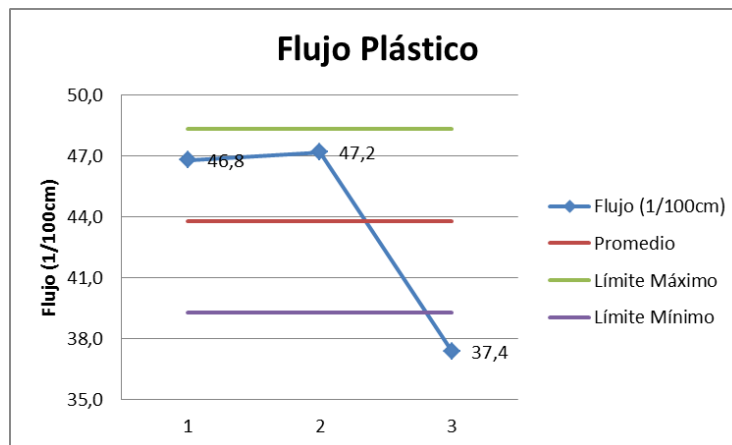


Ilustración 16: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-7

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 19.90 a 10.34, disminuyendo el coeficiente de variación en un 48%, el flujo plástico promedio final de la muestra #3570-7 es de 43.8 (1/100cm).

4.1.4.6 Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado

Tabla 41: Porcentaje de Asfalto, muestra #3570-7

N° de muestra: <u>3570-7</u>		Fecha: 21/06/2017	
EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS			
CENIZA		Código Balanza: <u>BA-012</u>	
Masa del crisol (g):	<u>136,017</u>	Masa del crisol + ceniza (g):	<u>136,635</u>
G) Masa de ceniza (g):	<u>0,618</u>	V2) Volumen de la alicuota (ml):	<u>100</u>
V1) Volumen total del líquido (ml):	<u>980</u>	% Ceniza (100*(W4/W5))	<u>0,33</u>
W4) Masa del material mineral G*(V1/V2) (g):	<u>6,056</u>		
REFLUX		Código Balanza: <u>BA-020</u>	
C) Humedad de la mezcla (%):	<u>0,05</u>		
W1) Masa del espécimen de ensayo (g):	<u>1937,7</u>	Masa mezcla cono 1 (g):	<u>1025,4</u>
W2) Masa de Agua (C*W1/100) (g):	<u>1,0</u>	Masa mezcla cono 2 (g):	<u>912,3</u>
Masa de filtros (g):	<u>19,6</u>		
Masa agregado + filtros (g):	<u>1853</u>		
W3) Masa del agregado (g):	<u>1833,4</u>		
W5) Masa del agregado + Ceniza (W3+W4)	<u>1839,5</u>		
% de Asfalto sobre la mezcla $100*((w1-w2)-(w3+w4))/(w1-w2)$		<u>5,02</u>	%
% de Asfalto sobre el agregado $100*((w1-w2)-(w3+w4))/(w3+w4)$		<u>5,29</u>	%

Fuente: Propia

De la muestra #3570-7 se obtiene un porcentaje de asfalto sobre la mezcla de 5.02% y un porcentaje de asfalto sobre el agregado de 5.29%.

4.1.4.7 Graduación de los agregados

Tabla 42: Graduación de los agregados, muestra #3570-7

Graduación de Agregado Extraído					
Código de la Balanza:	<u>BA-020</u>	N° muestra:	<u>3570-7</u>		
W5) Masa seca inicial (W3+W4):	<u>1839,5</u>				
W6) Masa lavada seca:	<u>1723,9</u>				
# Malla	Malla (mm)	W7) Masa (g)	W8) % retenido $100*(w7/w5)$	W9) % retenido acumulado	% Pasando $100-W9$
					100
1/2"	12,7	152,7	8,3	8	92
3/8"	9,5	240	13,0	21	79
N° 4	4,75	582,4	31,7	53	47
N° 8	2	296,8	16,1	69	31
N° 16	1,18	182,8	9,9	79	21
N° 30	0,6	97,8	5,3	84	16
N° 50	0,3	72,6	3,9	88	12
N° 200	0,075	95,1	5,2	94	6,48
Charola		3,4	0,2	94	
W10) Suma total masa:	<u>1723,6</u>				
% de variación de masa $100*((w6-w10)/w5)$	<u>0,02</u>	(no debe ser mayor al 0,03%)			

Fuente: Propia

Se obtiene un porcentaje de variación de masa de 0.02% menor al permitido de 0.03%.

4.1.5 Muestra #3570-9

4.1.5.1 Gravedad específica máxima teórica

Tabla 43: Máxima Teórica, muestra #3570-9

PARAMETROS MARSHALL (Máxima Teórica, GBS, Estabilidad y flujo plástico y calculo de vacíos)					
	N° Muestra	3570-9		Contenido Agua Mezcla	
GAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA TEÓRICA	Determinación N° 1	Determinación N° 2	Peso inicial (A)	1475,3	
(A)	Masa del recipiente (g)	1039,1	1267,2	Peso final (B)	1474,5
	Masa del recipiente + Muestra (g)	2645,9	2853,8	Contenido de agua ((A-B)/B)*100	0,05
	Masa de la muestra (g)	1606,8	1586,6		
(A)	Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1605,9	1585,7		
(D)	Masa del recipiente + agua (g)	3340,2	3479,5		
(E)	Masa recipiente + agua + muestra (después de aplicar el vacío) (g)	4297,2	4423,8		
(A')	Masa de la muestra SSS	1607,9	1587,7		
	Gravedad Especifica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción: $A/(A+D-E)$	2,475	2,472		
	Gravedad Especifica Máxima Teórica (Gmt) con absorción: $A/(A'+D-E)$	2,467	2,465		
	Promedio	2,466			
	Temperatura del agua en el contenedor °C	24,3	Fecha de realización	26/06/2017	
	Código Balanza:	BA-020			

Fuente: Propia

La gravedad específica máxima teórica promedio de la muestra #3570-9 es de 2.466.

4.1.5.2 GBS y porcentaje de vacíos

Tabla 44: GBS y porcentaje de vacíos, muestra #3570-9

PARAMETROS MARSHALL (Máxima Teórica, GBS, Estabilidad y flujo plástico y calculo de vacíos)								
N° Muestra: 3570-9				Fecha Realización		06/07/2017		
Gravedad Especifica Bruta de Mezcla Asfáltica y Calculo de Vacíos								
Temp. Ambiente °C:		23,4		Temp. Agua °C:		24,4		
# Pastilla	Masa seca(g) (A)	Masa SSS(g) (B)	Masa sumergía(g) (C)	B-C	% Agua Absorción: $100*(B-A/B-C)$	Gbs: (A/B-C) (E)	Máxima Teórica (D)	% Vacíos: $100*(D-E/D)$
1	1182,9	1184,5	682,6	501,9	0,32	2,357	2,466	4,42
2	1179,7	1181,9	678,6	503,3	0,44	2,344	2,466	4,95
3	1182,3	1184,3	681,4	502,9	0,40	2,351	2,466	4,66
4	1183,5	1185,4	681,5	503,9	0,38	2,349	2,466	4,75
Promedio						2,350		4,70

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-9 se obtiene un GBS promedio de 2.350 y un porcentaje de vacíos de 4.70%.

4.1.5.3 Estabilidad y flujo plástico

Tabla 45: Estabilidad y Flujo Plástico, muestra #3570-9

Estabilidad y Flujo plástico			
# Pastilla	Altura (cm)	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100cm)
1	6,34	1812	54,4
2	6,37	1721	43,1
3	6,36	1840	55,7
4	6,37	1846	52,5
Promedio:		1805	51,4

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-9 la estabilidad promedio es de 1805 kg y el flujo plástico promedio es de 51.4 (1/100cm).

Con el fin de bajar el coeficiente de variación de los datos se procede a eliminar la muestra que se encuentra más dispersa mediante límites máximos y mínimos.

4.1.5.4 Análisis de estabilidad

Tabla 46: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-9

# Pastilla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
1	1812	1805	1855	1755	50	2,77
2	1721	1805	1855	1755		
3	1840	1805	1855	1755		
4	1846	1805	1855	1755		

Fuente: Propia

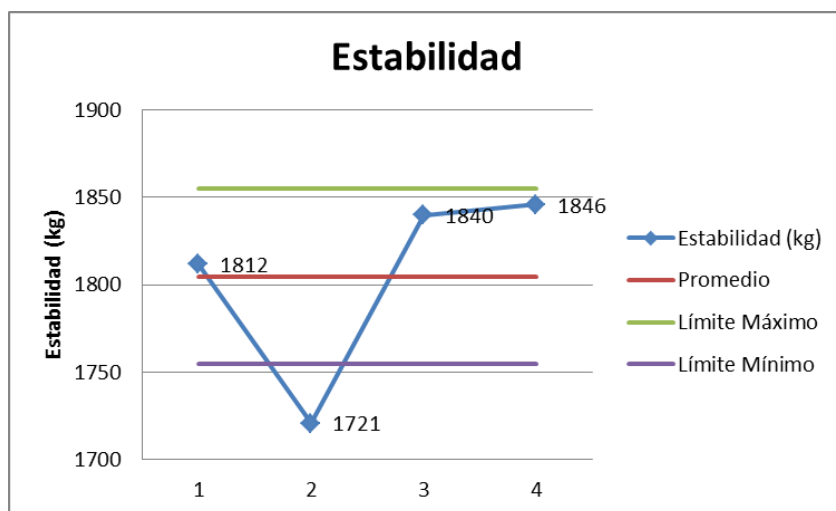


Ilustración 17 : Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-9

Para la muestra #3570-9 se obtuvo una estabilidad promedio de 1805 kg y con un coeficiente de variación de 2.77. Mediante la gráfica se observa que el dato más disperso es de la pastilla #2 de 1721 kg, por lo que se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 47: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-9

# Pasti lla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
1	1812	1833	1847	1818	15	0,81
3	1840	1833	1847	1818		
4	1846	1833	1847	1818		

Fuente: Propia

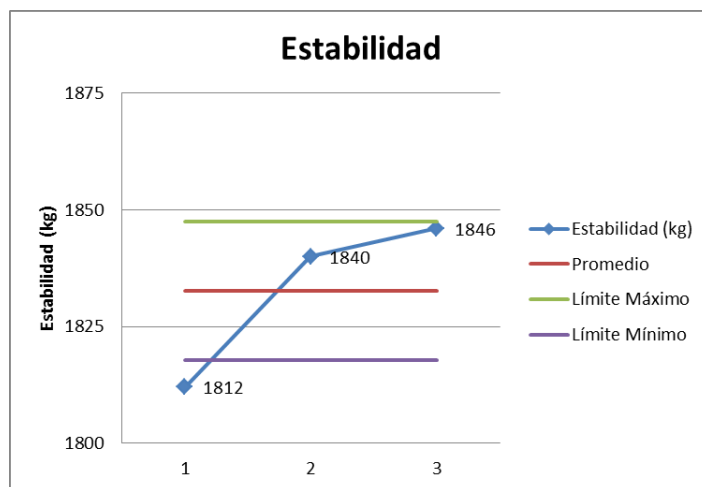


Ilustración 18: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-9

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 2.77 a 0.81, disminuyendo el coeficiente de variación en un 70.8%. La estabilidad promedio final de la muestra #3570-9 es de 1833 kg.

4.1.5.5 Análisis del flujo plástico

Tabla 48: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-9

# Pasti lla	Flujo (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
1	54,4	51,4	56,4	46,5	4,94	9,60
2	43,1	51,4	56,4	46,5		
3	55,7	51,4	56,4	46,5		
4	52,5	51,4	56,4	46,5		

Fuente: Propia

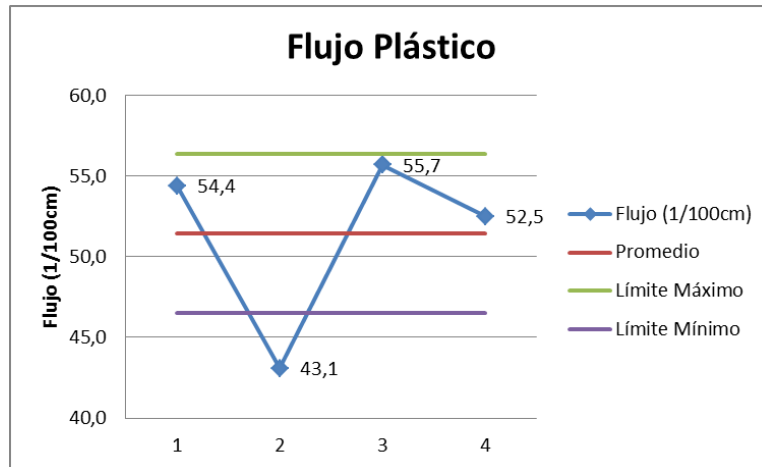


Ilustración 19: Gráfico del Flujo Plástico, muestra #3570-9

De la muestra #3570-9 se obtuvo un flujo plástico promedio de 51.4 (1/100cm) y un coeficiente de variación de 9.60. En la gráfica se observa que el dato más disperso es de la pastilla #2 el cual se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 49: Análisis de flujo plástico, muestra #3570-9

# Pastilla	Flujo (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
1	54,4	54,2	55,51	52,89	1,31	2,42
3	55,7	54,2	55,51	52,89		
4	52,5	54,2	55,51	52,89		

Fuente: Propia

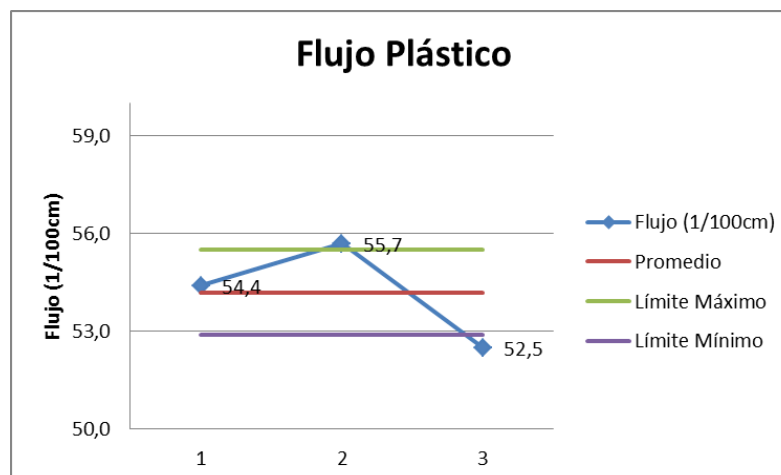


Ilustración 20: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-9

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 9.60 a 2.42, disminuyendo el coeficiente de variación en un 74.8%. El flujo plástico promedio final de la muestra #3570-9 es de 54.2 (1/100cm).

4.1.5.6 Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado

Tabla 50: Porcentaje de Asfalto, muestra #3570-9

N° de muestra: <u>3570-9</u>		Fecha: 06/07/2017	
EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS			
CENIZA		Código Balanza: <u>BA-012</u>	
Masa del crisol (g):	<u>136,015</u>	Masa del crisol + ceniza (g):	<u>136,605</u>
G) Masa de ceniza (g):	<u>0,590</u>	V2) Volumen de la alicuota (ml):	<u>100</u>
V1) Volumen total del líquido (ml):	<u>930</u>	% Ceniza (100*(W4/W5))	<u>0,34</u>
W4) Masa del material mineral G*(V1/V2) (g):	<u>5,487</u>		
REFLUX		Código Balanza: <u>BA-020</u>	
C) Humedad de la mezcla (%):	<u>0,05</u>		
W1) Masa del espécimen de ensayo (g):	<u>1706,9</u>	Masa mezcla cono 1 (g):	<u>975,8</u>
W2) Masa de Agua (C*W1/100) (g):	<u>0,9</u>	Masa mezcla cono 2 (g):	<u>731,1</u>
Masa de filtros (g):	<u>19,5</u>		
Masa agregado + filtros (g):	<u>1633,2</u>		
W3) Masa del agregado (g):	<u>1613,7</u>		
W5) Masa del agregado + Ceniza (W3+W4)	<u>1619,2</u>		
% de Asfalto sobre la mezcla $100*((w1-w2)-(w3+w4))/(w1-w2)$		<u>5,09</u>	%
% de Asfalto sobre el agregado $100*((w1-w2)-(w3+w4))/(w3+w4)$		<u>5,36</u>	%

Fuente: Propia

De la muestra #3570-9 se obtiene un porcentaje de asfalto sobre la mezcla de 5.09% y un porcentaje de asfalto sobre el agregado de 5.36%.

4.1.5.7 Graduación del agregado

Tabla 51: Graduación del Agregado, muestra #3570-9

Graduación de Agregado Extraído					
Código de la Balanza:	<u>BA-020</u>	N° muestra:	<u>3570-9</u>		
W5) Masa seca inicial (W3+W4):	<u>1619,2</u>				
W6) Masa lavada seca:	<u>1522</u>				
# Malla	Malla (mm)	W7) Masa (g)	W8) % retenido $100*(w7/w5)$	W9) % retenido acumulado	% Pasando $100-W9$
					100
1/2"	12,7	89,4	5,5	6	94
3/8"	9,5	228,4	14,1	20	80
N° 4	4,75	488,4	30,2	50	50
N° 8	2	277,7	17,2	67	33
N° 16	1,18	171,1	10,6	78	22
N° 30	0,6	96,3	5,9	83	17
N° 50	0,3	72,9	4,5	88	12
N° 200	0,075	95,9	5,9	94	6,12
Charola		1,8	0,1	94	
W10) Suma total masa:	<u>1521,9</u>				
% de variación de masa $100*((w6-w10)/w5)$	<u>0,01</u>	(no debe ser mayor al 0,03%)			

Fuente: Propia

Se obtiene un porcentaje de variación de masa de 0.01% menor al permitido de 0.03%.

4.1.6 Muestra #3570-11

4.1.6.1 Gravedad específica máxima teórica

Tabla 52: Máxima Teórica, muestra #3570-11

PARAMETROS MARSHALL (Máxima Teórica, GBS, Estabilidad y flujo plástico y calculo de vacíos)					
		N° Muestra 3570-11		Contenido Agua Mezcla	
GAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA TEÓRICA		Determinación N° 1	Determinación N° 2	Peso inicial (A)	1338,5
	Masa del recipiente (g)	1039,7	1267,7	Peso final (B)	1338,2
	Masa del recipiente + Muestra (g)	2555,9	2781,9	Contenido de agua ((A-B)/B)*100	0,02
(A)	Masa de la muestra (g)	1516,2	1514,2		
	Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1515,9	1513,9		
(D)	Masa del recipiente + agua (g)	3340,2	3479,5		
(E)	Masa recipiente + agua + muestra (después de aplicar el vacío) (g)	4237,8	4378,6		
(A')	Masa de la muestra SSS	1517,2	1515,2		
	Gravedad Especifica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción: $A/(A+D-E)$	2,452	2,463		
	Gravedad Especifica Máxima Teórica (Gmt) con absorción: $A/(A'+D-E)$	2,447	2,457		
	Promedio	2,452			
	Temperatura del agua en el contenedor °C	24,8	Fecha de realización	07/07/2017	
	Código Balanza:	BA-025			

Fuente: Propia

La gravedad específica máxima teórica promedio de la muestra #3570-11 es de 2.452.

4.1.6.2 GBS y porcentaje de vacíos

Tabla 53: GBS y porcentaje de Vacíos, muestra #3570-11

PARAMETROS MARSHALL (Máxima Teórica, GBS, Estabilidad y flujo plástico y cálculo de vacíos)								
N° Muestra: 3570-11				Fecha Realización		10/07/2017		
Gravedad Especifica Bruta de Mezcla Asfáltica y Cálculo de Vacíos								
Temp. Ambiente °C:		24		Temp. Agua °C:		24,4		
# Pastilla	Masa seca(g) (A)	Masa SSS(g) (B)	Masa sumergida(g) (C)	B-C	% Agua Absorb: $100*(B-A/B-C)$	Gbs: (A/B-C) (E)	Máxima Teórica (D)	% Vacíos: $100*(D-E/D)$
1	1181,8	1183,2	683,0	500,2	0,28	2,363	2,452	3,64
2	1180,4	1181,9	681,6	500,3	0,30	2,359	2,452	3,77
3	1182,0	1183,7	682,5	501,2	0,34	2,358	2,452	3,81
4	1181,6	1183,1	683,1	500,0	0,30	2,363	2,452	3,62
Promedio						2,361		3,71

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-11 se obtiene un GBS promedio de 2.361 y un porcentaje de vacíos de 3.71%.

4.1.6.3 Estabilidad y flujo plástico

Tabla 54: Estabilidad y Flujo Plástico, muestra #3570-11

Estabilidad y Flujo plástico			
# Pastilla	Altura (cm)	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100cm)
1	6,34	1871	36,4
2	6,33	1656	38,2
3	6,36	1689	42,6
4	3,31	1688	34,1
Promedio:		1726	37,8

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-11 la estabilidad promedio es de 1726 kg y el flujo plástico promedio es de 37.8 (1/100cm).

Con el fin de bajar el coeficiente de variación de los datos se procede a eliminar la muestra que se encuentra más dispersa mediante límites máximos y mínimos.

4.1.6.4 Análisis de estabilidad

Tabla 55: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-11

# Pastilla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
1	1871	1726	1811	1641	85	4,91
2	1656	1726	1811	1641		
3	1689	1726	1811	1641		
4	1688	1726	1811	1641		

Fuente: Propia

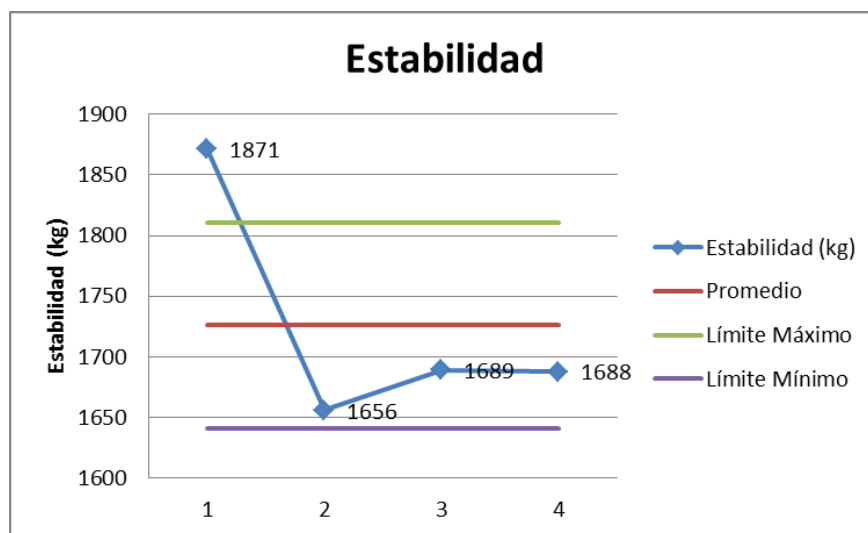


Ilustración 21: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-11

Para la muestra #3570-11 se obtuvo una estabilidad promedio de 1726 kg y con un coeficiente de variación de 4.91. Mediante la gráfica se observa que el dato más disperso es de la pastilla #1 de 1871 kg, por lo que se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 56: Análisis de estabilidad, muestra #3570-11

# Pasti lla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
2	1656	1678	1693	1662	15	0,91
3	1689	1678	1693	1662		
4	1688	1678	1693	1662		

Fuente: Propia

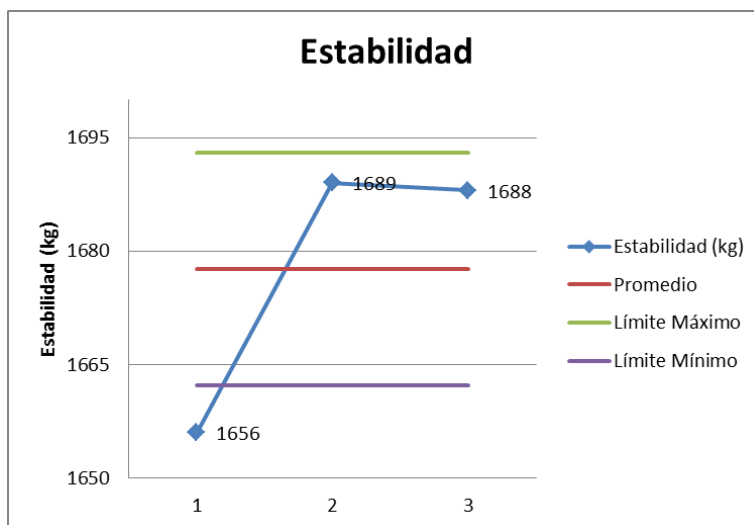


Ilustración 22: Grafica de estabilidad, muestra #3570-11

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 4.91 a 0.91, disminuyendo el coeficiente de variación en un 81.5%. La estabilidad promedio final de la muestra #3570-11 es de 1678 kg.

4.1.6.5 Análisis del flujo plástico

Tabla 57: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-11

# Pasti lla	Flujo (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
1	36,4	37,8	40,9	34,7	3,12	8,24
2	38,2	37,8	40,9	34,7		
3	42,6	37,8	40,9	34,7		
4	34,1	37,8	40,9	34,7		

Fuente: Propia

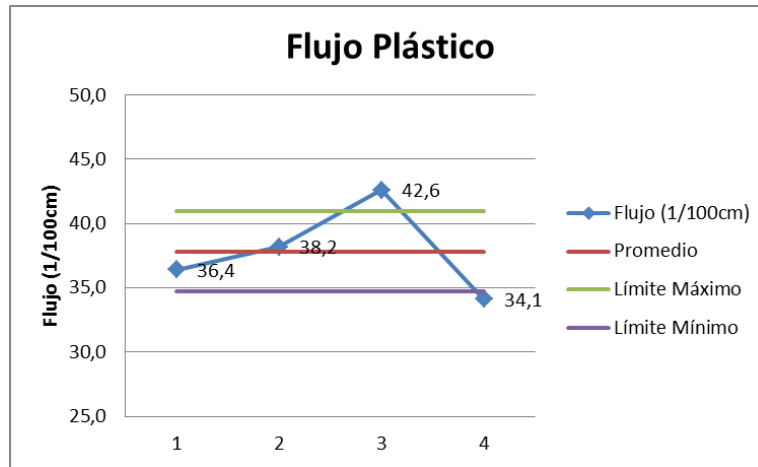


Ilustración 23: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-11

De la muestra #3570-11 se obtuvo un flujo plástico promedio de 37.8 (1/100cm) y un coeficiente de variación de 8.24. En la gráfica se observa que el dato más disperso es de la pastilla #3 el cual se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 58: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-11

# Pastilla	Flujo (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
1	36,4	36,2	37,91	34,56	1,68	4,63
2	38,2	36,2	37,91	34,56		
4	34,1	36,2	37,91	34,56		

Fuente: Propia

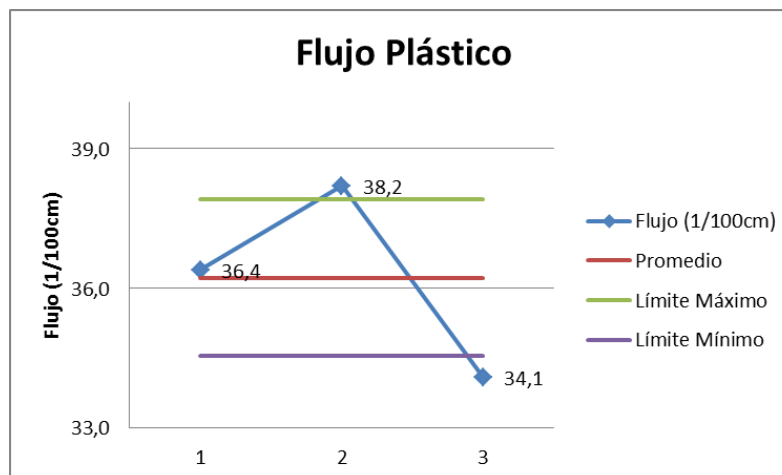


Ilustración 24: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-11

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 8.24 a 4.63, disminuyendo el coeficiente de variación en un 43.8%. El flujo plástico promedio final de la muestra #3570-11 es de 36.2 (1/100cm).

4.1.6.6 Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado

Tabla 59: Porcentaje de Asfalto, muestra #3570-11

N° de muestra: <u>3570-11</u>		Fecha: 10/07/2017	
EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS			
CENIZA		Código Balanza: <u>BA-012</u>	
Masa del crisol (g):	<u>136,015</u>	Masa del crisol + ceniza (g):	<u>136,681</u>
G) Masa de ceniza (g):	<u>0,666</u>	V2) Volumen de la alícuota (ml):	<u>100</u>
V1) Volumen total del líquido (ml):	<u>900</u>	% Ceniza (100*(W4/W5))	<u>0,34</u>
W4) Masa del material mineral G*(V1/V2) (g):	<u>5,994</u>		
REFLUX		Código Balanza: <u>BA-020</u>	
C) Humedad de la mezcla (%):	<u>0,02</u>		
W1) Masa del espécimen de ensayo (g):	<u>1866,2</u>	Masa mezcla cono 1 (g):	<u>1043,1</u>
W2) Masa de Agua (C*W1/100) (g):	<u>0,4</u>	Masa mezcla cono 2 (g):	<u>823,1</u>
Masa de filtros (g):	<u>19,4</u>		
Masa agregado + filtros (g):	<u>1782,2</u>		
W3) Masa del agregado (g):	<u>1762,8</u>		
W5) Masa del agregado + Ceniza (W3+W4)	<u>1768,8</u>		
% de Asfalto sobre la mezcla $100*((w1-w2)-(w3+w4))/(w1-w2)$		<u>5,20</u>	%
% de Asfalto sobre el agregado $100*((w1-w2)-(w3+w4))/(w3+w4)$		<u>5,48</u>	%

Fuente: Propia

De la muestra #3570-11 se obtiene un porcentaje de asfalto sobre la mezcla de 5.20% y un porcentaje de asfalto sobre el agregado de 5.48%.

4.1.6.7 Graduación de los agregados

Tabla 60: Graduación de los Agregados, muestra #3570-11

Graduación de Agregado Extraído					
Código de la Balanza:		<u>BA-020</u>	N° muestra: <u>3570-11</u>		
W5) Masa seca inicial (W3+W4):		<u>1768,8</u>			
W6) Masa lavada seca:		<u>1671,9</u>			
# Malla	Malla (mm)	W7) Masa (g)	W8) % retenido $100*(w7/w5)$	W9) % retenido acumulado	% Pasando $100-W9$
					100
1/2"	12,7	107	6,0	6	94
3/8"	9,5	319,5	18,1	24	76
N° 4	4,75	506,2	28,6	53	47
N° 8	2	274,5	15,5	68	32
N° 16	1,18	172,7	9,8	78	22
N° 30	0,6	107,7	6,1	84	16
N° 50	0,3	80,1	4,5	89	11
N° 200	0,075	101,4	5,7	94	5,64
Charola		2,6	0,1	95	
W10) Suma total masa:		<u>1671,7</u>			
% de variación de masa $100*((w6-w10)/w5)$			<u>0,01</u>	(no debe ser mayor al 0,03%)	

Fuente: Propia

Se obtiene un porcentaje de variación de masa de 0.01% menor al permitido de 0.03%.

4.1.7 Muestra #3570-13

4.1.7.1 Gravedad específica máxima teórica

Tabla 61: Máxima Teórica, muestra #3570-13

PARAMETROS MARSHALL (Máxima Teórica, GBS, Estabilidad y flujo plástico y calculo de vacíos)					
		N° Muestra 3570-13		Contenido Agua Mezcla	
GAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA TEÓRICA		Determinación N° 1	Determinación N° 2	Peso inicial (A)	1554,1
	Masa del recipiente (g)	1039,2	1267,8	Peso final (B)	1553,2
	Masa del recipiente + Muestra (g)	2666	2888,5	Contenido de agua ((A-B)/B)*100	0,06
(A)	Masa de la muestra (g)	1626,8	1620,7		
	Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1625,9	1619,8		
(D)	Masa del recipiente + agua (g)	3340,2	3479,5		
(E)	Masa recipiente + agua + muestra (después de aplicar el vacío) (g)	4308,3	4443,4		
(A')	Masa de la muestra SSS	1628,7	1622,6		
	Gravedad Especifica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción: $A/(A+D-E)$	2,472	2,470		
	Gravedad Especifica Máxima Teórica (Gmt) con absorción: $A/(A'+D-E)$	2,461	2,459		
	Promedio	2,460			
	Temperatura del agua en el contenedor °C	24,5	Fecha de realización	10/07/2017	
	Código Balanza:	BA-020			

Fuente: Propia

La gravedad específica máxima teórica promedio de la muestra #3570-13 es de 2.460.

4.1.7.2 Gbs y porcentaje de vacíos

Tabla 62: Gbs y porcentaje de Vacíos, muestra #3570-13

PARAMETROS MARSHALL (Máxima Teórica, GBS, Estabilidad y flujo plástico y calculo de vacíos)								
N° Muestra: 3570-13				Fecha Realización		12/07/2017		
Gravedad Especifica Bruta de Mezcla Asfáltica y Calculo de Vacíos								
Temp. Ambiente °C:		24		Temp. Agua °C:		24,4		
# Pasti lla	Masa seca(g) (A)	Masa SSS(g) (B)	Masa sumergía(g) (C)	B-C	% Agua Absorción: $100*(B-A/B-C)$	Gbs: (A/B-C) (E)	Máxima Teórica (D)	% Vacíos: $100*(D-E/D)$
1	1181,4	1183,2	681,5	501,7	0,36	2,355	2,460	4,28
2	1179,5	1181,0	678,2	502,8	0,30	2,346	2,460	4,64
3	1181,0	1182,2	680,8	501,4	0,24	2,355	2,460	4,26
4	1181,0	1182,9	680,5	502,4	0,38	2,351	2,460	4,45
Promedio						2,352		4,41

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-13 se obtiene un GBS promedio de 2.352 y un porcentaje de vacíos de 4.41%.

4.1.7.3 Estabilidad y flujo plástico

Tabla 63: Estabilidad y Flujo Plástico, muestra #3570-13

Estabilidad y Flujo plástico			
# Pasti lla	Altura (cm)	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100cm)
1	6,38	1552	45,3
2	6,37	1679	37,2
3	6,36	1484	42,0
4	6,37	1587	36,4
Promedio:		1576	40,2

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-13 la estabilidad promedio es de 1576 kg y el flujo plástico promedio es de 40.2 (1/100cm).

Con el fin de bajar el coeficiente de variación de los datos se procede a eliminar la muestra que se encuentra más dispersa mediante límites máximos y mínimos.

4.1.7.4 Análisis de estabilidad

Tabla 64: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-13

# Pastilla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
1	1552	1576	1646	1505	70	4,46
2	1679	1576	1646	1505		
3	1484	1576	1646	1505		
4	1587	1576	1646	1505		

Fuente: Propia

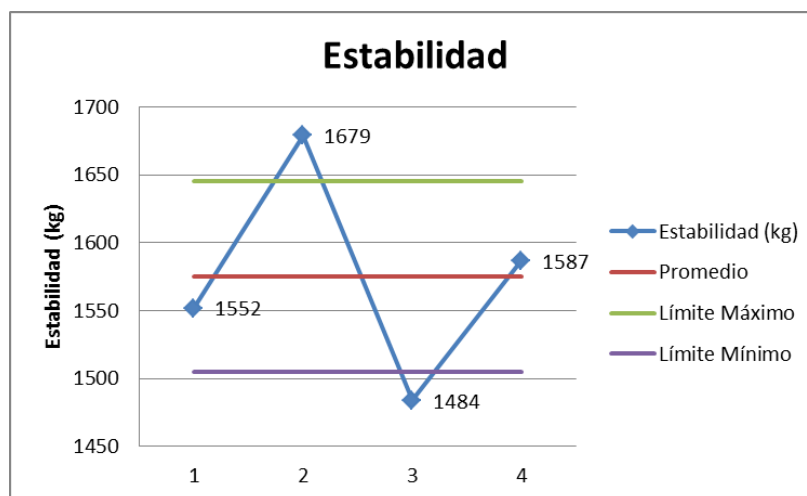


Ilustración 25: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-13

Para la muestra #3570-13 se obtuvo una estabilidad promedio de 1576 kg y con un coeficiente de variación de 4.46. Mediante la gráfica se observa que el dato más disperso es de la pastilla #3 de 1484 kg, por lo que se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 65: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-13

# Pasti lla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
1	1552	1606	1660	1552	54	3,33
2	1679	1606	1660	1552		
4	1587	1606	1660	1552		

Fuente: Propia

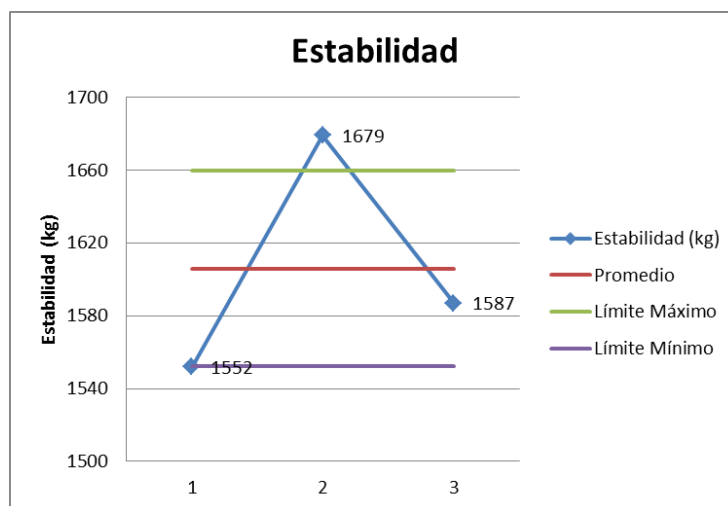


Ilustración 26: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-13

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 4.46 a 3.33, disminuyendo el coeficiente de variación en un 25.3%. La estabilidad promedio final de la muestra #3570-13 es de 1606 kg.

4.1.7.5 Análisis del flujo plástico

Tabla 66: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-13

# Pasti lla	Flujo (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
1	45,3	40,2	43,9	36,6	3,63	9,02
2	37,2	40,2	43,9	36,6		
3	42,0	40,2	43,9	36,6		
4	36,4	40,2	43,9	36,6		

Fuente. Propia

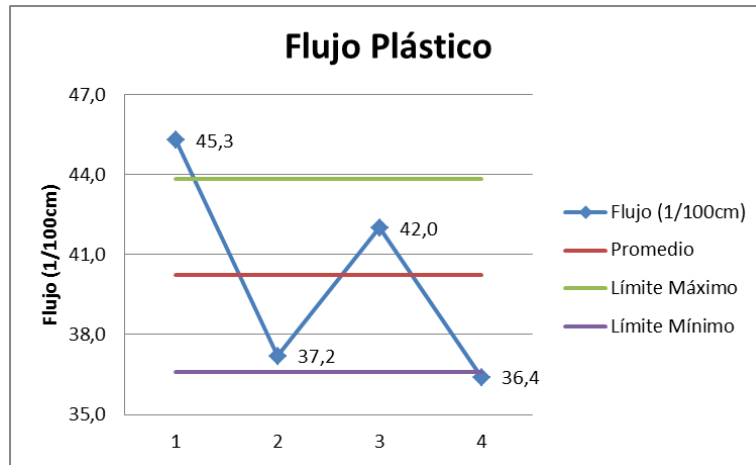


Ilustración 27: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-13

De la muestra #3570-13 se obtuvo un flujo plástico promedio de 40.2 (1/100cm) y un coeficiente de variación de 9.02. En la gráfica se observa que el dato más disperso es de la pastilla #1 el cual se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 67: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-13

# Pastilla	Flujo (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
2	37,2	38,5	41,01	36,06	2,47	6,42
3	42,0	38,5	41,01	36,06		
4	36,4	38,5	41,01	36,06		

Fuente: Propia

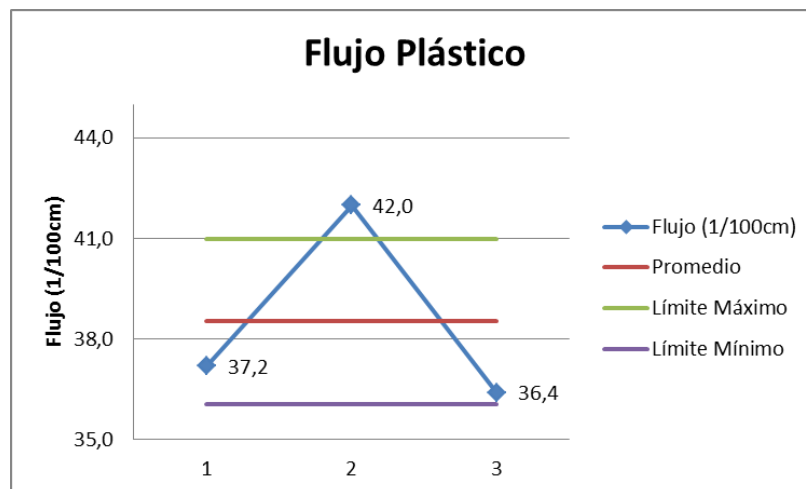


Ilustración 28: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-13

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 9.02 a 6.42, disminuyendo el coeficiente de variación en un 28.8%. El flujo plástico promedio final de la muestra #3570-13 es de 38.5 (1/100cm).

4.1.7.6 Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado

Tabla 68: Porcentaje de Asfalto, muestra #3570-13

N° de muestra: <u>3570-13</u>		Fecha: <u>13/07/2017</u>	
EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS			
CENIZA		Código Balanza: <u>BA-012</u>	
Masa del crisol (g):	<u>136,015</u>	Masa del crisol + ceniza (g):	<u>136,649</u>
G) Masa de ceniza (g):	<u>0,634</u>	V2) Volumen de la alícuota (ml):	<u>100</u>
V1) Volumen total del líquido (ml):	<u>880</u>	% Ceniza (100*(W4/W5))	<u>0,33</u>
W4) Masa del material mineral G*(V1/V2) (g):	<u>5,579</u>		
REFLUX		Código Balanza: <u>BA-020</u>	
C) Humedad de la mezcla (%):	<u>0,06</u>		
W1) Masa del espécimen de ensayo (g):	<u>1795,1</u>	Masa mezcla cono 1 (g):	<u>955,5</u>
W2) Masa de Agua (C*W1/100) (g):	<u>1,0</u>	Masa mezcla cono 2 (g):	<u>839,6</u>
Masa de filtros (g):	<u>19,2</u>		
Masa agregado + filtros (g):	<u>1709,9</u>		
W3) Masa del agregado (g):	<u>1690,7</u>		
W5) Masa del agregado + Ceniza (W3+W4)	<u>1696,3</u>		
% de Asfalto sobre la mezcla $100*((w1-w2)-(w3+w4))/(w1-w2)$		<u>5,45</u>	%
% de Asfalto sobre el agregado $100*((w1-w2)-(w3+w4))/(w3+w4)$		<u>5,76</u>	%

Fuente: Propia

De la muestra #3570-13 se obtiene un porcentaje de asfalto sobre la mezcla de 5.45% y un porcentaje de asfalto sobre el agregado de 5.76%.

4.1.7.7 Graduación del agregado

Tabla 69: Graduación del Agregado, #3570-13

Graduación de Agregado Extraído					
Código de la Balanza:		<u>BA-020</u>	N° muestra: <u>3570-13</u>		
W5) Masa seca inicial (W3+W4):		<u>1696,3</u>			
W6) Masa lavada seca:		<u>1607,7</u>			
# Malla	Malla (mm)	W7) Masa (g)	W8) % retenido $100*(w7/w5)$	W9) % retenido acumulado	% Pasando $100-W9$
					100
1/2"	12,7	123,6	7,3	7	93
3/8"	9,5	275,5	16,2	24	76
N° 4	4,75	518,8	30,6	54	46
N° 8	2	264,6	15,6	70	30
N° 16	1,18	167,1	9,9	80	20
N° 30	0,6	94,5	5,6	85	15
N° 50	0,3	72,3	4,3	89	11
N° 200	0,075	89,4	5,3	95	5,33
Charola		1,6	0,1	95	
W10) Suma total masa:		<u>1607,4</u>			
% de variación de masa $100*((w6-w10)/w5)$			<u>0,02</u>	(no debe ser mayor al 0,03%)	

Fuente: Propia

Se obtiene un porcentaje de variación de masa de 0.02% menor al permitido de 0.03%.

4.1.8 Análisis de las muestras sin recalentar en forma conjunta

La siguiente tabla contiene los resultados de los ensayos de cada muestra sin recalentar respectivamente.

Tabla 70: Promedios de los respectivos ensayos de las muestras sin recalentar

# Muestra	Mx. Teórica	Gbs	% de Vacíos	Estabilidad (kg)	Flujo Plástico (1/100)	% Asfalto sobre la mezcla	% Asfalto sobre el agregado
3570-1	2,468	2,364	4,10	2001	38,7	5,45	5,75
3570-3	2,461	2,359	4,20	1840	33,7	5,00	5,20
3570-5	2,457	2,365	3,70	1905	46,9	5,55	5,88
3570-7	2,465	2,349	4,60	1961	43,8	4,91	5,15
3570-9	2,466	2,350	4,70	1833	54,2	5,09	5,36
3570-11	2,452	2,361	3,71	1678	36,2	5,20	5,49
3570-13	2,460	2,352	4,41	1606	38,5	5,45	5,76

Fuente: Propia

4.1.8.1 Gravedad específica máxima teórica de las muestras sin recalentar

Tabla 71: Máxima Teórica de las Muestras sin recalentar

# Muestra	Mx. Teórica	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
3570-1	2,468	2,461	2,466	2,456	0,005	0,210
3570-3	2,461	2,461	2,466	2,456		
3570-5	2,457	2,461	2,466	2,456		
3570-7	2,465	2,461	2,466	2,456		
3570-9	2,466	2,461	2,466	2,456		
3570-11	2,452	2,461	2,466	2,456		
3570-13	2,460	2,461	2,466	2,456		

Fuente: Propia

De las muestras sin recalentar se obtiene una gravedad específica máxima teórica promedio de 2.641 con un coeficiente de variación de 0.210.

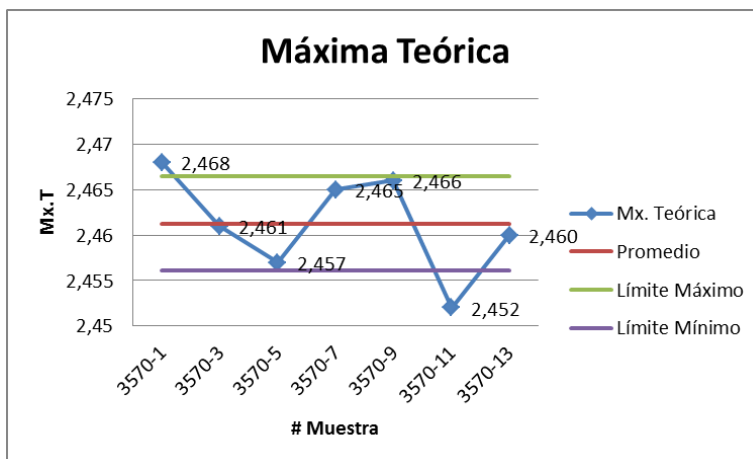


Ilustración 29: Gráfica de la Máxima Teórica de las Muestras sin recalentar

En la gráfica se puede ver una buena agrupación de los datos, donde solo las muestras #3570-1 y #3570-11 se salen de los límites máximos y mínimos.

4.1.8.2 Gravedad específica bruta de las muestras sin recalentar

Tabla 72: Gravedad específica bruta de las muestras sin recalentar

# Muestra	Gbs	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
3570-1	2,364	2,357	2,363	2,351	0,006	0,264
3570-3	2,359	2,357	2,363	2,351		
3570-5	2,365	2,357	2,363	2,351		
3570-7	2,349	2,357	2,363	2,351		
3570-9	2,350	2,357	2,363	2,351		
3570-11	2,361	2,357	2,363	2,351		
3570-13	2,352	2,357	2,363	2,351		

Fuente: Propia

De las muestras sin recalentar se obtiene una gravedad específica bruta (Gbs) promedio de 2.357 con un coeficiente de variación de 0.264.

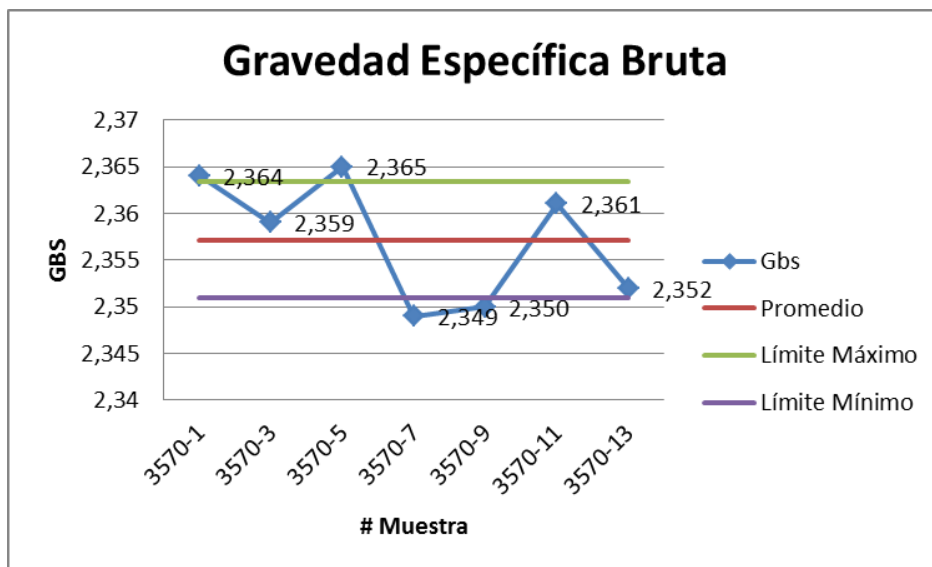


Ilustración 30: Grafica de la Gravedad Especifica Bruta de las muestras sin recalentar

En la gráfica se puede ver que los datos tienden agruparse en los límites.

4.1.8.3 Porcentaje de vacíos de las muestras sin recalentar

Tabla 73: Porcentaje de Vacíos de las Muestras sin recalentar

# Muestra	% de Vacíos	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
3570-1	4,10	4,20	4,572	3,834	0,369	8,784
3570-3	4,20	4,20	4,572	3,834		
3570-5	3,70	4,20	4,572	3,834		
3570-7	4,60	4,20	4,572	3,834		
3570-9	4,70	4,20	4,572	3,834		
3570-11	3,71	4,20	4,572	3,834		
3570-13	4,41	4,20	4,572	3,834		

Fuente: Propia

De las muestras sin recalentar se obtiene un porcentaje de vacíos de 4.20% con un coeficiente de variación de 8.784.

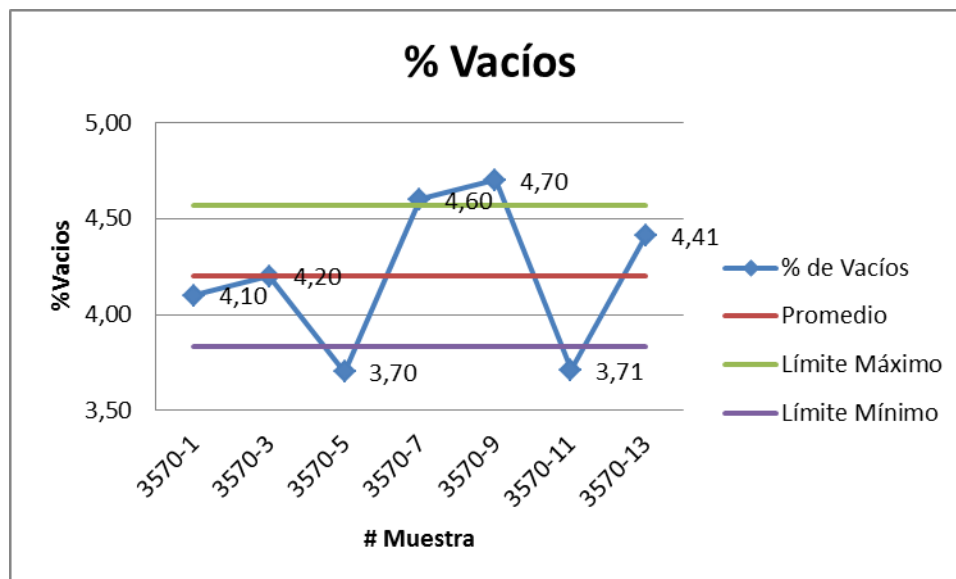


Ilustración 31: Gráfica del % de Vacíos de las muestras sin recalentar

En el gráfico se puede ver que los datos están entre el rango permitido para un diseño de 3% a 5% de vacíos, eso asegura que la mezcla va a presentar una buena resistencia a las cargas y no presentará problemas de exudación ni disminución de la durabilidad.

4.1.8.4 Estabilidad de las muestras sin recalentar

Tabla 74: Estabilidad de las muestras sin recalentar

# Muestra	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
3570-1	2001	1832	1966	1698	134	7,31
3570-3	1840	1832	1966	1698		
3570-5	1905	1832	1966	1698		
3570-7	1961	1832	1966	1698		
3570-9	1833	1832	1966	1698		
3570-11	1678	1832	1966	1698		
3570-13	1606	1832	1966	1698		

Fuente: Propia

La estabilidad promedio de las muestras sin recalentar es de 1832 kg, la cual sería la máxima resistencia de la pastilla para soportar cargas en el momento de falla.

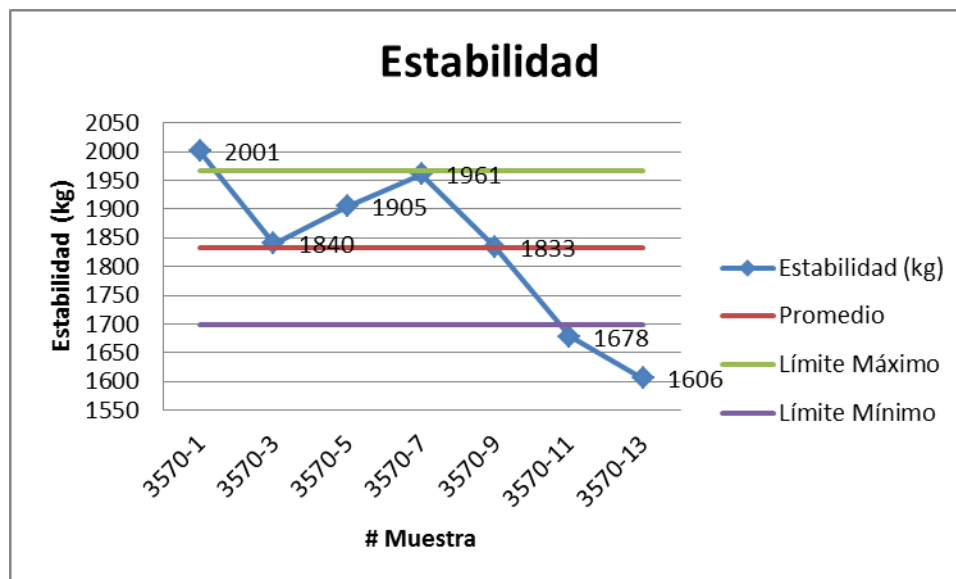


Ilustración 32: Gráfica de la Estabilidad de las muestras sin recalentar

En la gráfica se puede ver una gran variación de la estabilidad que presentan las respectivas muestras, eso genera un coeficiente de variación alto de 7.31 que evidencia una segregación de datos, la cual se puede disminuir con la eliminación de los datos más alejados de los límites máximos y mínimos.

Si se descartan 2 muestras, las que se encuentren más alejadas de los límites con el fin de mejorar el coeficiente de variación, las muestras 11 y 13 se salen del límite mínimo; si se descartan mejoraría la homogeneidad de la muestras.

Tabla 75: Corrección de estabilidad de las muestras sin recalentar

# Muestra	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coeficiente de variación
3570-1	2001	1908	1974	1842	66	3,45
3570-3	1840	1908	1974	1842		
3570-5	1905	1908	1974	1842		
3570-7	1961	1908	1974	1842		
3570-9	1833	1908	1974	1842		

Fuente: Propia

Con la eliminación de la muestra 11 y 13, el coeficiente de variación es de 3.45 baja en un 52.8% y el promedio de 1908 aumentado.

4.1.8.5 Flujo plástico de las muestras sin recalentar

Tabla 76: Flujo Plástico de las muestras sin recalentar

# Muestra	Flujo Plástico (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
3570-1	38,7	41,7	48,3	35,2	6,559	15,725
3570-3	33,7	41,7	48,3	35,2		
3570-5	46,9	41,7	48,3	35,2		
3570-7	43,8	41,7	48,3	35,2		
3570-9	54,2	41,7	48,3	35,2		
3570-11	36,2	41,7	48,3	35,2		
3570-13	38,5	41,7	48,3	35,2		

Fuente: Propia

El flujo plástico promedio de las muestras sin recalentar es de 41.7 centésimas de centímetro, lo cual se sale del rango idóneo en Costa Rica que va de 20 a 40 centésimas de centímetro.

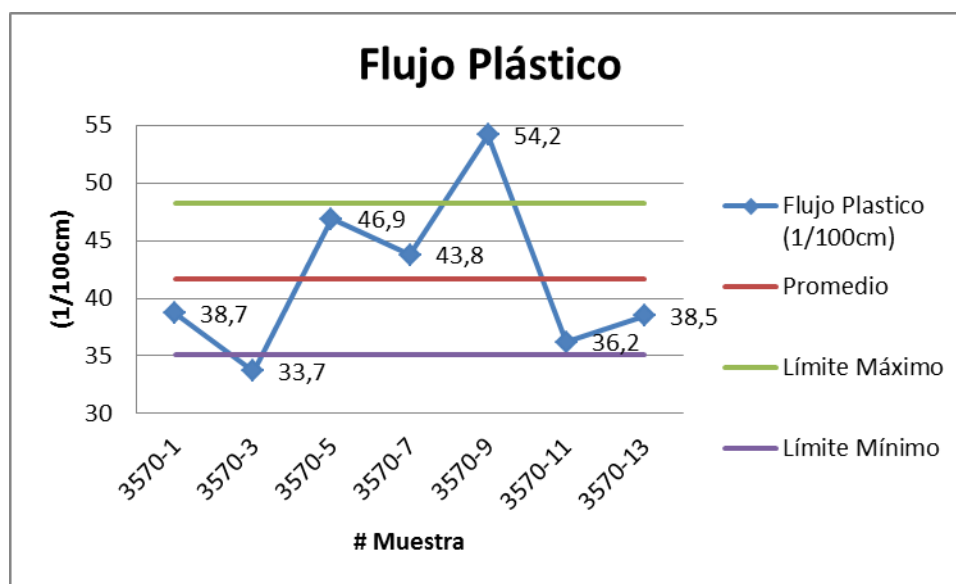


Ilustración 33: Gráfica del Flujo Plástico de las muestras sin recalentar

En la gráfica se puede apreciar que las muestras #3570-5 y #3570-9 se salen bastante del rango idóneo para el flujo plástico, las cuales se podrían sacar para tener una mejor agrupación de los datos y así bajar el coeficiente de variación.

¿Qué pasa si se descartan 2 muestras, las que se alejan más del rango establecido por CR-2010 de 20 a 40 (1/100cm) con el fin de mejorar el coeficiente de variación? Las muestras 5 y 9 se salen del rango, si se descartan mejoraría la homogeneidad de la muestras.

Tabla 77: Corrección del flujo plástico de las muestras sin recalentar

# Muestra	Flujo Plástico (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
3570-1	38,7	38,2	41,5	34,8	3,345	8,761
3570-3	33,7	38,2	41,5	34,8		
3570-7	43,8	38,2	41,5	34,8		
3570-11	36,2	38,2	41,5	34,8		
3570-13	38,5	38,2	41,5	34,8		

Fuente: Propia

Con la eliminación de las muestras 5 y 9 el coeficiente de variación de 8.761 disminuye un 44% y el promedio de 38.2; queda dentro del rango permitido por el CR-2010 para los diseños de mezclas asfálticas en nuestro país.

4.1.8.6 Porcentaje de asfalto sobre la mezcla de las muestras sin recalentar

Tabla 78: % de Asfalto sobre la Mezcla de las muestras sin recalentar

# Muestra	% Asfalto sobre la mezcla	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
3570-1	5,45	5,24	5,47	5,00	0,231	4,419
3570-3	5,00	5,24	5,47	5,00		
3570-5	5,55	5,24	5,47	5,00		
3570-7	4,91	5,24	5,47	5,00		
3570-9	5,09	5,24	5,47	5,00		
3570-11	5,20	5,24	5,47	5,00		
3570-13	5,45	5,24	5,47	5,00		

Fuente: Propia

El porcentaje promedio de asfalto sobre la mezcla de las muestras sin recalentar es de 5.24%, con un coeficiente de variación de 4, 419.

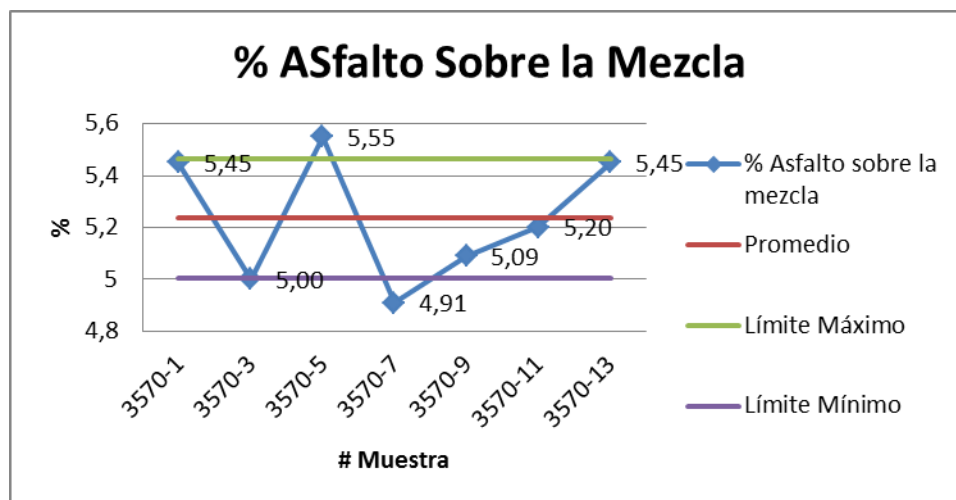


Ilustración 34: Gráfica del % Asfalto sobre la mezcla de las muestras sin recalentar

¿Que pasara si se descartan 2 muestras las que se encuentren más alejadas de los límites con el fin de mejor el coeficiente de variación? Las muestras 5 y 7 se salen del límite máximo, si se descartan mejoraría la homogeneidad de la muestras.

Tabla 79: Corrección del % de asfalto sobre la mezcla de las muestras sin recalentar

# Muestra	% Asfalto sobre la mezcla	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coeficiente de variación
3570-1	5,45	5,24	5,42	5,05	0,184	3,519
3570-3	5,00	5,24	5,42	5,05		
3570-9	5,09	5,24	5,42	5,05		
3570-11	5,20	5,24	5,42	5,05		
3570-13	5,45	5,24	5,42	5,05		

Fuente: Propia

Con la eliminación de las muestras 5 y 7 el coeficiente de variación es de 3.519 disminuye un 20.4% y el promedio de 5.24% de contenido de asfalto sobre la mezcla.

4.1.8.7 Porcentaje de asfalto sobre el agregado de las muestras sin recalentar

Tabla 80: % Asfalto sobre el Agregado de las muestras sin recalentar

# Muestra	% Asfalto sobre el agregado	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
3570-1	5,75	5,51	5,78	5,24	0,269	4,875
3570-3	5,20	5,51	5,78	5,24		
3570-5	5,88	5,51	5,78	5,24		
3570-7	5,15	5,51	5,78	5,24		
3570-9	5,36	5,51	5,78	5,24		
3570-11	5,49	5,51	5,78	5,24		
3570-13	5,76	5,51	5,78	5,24		

Fuente: Propia

El porcentaje promedio de asfalto sobre el agregado de las muestras sin recalentar es de 5.51%, con un coeficiente de variación de 4.875.

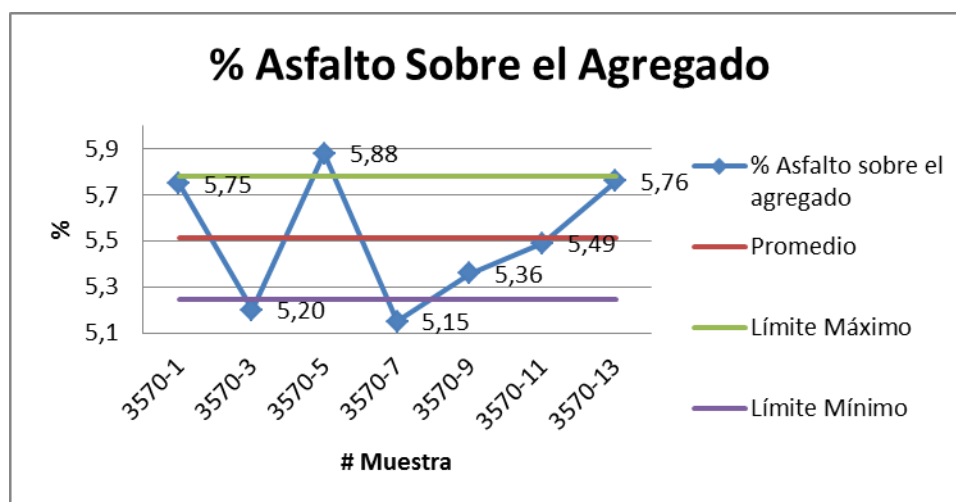


Ilustración 35: Gráfica del % Asfalto sobre el Agregado de las muestras sin recalentar

¿Qué pasa si se descartan 2 muestras, las que se encuentren más alejadas de los límites con el fin de mejorar el coeficiente de variación? Las muestras 5 y 7 se salen de los límites, si se descartan mejoraría la homogeneidad de la muestras.

Tabla 81: Corrección del % asfalto sobre el agregado

# Muestra	% Asfalto sobre el agregado	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
3570-1	5,75	5,51	5,73	5,29	0,219	3,967
3570-3	5,20	5,51	5,73	5,29		
3570-9	5,36	5,51	5,73	5,29		
3570-11	5,49	5,51	5,73	5,29		
3570-13	5,76	5,51	5,73	5,29		

Fuente: Propia

Con la eliminación de las muestras 5 y 7 el coeficiente de variación es de 3.967, disminuye un 18.6% y el promedio de 5.51% de contenido de asfalto sobre la mezcla.

4.1.8.8 Graduación de los agregados de las muestras sin recalentar

Para efectos de esta investigación se utilizó el tamaño de partícula máximo de 12.5 milímetros, estipulado por CR-2010; para capas de ruedo deberán ser menores o iguales un tamaño máximo nominal de 19 mm, de lo contrario, se utilizarán para bases o sub-bases.

Tabla 82: Rangos y tolerancia para los agregados para mezclas con un tamaño máximo nominal de 12.5mm

12,5mm		
Mallas	Rango Especificado	Tolerancia
3/4"(19mm)	100	±5
1/2"(12,7mm)	90 a 100	±5
3/8"(9,5mm)	70 a 90	±4
N° 4(4,75mm)	45 a 65	±4
N° 8(2mm)	28 a 39	±4
N° 16(1,18mm)	16 a 26	±4
N° 30(0,6mm)	9 a 16	±4
N° 50(0,3mm)	5 a 16	±4
N° 200(0,075)	2 a 8	±2

Fuente: (Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR-2010), 2010)

Tabla 83: % Pasando de la graduación de los agregados de las muestras sin recalentar

% Pasando								Promedio	Rango Especificado	Tolerancia
# Muestra	3570-1	3570-3	3570-5	3570-7	3570-9	3570-11	3570-13			
# Malla										
3/4"(19mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	±5
1/2"(12,7mm)	95	91	93	92	94	94	93	93	90 a 100	±5
3/8"(9,5mm)	84	76	77	79	80	76	76	78	70 a 90	±4
N° 4(4,75mm)	50	46	43	47	50	47	46	47	45 a 65	±4
N° 8(2mm)	33	30	29	31	33	32	30	31	28 a 39	±4
N° 16(1,18mm)	22	21	20	21	22	22	20	21	16 a 26	±4
N° 30(0,6mm)	16	15	14	16	17	16	15	16	9 a 16	±4
N° 50(0,3mm)	12	11	10	12	12	11	11	11	5 a 16	±4
N° 200(0,075mm)	5,72	5,37	4,85	6,48	6,12	5,64	5,33	5,64	2 a 8	±2

Fuente: Propia

El porcentaje pasando de los agregados de cada malla cumplen tanto con los rangos y tolerancias especificadas por el CR-2010, tanto para cada muestra en individual como para el promedio por malla de las siete muestras sin recalentar.

4.2 Datos de los ensayos Marshall de las muestras recalentadas

4.2.1 Muestra #3570-2

4.2.1.1 Gravedad específica máxima teórica

Tabla 84: Gravedad específica Máxima Teórica, muestra #3570-2

PARAMETROS MARSHALL (Máxima Teórica, GBS, Estabilidad y flujo plástico y cálculo de vacíos)					
		N° Muestra	3570-2	Contenido Agua Mezcla	
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA		Determinación N° 1	Determinación N° 2	Peso inicial (A)	1418,4
(A)	Masa del recipiente (g)	1040,6	1268,6	Peso final (B)	1417,4
	Masa del recipiente + Muestra (g)	2650,2	2826,2	Contenido de agua ((A-B)/B)*100	0,07
(D)	Masa de la muestra (g)	1609,6	1557,6		
(E)	Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1608,5	1556,5		
(A')	Masa del recipiente + agua (g)	3340,2	3479,5		
	Masa recipiente + agua + muestra (después de aplicar el vacío) (g)	4297,9	4406,8		
	Masa de la muestra SSS	1614,6	1562,6		
	Gravedad Especifica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción: A/(A+D-E)	2,472	2,474		
	Gravedad Especifica Máxima Teórica (Gmt) con absorción: A/(A'+D-E)	2,449	2,450		
	Promedio	2,449			
	Temperatura del agua en el contenedor °C	24,3	Fecha de realización	14/06/2017	
	Código Balanza:	BA-025			

Fuente: Propia

La gravedad específica máxima teórica promedio de la muestra #3570-2 es de 2.449.

4.2.1.2 Gravedad específica bruta y porcentaje de vacíos

Tabla 85: Gbs y porcentaje de vacíos, muestra #3570-2

PARAMETROS MARSHALL (Máxima Teórica, GBS, Estabilidad y flujo plástico y calculo de vacíos)								
N° Muestra: 3570-2			Fecha Realización 15/06/2017					
Gravedad Especifica Bruta de Mezcla Asfáltica y Calculo de Vacíos								
Temp. Ambiente °C: 24,8			Temp. Agua °C: 24,5					
# Pastilla	Masa seca(g) (A)	Masa SSS(g) (B)	Masa sumergía(g) (C)	B-C	% Agua Absorción: 100*(B-A/B-C)	Gbs: (A/B-C) (E)	Máxima Teórica (D)	% Vacíos: 100*(D-E/D)
1	1182,2	1183,9	685,3	498,6	0,34	2,371	2,449	3,20
2	1184,9	1186,1	687,6	498,5	0,24	2,377	2,449	2,95
3	1183,1	1184,2	685,5	498,7	0,22	2,372	2,449	3,14
4	1183,3	1184,9	685,4	499,5	0,32	2,369	2,449	3,28
Promedio						2,372		3,14

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-2 se obtiene un GBS promedio de 2.372 y un porcentaje de vacíos de 3.14%.

4.2.1.3 Estabilidad y flujo plástico

Tabla 86: Estabilidad y Flujo Plástico, muestra #3570-2

Estabilidad y Flujo plástico			
# Pastilla	Altura (cm)	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100cm)
1	6,34	1771	33,7
2	6,37	1750	46,6
3	6,32	1779	46,6
4	6,37	1581	39,3
Promedio:		1720	41,6

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-2 la estabilidad promedio es de 1720 kg y el flujo plástico promedio es de 41.6 (1/100cm).

Con el fin de bajar el coeficiente de variación de los datos se procede a eliminar la muestra que se encuentra más dispersa mediante límites máximos y mínimos.

4.2.1.4 Análisis de estabilidad

Tabla 87: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-2

# Pastilla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
1	1771	1720	1801	1639	81	4,71
2	1750	1720	1801	1639		
3	1779	1720	1801	1639		
4	1581	1720	1801	1639		

Fuente: Propia

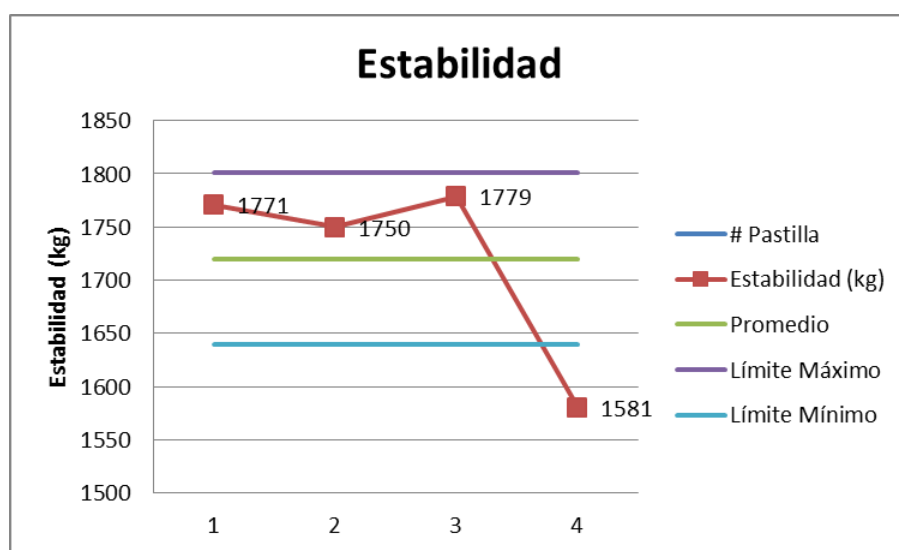


Ilustración 36: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-2

Para la muestra #3570-2 se obtuvo una estabilidad promedio de 1720 kg y con un coeficiente de variación de 4.71. Mediante la gráfica se observa que el dato más disperso es de la pastilla #4 de 1581 kg, por lo que se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 88: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-2

# Pastilla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
1	1771	1767	1779	1754	12	0,69
2	1750	1767	1779	1754		
3	1779	1767	1779	1754		

Fuente: Propia

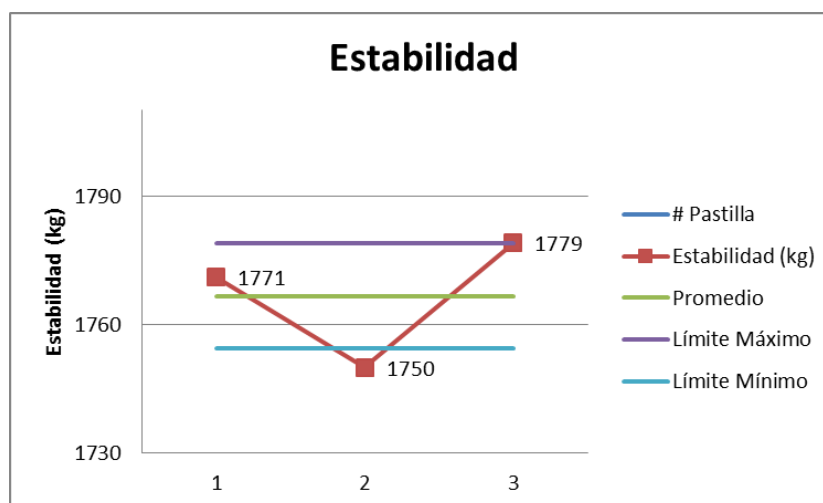


Ilustración 37: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-2

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 4.71 a 0.69, disminuyendo el coeficiente de variación en un 85.4%. La estabilidad promedio final de la muestra #3570-2 es de 1767 kg.

4.2.1.5 Análisis del flujo plástico

Tabla 89: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-2

# Pastilla	Flujo (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
1	33,7	41,6	47,0	36,1	5,42	13,05
2	46,6	41,6	47,0	36,1		
3	46,6	41,6	47,0	36,1		
4	39,3	41,6	47,0	36,1		

Fuente: Propia

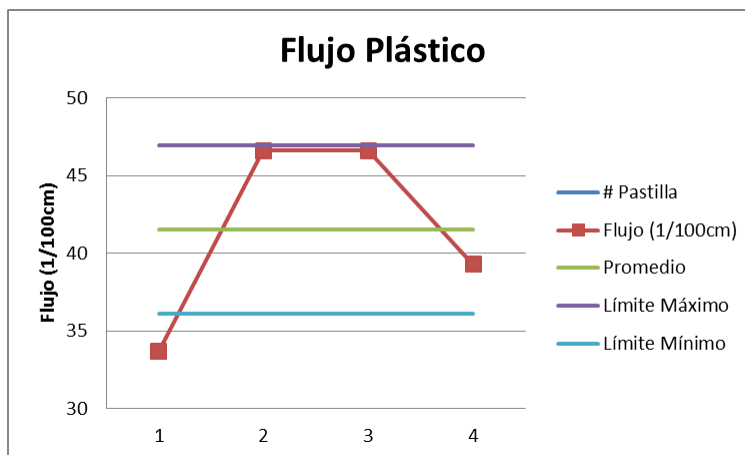


Ilustración 38: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-2

De la muestra #3570-2 se obtuvo un flujo plástico promedio de 41.6 (1/100cm) y un coeficiente de variación de 13.05. En la gráfica se observa que el dato más disperso es de la pastilla #1 el cual se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 90: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-2

# Pastilla	Flujo (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
2	46,6	44,2	47,61	40,73	3,44	7,79
3	46,6	44,2	47,61	40,73		
4	39,3	44,2	47,61	40,73		

Fuente: Propia

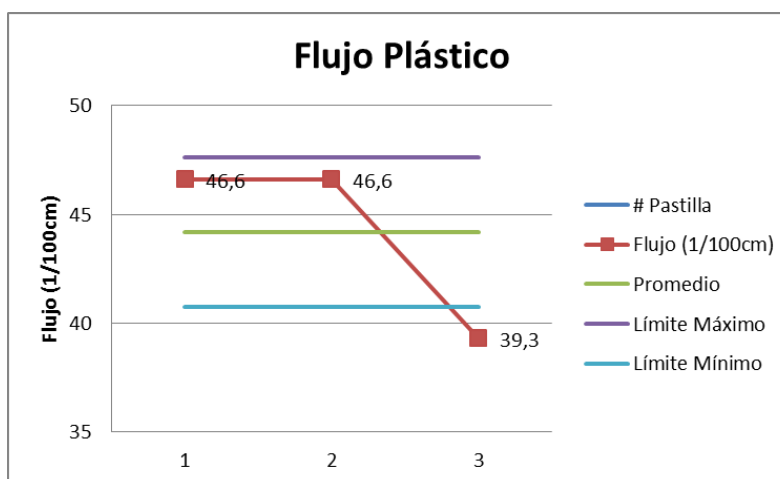


Ilustración 39: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-2

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 13.05 a 7.79, disminuyendo el coeficiente de variación en un 59.7%. El flujo plástico promedio final de la muestra #3570-2 es de 44.2 (1/100cm).

4.2.1.6 Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado

Tabla 91: Porcentaje de Asfalto, muestra #3570-2

N° de muestra: <u>3570-2</u>			
EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS			
CENIZA		Código Balanza: <u>BA-012</u>	
Masa del crisol (g):	<u>136,02</u>	Masa del crisol + ceniza (g):	<u>136,697</u>
G) Masa de ceniza (g):	<u>0,677</u>	V2) Volumen de la alícuota (ml):	<u>100</u>
V1) Volumen total del líquido (ml):	<u>880</u>	% Ceniza (100*(W4/W5))	<u>0,38</u>
W4) Masa del material mineral G*(V1/V2) (g):	<u>5,958</u>		
REFLUX		Código Balanza: <u>BA-025</u>	
C) Humedad de la mezcla (%):	<u>0,07</u>		
W1) Masa del espécimen de ensayo (g):	<u>1665,5</u>	Masa mezcla cono 1 (g):	<u>978,2</u>
W2) Masa de Agua (C*W1/100) (g):	<u>1,166</u>	Masa mezcla cono 2 (g):	<u>687,3</u>
Masa de filtros (g):	<u>19,6</u>		
Masa agregado + filtros (g):	<u>1591,6</u>		
W3) Masa del agregado (g):	<u>1572</u>		
W5) Masa del agregado + Ceniza (W3+W4)	<u>1578,0</u>		
% de Asfalto sobre la mezcla $100*((w1-w2)-(w3+w4))/(w1-w2)$		<u>5,19</u>	%
% de Asfalto sobre el agregado $100*((w1-w2)-(w3+w4))/(w3+w4)$		<u>5,47</u>	%

Fuente: Propia

De la muestra #3570-2 se obtiene un porcentaje de asfalto sobre la mezcla de 5.19% y un porcentaje de asfalto sobre el agregado de 5.47%.

4.2.1.7 Graduación del agregado

Tabla 92: Graduación del Agregado, muestra #3570-2

Graduación de Agregado Extraído					
Código de la Balanza:		<u>BA-020</u>		N° muestra: <u>3570-2</u>	
W5) Masa seca inicial (W3+W4):		<u>1578,0</u>			
W6) Masa lavada seca:		<u>1489</u>			
# Malla	Malla (mm)	W7) Masa (g)	W8) % retenido $100*(w7/w5)$	W9) % retenido acumulado	% Pasando $100-W9$
					100
1/2"	12,7	61,6	3,9	4	96
3/8"	9,5	215,2	13,6	18	82
N° 4	4,75	506,2	32,1	50	50
N° 8	2	274,5	17,4	67	33
N° 16	1,18	165,6	10,5	78	22
N° 30	0,6	93,7	5,9	83	17
N° 50	0,3	71,4	4,5	88	12
N° 200	0,075	94,6	6,0	94	6,03
Charola		5,9	0,4	94	
W10) Suma total masa:		<u>1488,7</u>			
% de variación de masa $100*((w6-w10)/w5)$			<u>0,02</u> (no debe ser mayor al 0,03%)		

Fuente: Propia

Se obtiene un porcentaje de variación de masa de 0.02% menor al permitido de 0.03%.

4.2.2 Muestra #3570-4

4.2.2.1 Gravedad específica máxima teórica

Tabla 93: Máxima Teórica, muestra #3570-4

PARAMETROS MARSHALL (Máxima Teórica, GBS, Estabilidad y flujo plástico y calculo de vacíos)					
		N° Muestra 3570-4		Contenido Agua Mezcla	
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA		Determinación N° 1	Determinación N° 2	Peso inicial (A)	1587,7
	Masa del recipiente (g)	1039,7	1267,9	Peso final (B)	1586,9
	Masa del recipiente + Muestra (g)	2650,7	2878,7	Contenido de agua ((A-B)/B)*100	0,05
(A)	Masa de la muestra (g)	1611	1610,8		
	Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1610,2	1610,0		
(D)	Masa del recipiente + agua (g)	3340,2	3479,5		
(E)	Masa recipiente + agua + muestra (después de aplicar el vacío) (g)	4301,2	4439,4		
(A')	Masa de la muestra SSS	1615,3	1615,1		
	Gravedad Especifica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción: $A/(A+D-E)$	2,480	2,477		
	Gravedad Especifica Máxima Teórica (Gmt) con absorción: $A/(A'+D-E)$	2,461	2,457		
	Promedio	2,459			
	Temperatura del agua en el contenedor °C	24,3	Fecha de realización	21/06/2017	
	Código Balanza:	BA-020			

Fuente: Propia

La gravedad específica máxima teórica promedio de la muestra #3570-4 es de 2.459.

4.2.2.2 Gravedad específica bruta y porcentaje de vacíos

Tabla 94: Gbs y porcentaje de Vacíos, muestra #3570-4

PARAMETROS MARSHALL (Máxima Teórica, GBS, Estabilidad y flujo plástico y calculo de vacíos)								
N° Muestra: 3570-4			Fecha Realización 21/06/2017					
Gravedad Especifica Bruta de Mezcla Asfáltica y Calculo de Vacíos								
Temp. Ambiente °C: 25			Temp. Agua °C: 25					
# Pastilla	Masa seca(g) (A)	Masa SSS(g) (B)	Masa sumergía(g) (C)	B-C	% Agua Absorción: $100*(B-A/B-C)$	Gbs: (A/B-C) (E)	Máxima Teórica (D)	% Vacíos: $100*(D-E/D)$
1	1181,4	1182,7	681,4	501,3	0,26	2,357	2,459	4,2
2	1181,9	1183,2	682,2	501	0,26	2,359	2,459	4,1
3	1179,5	1181,6	678,2	503,4	0,42	2,343	2,459	4,7
4	1180,1	1181,3	679,0	502,3	0,24	2,349	2,459	4,5
Promedio						2,352		4,4

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-4 se obtiene un GBS promedio de 2.352 y un porcentaje de vacíos de 4.4%.

4.2.2.3 Estabilidad y flujo plástico

Tabla 95: Estabilidad y Flujo Plástico, muestra #3570-4

Estabilidad y Flujo plástico			
# Pastilla	Altura (cm)	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100cm)
1	6,35	2086	33,2
2	6,32	1991	45,3
3	6,36	1666	46,8
4	6,33	1837	37,7
Promedio:		1895	40,8

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-4 la estabilidad promedio es de 1895 kg y el flujo plástico promedio es de 40.8 (1/100cm).

Con el fin de bajar el coeficiente de variación de los datos se procede a eliminar la muestra que se encuentra más dispersa mediante límites máximos y mínimos.

4.2.2.4 Análisis de estabilidad

Tabla 96: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-4

# Pastilla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
1	2086	1895	2054	1736	159	8,41
2	1991	1895	2054	1736		
3	1666	1895	2054	1736		
4	1837	1895	2054	1736		

Fuente: Propia

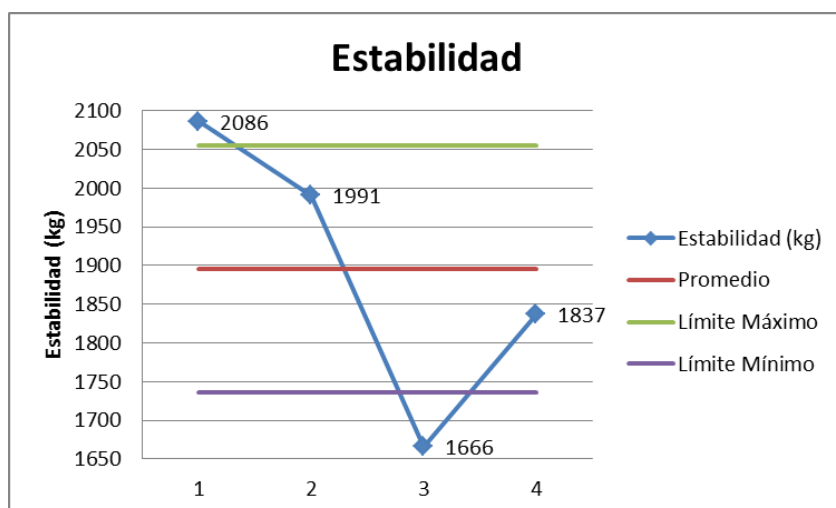


Ilustración 40: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-4

Para la muestra #3570-4 se obtuvo una estabilidad promedio de 1895 kg y con un coeficiente de variación de 8.41. Mediante la gráfica se observa que el dato más disperso es de la pastilla #3 de 1666 kg, por lo que se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 97: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-4

# Pastilla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
1	2086	1971	2074	1869	103	5,20
2	1991	1971	2074	1869		
4	1837	1971	2074	1869		

Fuente: Propia

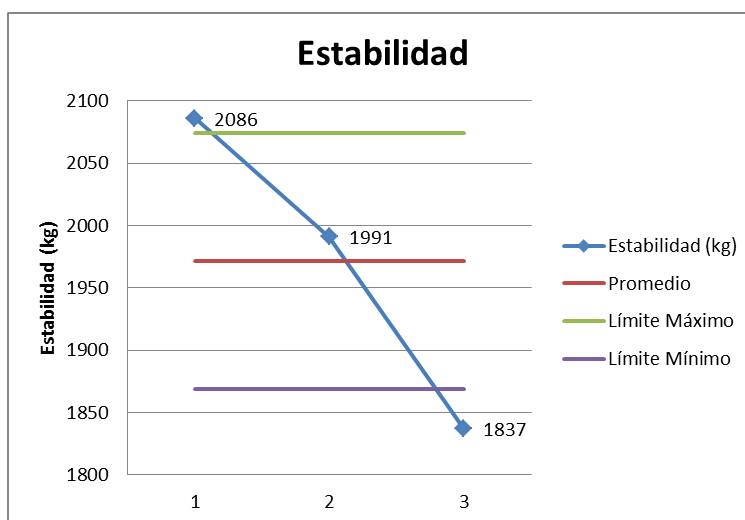


Ilustración 41: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-4

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 8.41 a 5.20, disminuyendo el coeficiente de variación en un 38.2%. La estabilidad promedio final de la muestra #3570-4 es de 1971 kg.

4.2.2.5 Análisis del flujo plástico

Tabla 98: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-4

# Pastilla	Flujo Plástico (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
1	33,2	40,8	46,3	35,2	5,56	13,64
2	45,3	40,8	46,3	35,2		
3	46,8	40,8	46,3	35,2		
4	37,7	40,8	46,3	35,2		

Fuente: Propia

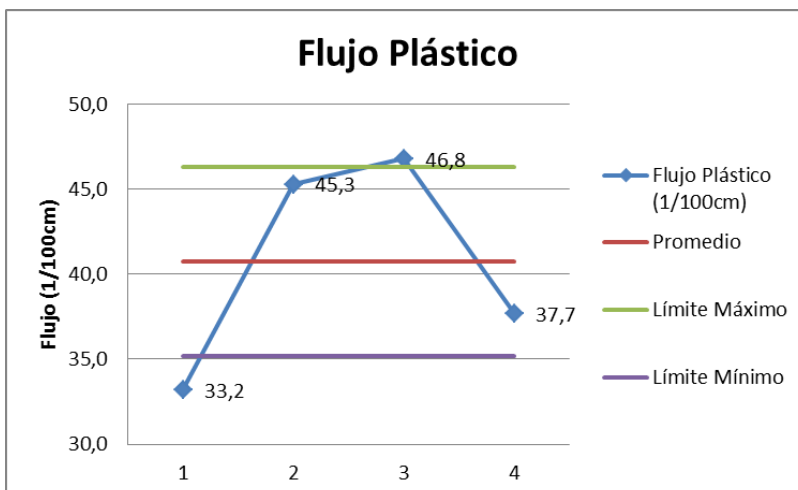


Ilustración 42: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-4

De la muestra #3570-4 se obtuvo un flujo plástico promedio de 40.8 (1/100cm) y un coeficiente de variación de 13.64. En la gráfica se observa que el dato más disperso es de la pastilla #1 el cual se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 99: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-4

# Pastilla	Flujo Plástico (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
2	45,3	43,3	47,25	39,28	3,98	9,21
3	46,8	43,3	47,25	39,28		
4	37,7	43,3	47,25	39,28		

Fuente: Propia

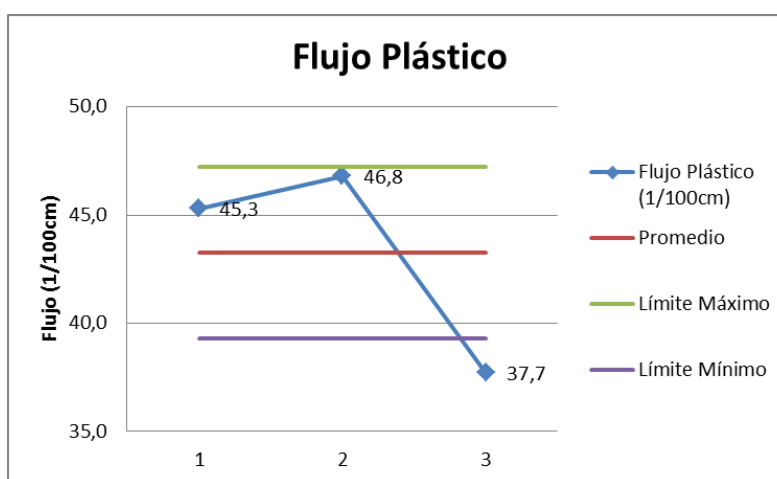


Ilustración 43: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-4

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 13.64 a 9.21, disminuyendo el coeficiente de variación en un 32.5%. El flujo plástico promedio final de la muestra #3570-4 es de 43.3 (1/100cm).

4.2.2.6 Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado

Tabla 100: Porcentaje de Asfalto, muestra #3570-4

N° de muestra: <u>3570-4</u>		Fecha: <u>22/06/2017</u>	
EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS			
CENIZA		Código Balanza: <u>BA-012</u>	
Masa del crisol (g):	<u>136,016</u>	Masa del crisol + ceniza (g):	<u>136,678</u>
G) Masa de ceniza (g):	<u>0,662</u>	V2) Volumen de la alícuota (ml):	<u>100</u>
V1) Volumen total del líquido (ml):	<u>900</u>	% Ceniza ($100 \cdot (W4/W5)$)	<u>0,33</u>
W4) Masa del material mineral $G \cdot (V1/V2)$ (g):	<u>5,958</u>		
REFLUX		Código Balanza: <u>BA-020</u>	
C) Humedad de la mezcla (%):	<u>0,05</u>		
W1) Masa del espécimen de ensayo (g):	<u>1915,6</u>	Masa mezcla cono 1 (g):	<u>1003,9</u>
W2) Masa de Agua ($C \cdot W1/100$) (g):	<u>1,0</u>	Masa mezcla cono 2 (g):	<u>911,7</u>
Masa de filtros (g):	<u>19,6</u>		
Masa agregado + filtros (g):	<u>1826,9</u>		
W3) Masa del agregado (g):	<u>1807,3</u>		
W5) Masa del agregado + Ceniza (W3+W4)	<u>1813,3</u>		
% de Asfalto sobre la mezcla $100 \cdot ((w1-w2)-(w3+w4))/(w1-w2)$		<u>5,29</u>	%
% de Asfalto sobre el agregado $100 \cdot ((w1-w2)-(w3+w4))/(w3+w4)$		<u>5,59</u>	%

Fuente: Propia

De la muestra #3570-4 se obtiene un porcentaje de asfalto sobre la mezcla de 5.29% y un porcentaje de asfalto sobre el agregado de 5.59%.

4.2.2.7 Graduación del agregado

Tabla 101: Graduación del Agregado, muestra #3570-4

Graduación de Agregado Extraído					
Código de la Balanza:		<u>BA-020</u>	N° muestra: <u>3570-4</u>		
W5) Masa seca inicial (W3+W4):		<u>1813,3</u>			
W6) Masa lavada seca:		<u>1714,4</u>			
# Malla	Malla (mm)	W7) Masa (g)	W8) % retenido $100*(w7/w5)$	W9) % retenido acumulado	% Pasando $100-W9$
					100
1/2"	12,7	141,4	7,8	8	92
3/8"	9,5	242,8	13,4	21	79
N° 4	4,75	569,1	31,4	53	47
N° 8	2	290,3	16,0	69	31
N° 16	1,18	185	10,2	79	21
N° 30	0,6	102,3	5,6	84	16
N° 50	0,3	77,8	4,3	89	11
N° 200	0,075	101,8	5,6	94	5,67
Charola		3,4	0,2	95	
W10) Suma total masa:		<u>1713,9</u>			
% de variación de masa $100*((w6-w10)/w5)$			<u>0,03</u>	(no debe ser mayor al 0,03%)	

Fuente: Propia

Se obtiene un porcentaje de variación de masa de 0.03% igual al permitido de 0.03%.

4.2.3 Muestra #3570-6

4.2.3.1 Gravedad específica máxima teórica

Tabla 102: Máxima Teórica, muestra #3570-6

PARAMETROS MARSHALL (Máxima Teórica, GBS, Estabilidad y flujo plástico y calculo de vacíos)						
		N° Muestra	3570-6	Contenido Agua Mezcla		
GRAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA TEÓRICA		Determinación N° 1	Determinación N° 2	Peso inicial (A)	1354,5	
(A)	Masa del recipiente (g)	1039,4	1267,7	Peso final (B)	1353,5	
	Masa del recipiente + Muestra (g)	2638,7	2857,8	Contenido de agua ((A-B)/B)*100	0,07	
	Masa de la muestra (g)	1599,3	1590,1			
	Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1598,1	1588,9			
	(D)	Masa del recipiente + agua (g)	3340,2	3479,5		
	(E)	Masa recipiente + agua + muestra (después de aplicar el vacío) (g)	4293,4	4427,3		
	(A')	Masa de la muestra SSS	1600,7	1591,5		
		Gravedad Especifica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción: $A/(A+D-E)$	2,478	2,478		
		Gravedad Especifica Máxima Teórica (Gmt) con absorción: $A/(A'+D-E)$	2,468	2,468		
		Promedio	2,468			
	Temperatura del agua en el contenedor °C	24,3	Fecha de realización	22/06/2017		
	Código Balanza:	BA-020				

Fuente: Propia

La gravedad específica máxima teórica promedio de la muestra #3570-6 es de 2.468.

4.2.3.2 Gravedad específica bruta y porcentaje de vacíos

Tabla 103: Gbs y porcentaje de Vacíos, muestra #3570-4

PARAMETROS MARSHALL (Máxima Teórica, GBS, Estabilidad y flujo plástico y cálculo de vacíos)								
N° Muestra: 3570-6			Fecha Realización 22/06/2017					
Gravedad Especifica Bruta de Mezcla Asfáltica y Calculo de Vacíos								
Temp. Ambiente °C: 24			Temp. Agua °C: 24,5					
# Pastilla	Masa seca(g) (A)	Masa SSS(g) (B)	Masa sumergía(g) (C)	B-C	% Agua Absorb: $100*(B-A/B-C)$	Gbs: (A/B-C) (E)	Máxima Teórica (D)	% Vacíos: $100*(D-E/D)$
1	1179,2	1180,9	679,5	501,4	0,34	2,352	2,468	4,72
2	1178,3	1180,2	678,7	501,5	0,38	2,350	2,468	4,81
3	1182,4	1184,5	682,7	501,8	0,42	2,356	2,468	4,54
4	1184,2	1186,1	679,4	506,7	0,37	2,337	2,468	5,32
Promedio						2,349		4,85

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-6 se obtiene un GBS promedio de 2.349 y un porcentaje de vacíos de 4.85%.

4.2.3.3 Estabilidad y flujo plástico

Tabla 104: Estabilidad y Flujo Plástico, muestra #3570-6

Estabilidad y Flujo plástico			
# Pastilla	Altura (cm)	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100cm)
1	6,34	1716	48,8
2	3,38	1749	34,7
3	6,34	1869	35,2
4	6,39	1817	44,4
Promedio:		1788	40,8

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-6 la estabilidad promedio es de 1788 kg y el flujo plástico promedio es de 40.8 (1/100cm).

Con el fin de bajar el coeficiente de variación de los datos se procede a eliminar la muestra que se encuentra más dispersa mediante límites máximos y mínimos.

4.2.3.4 Análisis de estabilidad

Tabla 105: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-6

# Pastilla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
1	1716	1788	1847	1728	59	3,32
2	1749	1788	1847	1728		
3	1869	1788	1847	1728		
4	1817	1788	1847	1728		

Fuente: Propia

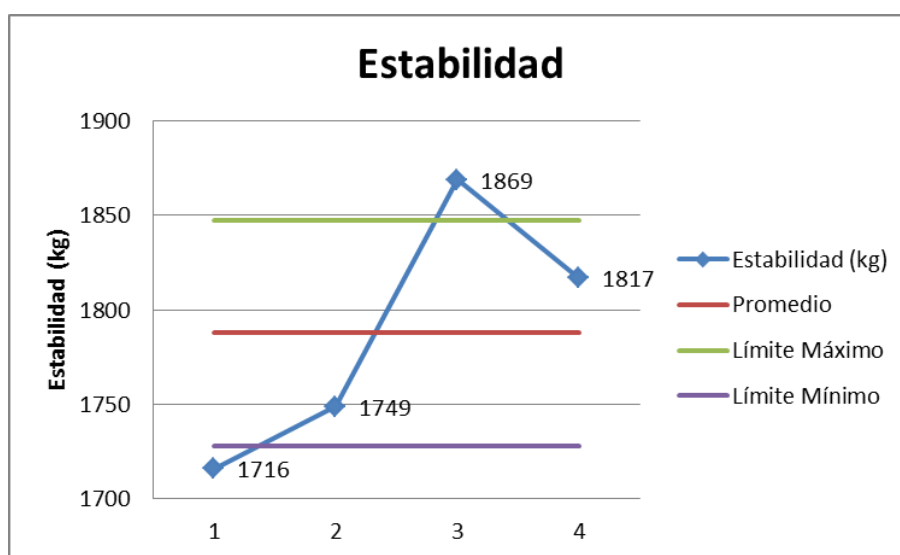


Ilustración 44: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-6

Para la muestra #3570-6 se obtuvo una estabilidad promedio de 1788 kg y con un coeficiente de variación de 3.32. Mediante la gráfica se observa que el dato más disperso es de la pastilla #3 de 1869 kg, por lo que se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 106: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-6

# Pastilla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
1	1716	1761	1803	1719	42	2,39
2	1749	1761	1803	1719		
4	1817	1761	1803	1719		

Fuente: Propia

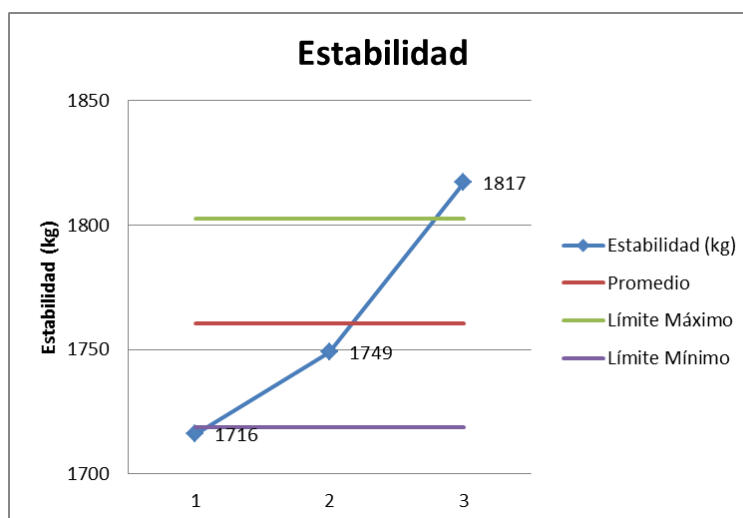


Ilustración 45: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-6

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 3.32 a 2.39, disminuyendo el coeficiente de variación en un 28%. La estabilidad promedio final de la muestra #3570-6 es de 1761 kg.

4.2.3.5 Análisis del flujo plástico

Tabla 107: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-6

# Pastilla	Flujo Plástico (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
1	48,8	40,8	46,8	34,7	6,03	14,79
2	34,7	40,8	46,8	34,7		
3	35,2	40,8	46,8	34,7		
4	44,4	40,8	46,8	34,7		

Fuente: Propia

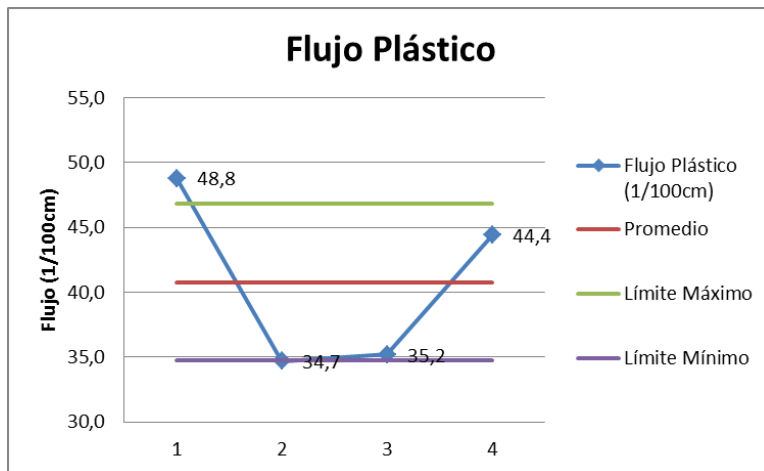


Ilustración 46: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-6

De la muestra #3570-6 se obtuvo un flujo plástico promedio de 40.8 (1/100cm) y un coeficiente de variación de 14.79. En la gráfica se observa que el dato más disperso es de la pastilla #1 el cual se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 108: Análisis de Flujo Plástico, muestra #3570-6

# Pastilla	Flujo Plástico (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
2	34,7	38,1	42,56	33,64	4,46	11,70
3	35,2	38,1	42,56	33,64		
4	44,4	38,1	42,56	33,64		

Fuente: Propia

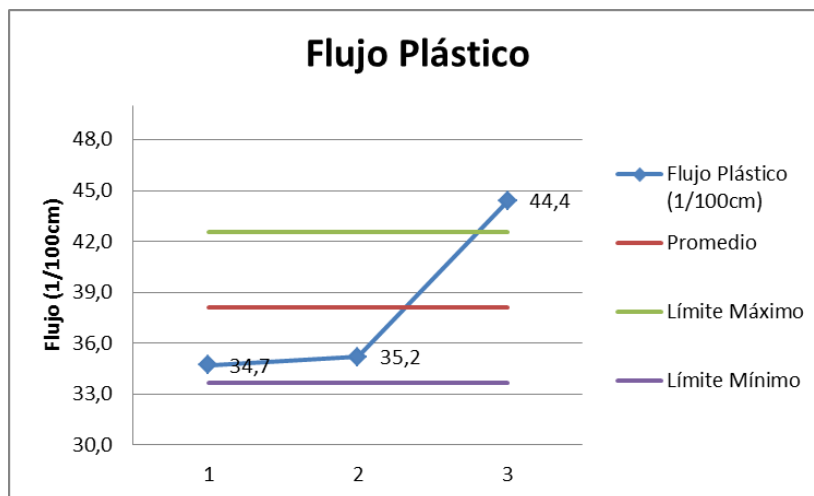


Ilustración 47: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-6

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 14.79 a 11.70, disminuyendo el coeficiente de variación en un 20.9%. El flujo plástico promedio final de la muestra #3570-6 es de 38.1 (1/100cm).

4.2.3.6 Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado

Tabla 109: Porcentaje de Asfalto, muestra #3570-6

N° de muestra: <u>3570-6</u>		Fecha: <u>23/06/2017</u>	
EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS			
CENIZA		Código Balanza: <u>BA-012</u>	
Masa del crisol (g):	<u>136,014</u>	Masa del crisol + ceniza (g):	<u>136,681</u>
G) Masa de ceniza (g):	<u>0,667</u>	V2) Volumen de la alícuota (ml):	<u>100</u>
V1) Volumen total del líquido (ml):	<u>920</u>	% Ceniza ($100 \cdot (W4/W5)$)	<u>0,33</u>
W4) Masa del material mineral $G \cdot (V1/V2)$ (g):	<u>6,136</u>		
REFLUX		Código Balanza: <u>BA-020</u>	
C) Humedad de la mezcla (%):	<u>0,07</u>		
W1) Masa del espécimen de ensayo (g):	<u>1969,4</u>	Masa mezcla cono 1 (g):	<u>1046,2</u>
W2) Masa de Agua ($C \cdot W1/100$) (g):	<u>1,5</u>	Masa mezcla cono 2 (g):	<u>923,2</u>
Masa de filtros (g):	<u>20,1</u>		
Masa agregado + filtros (g):	<u>1880,1</u>		
W3) Masa del agregado (g):	<u>1860</u>		
W5) Masa del agregado + Ceniza (W3+W4)	<u>1866,1</u>		
% de Asfalto sobre la mezcla $100 \cdot ((w1-w2)-(w3+w4))/(w1-w2)$		<u>5,17</u>	%
% de Asfalto sobre el agregado $100 \cdot ((w1-w2)-(w3+w4))/(w3+w4)$		<u>5,46</u>	%

Fuente: Propia

De la muestra #3570-6 se obtiene un porcentaje de asfalto sobre la mezcla de 5.17 % y un porcentaje de asfalto sobre el agregado de 5.46 %.

4.2.3.7 Graduación del agregado

Tabla 110: Graduación de Agregado, muestra #3570-6

Graduación de Agregado Extraído					
Código de la Balanza:		<u>BA-020</u>	N° muestra: <u>3570-6</u>		
W5) Masa seca inicial (W3+W4):		<u>1866,1</u>			
W6) Masa lavada seca:		<u>1760,6</u>			
# Malla	Malla (mm)	W7) Masa (g)	W8) % retenido $100*(w7/w5)$	W9) % retenido acumulado	% Pasando $100-W9$
					100
1/2"	12,7	100,9	5,4	5	95
3/8"	9,5	251,5	13,5	19	81
N° 4	4,75	631,5	33,8	53	47
N° 8	2	303	16,2	69	31
N° 16	1,18	182,2	9,8	79	21
N° 30	0,6	103,7	5,6	84	16
N° 50	0,3	80,9	4,3	89	11
N° 200	0,075	103,2	5,5	94	5,85
Charola		3,4	0,2	94	
W10) Suma total masa:		<u>1760,3</u>			
% de variación de masa $100*((w6-w10)/w5)$			<u>0,02</u>	(no debe ser mayor al 0,03%)	

Fuente: Propia

Se obtiene un porcentaje de variación de masa de 0.02 % menor al permitido de 0.03%.

4.2.4 Muestra #3570-8

4.2.4.1 Gravedad específica máxima teórica

Tabla 111: Máxima Teórica, muestra #3570-8

PARAMETROS MARSHALL (Máxima Teórica, GBS, Estabilidad y flujo plástico y cálculo de vacíos)						
		N° Muestra	3570-8	Contenido Agua Mezcla		
GRAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA TEÓRICA		Determinación N° 1	Determinación N° 2	Peso inicial (A)	1479,2	
(A)	Masa del recipiente (g)	1040,4	1269,7	Peso final (B)	1478,1	
	Masa del recipiente + Muestra (g)	2643,6	2782,3	Contenido de agua ((A-B)/B)*100	0,07	
	Masa de la muestra (g)	1603,2	1512,6			
	Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1602,0	1511,5			
	(D)	Masa del recipiente + agua (g)	3340,2	3479,5		
	(E)	Masa recipiente + agua + muestra (después de aplicar el vacío) (g)	4296,3	4380,6		
	(A')	Masa de la muestra SSS	1604,9	1514,3		
		Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción: A/(A+D-E)	2,480	2,476		
		Gravedad Especifica Máxima Teórica (Gmt) con absorción: A/(A'+D-E)	2,469	2,465		
		Promedio	2,467			
	Temperatura del agua en el contenedor °C	24	Fecha de realización	03/07/2017		
	Código Balanza:	BA-020				

Fuente: Propia

La gravedad específica máxima teórica promedio de la muestra #3570-8 es de 2.467.

4.2.4.2 Gravedad específica bruta y porcentaje de vacíos

Tabla 112: Gbs y porcentaje de Vacíos, muestra #3570-8

PARAMETROS MARSHALL (Máxima Teórica, GBS, Estabilidad y flujo plástico y cálculo de vacíos)								
N° Muestra: 3570-8			Fecha Realización 10/07/2017					
Gravedad Especifica Bruta de Mezcla Asfáltica y Calculo de Vacíos								
Temp. Ambiente °C: 23			Temp. Agua °C: 24,8					
# Pastilla	Masa seca(g) (A)	Masa SSS(g) (B)	Masa sumergía(g) (C)	B-C	% Agua Absorb: $100*(B-A/B-C)$	Gbs: (A/B-C) (E)	Máxima Teórica (D)	% Vacíos: $100*(D-E/D)$
1	1179,2	1180,9	684,8	496,1	0,34	2,377	2,467	3,65
2	1176,1	1177,2	681,7	495,5	0,22	2,374	2,467	3,79
3	1182,8	1184,0	685,4	498,6	0,24	2,372	2,467	3,84
4	1180,4	1181,9	685,1	496,8	0,30	2,376	2,467	3,69
Promedio						2,375		3,74

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-8 se obtiene un GBS promedio de 2.375 y un porcentaje de vacíos de 3.74 %.

4.2.4.3 Estabilidad y flujo plástico

Tabla 113: Estabilidad y Flujo Plástico, muestra #3570-8

Estabilidad y Flujo plástico			
# Pastilla	Altura (cm)	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100cm)
1	6,28	1898	49,3
2	6,29	1611	55,9
3	6,31	1748	47,9
4	6,32	1807	40,5
Promedio:		1766	48,4

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-8 la estabilidad promedio es de 1766 kg y el flujo plástico promedio es de 48.4 (1/100cm).

Con el fin de bajar el coeficiente de variación de los datos se procede a eliminar la muestra que se encuentra más dispersa mediante límites máximos y mínimos.

4.2.4.4 Análisis de estabilidad

Tabla 114: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-8

# Pastilla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
1	1898	1766	1870	1662	104	5,90
2	1611	1766	1870	1662		
3	1748	1766	1870	1662		
4	1807	1766	1870	1662		

Fuente: Propia

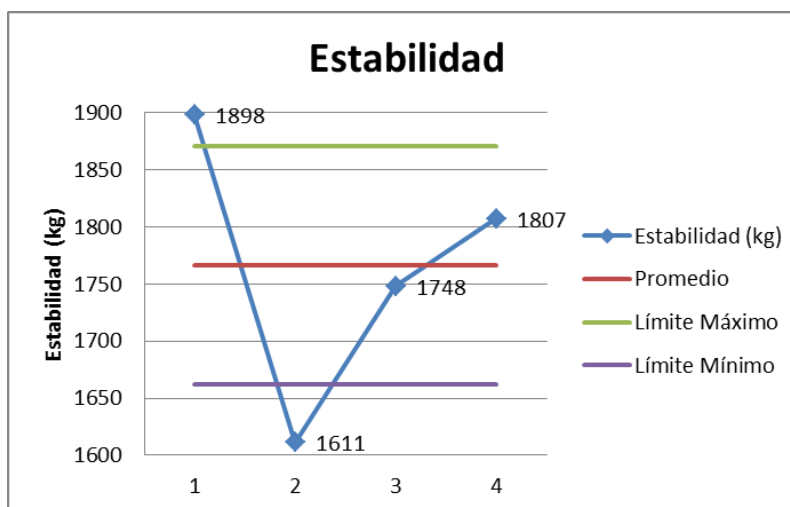


Ilustración 48: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-8

Para la muestra #3570-8 se obtuvo una estabilidad promedio de 1766 kg y con un coeficiente de variación de 5.90. Mediante la gráfica se observa que el dato más disperso es de la pastilla #2 de 1611 kg, por lo que se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 115: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-8

# Pastilla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
1	1898	1818	1879	1756	62	3,39
3	1748	1818	1879	1756		
4	1807	1818	1879	1756		

Fuente: Propia

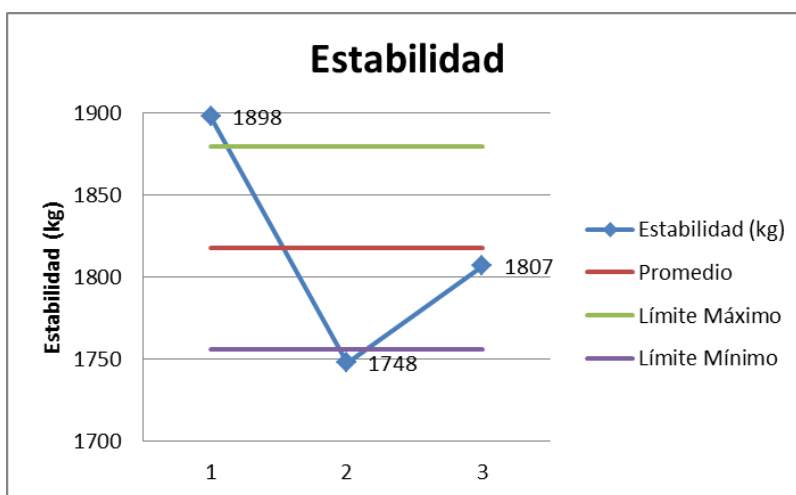


Ilustración 49: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-8

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 5.90 a 3.39, disminuyendo el coeficiente de variación en un 57.5 %, la estabilidad promedio final de la muestra #3570-8 es de 1818 kg.

4.2.4.5 Análisis del flujo plástico

Tabla 116: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-8

# Pastilla	Flujo Plástico (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
1	49,3	48,4	53,9	42,9	5,47	11,30
2	55,9	48,4	53,9	42,9		
3	47,9	48,4	53,9	42,9		
4	40,5	48,4	53,9	42,9		

Fuente: Propia

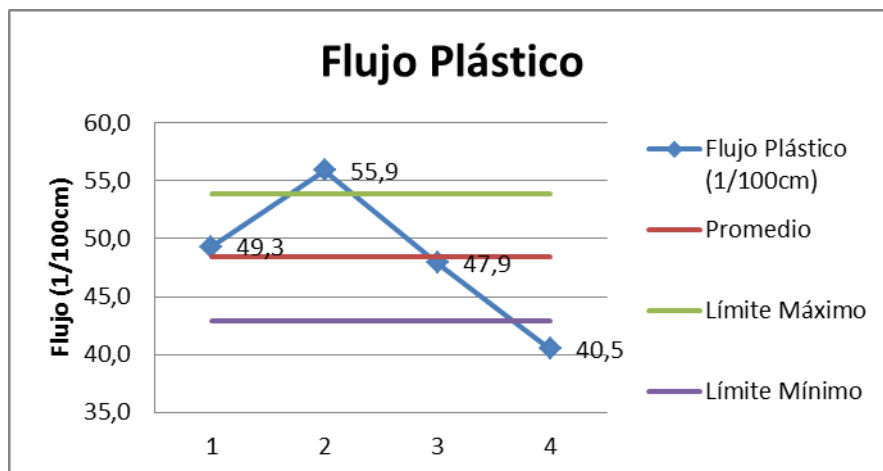


Ilustración 50: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-8

De la muestra #3570-8 se obtuvo un flujo plástico promedio de 48.4 (1/100cm) y un coeficiente de variación de 11.30. En la gráfica se observa que el dato más disperso es de la pastilla #2 el cual se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 117: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-8

# Pastilla	Flujo Plástico (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
1	49,3	45,9	49,76	42,04	3,86	8,41
3	47,9	45,9	49,76	42,04		
4	40,5	45,9	49,76	42,04		

Fuente: Propia

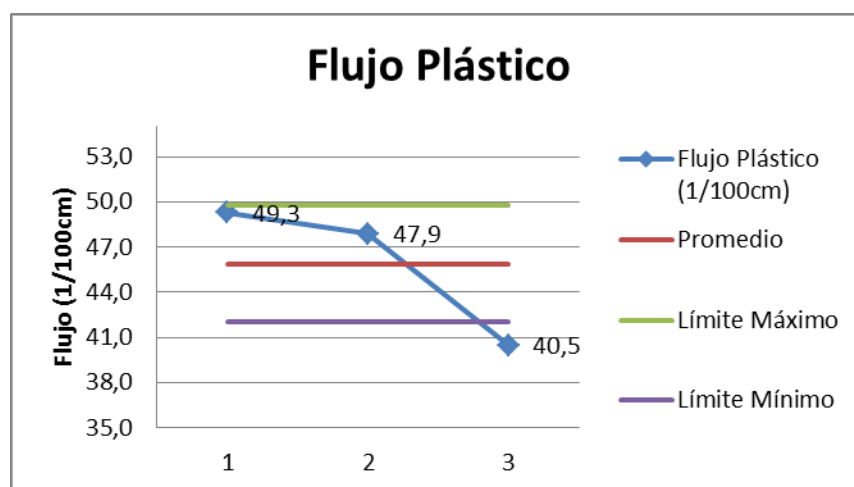


Ilustración 51: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-8

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 11.30 a 8.41, disminuyendo el coeficiente de variación en un 25.6 %. El flujo plástico promedio final de la muestra #3570-8 es de 45.9 (1/100cm).

4.2.4.6 Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado

Tabla 118: Porcentaje de Asfalto, muestra #3570-8

N° de muestra: <u>3570-8</u>		Fecha: 06/07/2017	
EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS			
CENIZA		Código Balanza: <u>BA-012</u>	
Masa del crisol (g):	<u>136,015</u>	Masa del crisol + ceniza (g):	<u>136,651</u>
G) Masa de ceniza (g):	<u>0,636</u>	V2) Volumen de la alícuota (ml):	<u>100</u>
V1) Volumen total del líquido (ml):	<u>910</u>	% Ceniza (100*(W4/W5))	<u>0,34</u>
W4) Masa del material mineral G*(V1/V2) (g):	<u>5,788</u>		
REFLUX		Código Balanza: <u>BA-020</u>	
C) Humedad de la mezcla (%):	<u>0,07</u>		
W1) Masa del espécimen de ensayo (g):	<u>1805,2</u>	Masa mezcla cono 1 (g):	<u>1128,7</u>
W2) Masa de Agua (C*W1/100) (g):	<u>1,3</u>	Masa mezcla cono 2 (g):	<u>676,5</u>
Masa de filtros (g):	<u>19</u>		
Masa agregado + filtros (g):	<u>1722,2</u>		
W3) Masa del agregado (g):	<u>1703,2</u>		
W5) Masa del agregado + Ceniza (W3+W4)	<u>1709,0</u>		
% de Asfalto sobre la mezcla $100*((w1-w2)-(w3+w4))/(w1-w2)$		<u>5,26</u>	%
% de Asfalto sobre el agregado $100*((w1-w2)-(w3+w4))/(w3+w4)$		<u>5,55</u>	%

Fuente: Propia

De la muestra #3570-8 se obtiene un porcentaje de asfalto sobre la mezcla de 5.26 % y un porcentaje de asfalto sobre el agregado de 5.55 %.

4.2.4.7 Graduación del agregado

Tabla 119: Graduación de Agregado, muestra #3570-8

Graduación de Agregado Extraído					
Código de la Balanza:		<u>BA-020</u>	N° muestra: <u>3570-8</u>		
W5) Masa seca inicial (W3+W4):		<u>1709,0</u>			
W6) Masa lavada seca:		<u>1604,1</u>			
# Malla	Malla (mm)	W7) Masa (g)	W8) % retenido $100*(w7/w5)$	W9) % retenido acumulado	% Pasando $100-W9$
					100
1/2"	12,7	102,4	6,0	6	94
3/8"	9,5	215,3	12,6	19	81
N° 4	4,75	596,1	34,9	53	47
N° 8	2	276	16,1	70	30
N° 16	1,18	158,8	9,3	79	21
N° 30	0,6	93,6	5,5	84	16
N° 50	0,3	67,3	3,9	88	12
N° 200	0,075	91,6	5,4	94	6,31
Charola		2,8	0,2	94	
W10) Suma total masa:		<u>1603,9</u>			
% de variación de masa $100*((w6-w10)/w5)$			<u>0,01</u>	(no debe ser mayor al 0,03%)	

Fuente: Propia

Se obtiene un porcentaje de variación de masa de 0.01 % menor al permitido de 0.03%.

4.2.5 Muestra #3570-10

4.2.5.1 Gravedad específica máxima teórica

Tabla 120: Máxima Teórica, muestra #3570-10

PARAMETROS MARSHALL (Máxima Teórica, GBS, Estabilidad y flujo plástico y cálculo de vacíos)					
		N° Muestra 3570-10		Contenido Agua Mezcla	
GAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA		Determinación N° 1	Determinación N° 2	Peso inicial (A)	1343,3
	Masa del recipiente (g)	1040	1270,1	Peso final (B)	1341,6
	Masa del recipiente + Muestra (g)	2660,6	2854,2	Contenido de agua ((A-B)/B)*100	0,13
(A)	Masa de la muestra (g)	1620,6	1584,1		
	Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1618,5	1582,1		
(D)	Masa del recipiente + agua (g)	3340,2	3479,5		
(E)	Masa recipiente + agua + muestra (después de aplicar el vacío) (g)	4301,6	4419,8		
(A')	Masa de la muestra SSS	1622,5	1586		
	Gravedad Especifica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción: $A/(A+D-E)$	2,463	2,465		
	Gravedad Especifica Máxima Teórica (Gmt) con absorción: $A/(A'+D-E)$	2,448	2,450		
Promedio		2,449			
Temperatura del agua en el contenedor °C		24,6	Fecha de realización	07/07/2017	
Código Balanza:		BA-020			

Fuente: Propia

La gravedad específica máxima teórica promedio de la muestra #3570-10 es de 2.449.

4.2.5.2 Gravedad específica bruta y porcentaje de vacíos

Tabla 121: Gbs y porcentaje de Vacíos, muestra #3570-10

PARAMETROS MARSHALL (Máxima Teórica, GBS, Estabilidad y flujo plástico y cálculo de vacíos)								
N° Muestra: 3570-10			Fecha Realización 10/07/2017					
Gravedad Especifica Bruta de Mezcla Asfáltica y Calculo de Vacíos								
Temp. Ambiente °C: 24,7			Temp. Agua °C: 24,6					
# Pastilla	Masa seca(g) (A)	Masa SSS(g) (B)	Masa sumergía(g) (C)	B-C	% Agua Absorción: $100*(B-A/B-C)$	Gbs: (A/B-C) (E)	Máxima Teórica (D)	% Vacíos: $100*(D-E/D)$
1	1181,1	1183,9	680,9	503,0	0,56	2,348	2,449	4,13
2	1183,4	1185,8	680,5	505,3	0,47	2,342	2,449	4,38
3	1179,6	1181,7	681,5	500,2	0,42	2,358	2,449	3,71
4	1181,4	1183,2	680,1	503,1	0,36	2,348	2,449	4,12
Promedio						2,349		4,09

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-10 se obtiene un GBS promedio de 2.349 y un porcentaje de vacíos de 4.09 %.

4.2.2.3 Estabilidad y flujo plástico

Tabla 122: Estabilidad y Flujo Plástico

Estabilidad y Flujo plástico			
# Pastilla	Altura (cm)	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100cm)
1	6,35	1672	44,4
2	6,38	1598	35,4
3	6,41	1814	33,2
4	6,37	1894	43,8
Promedio:		1745	39,2

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-10 la estabilidad promedio es de 1745 kg y el flujo plástico promedio es de 39.2 (1/100cm).

Con el fin de bajar el coeficiente de variación de los datos se procede a eliminar la muestra que se encuentra más dispersa mediante límites máximos y mínimos.

4.2.5.4 Análisis de estabilidad

Tabla 123: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-10

# Pastilla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
1	1672	1745	1861	1628	116	6,65
2	1598	1745	1861	1628		
3	1814	1745	1861	1628		
4	1894	1745	1861	1628		

Fuente: Propia

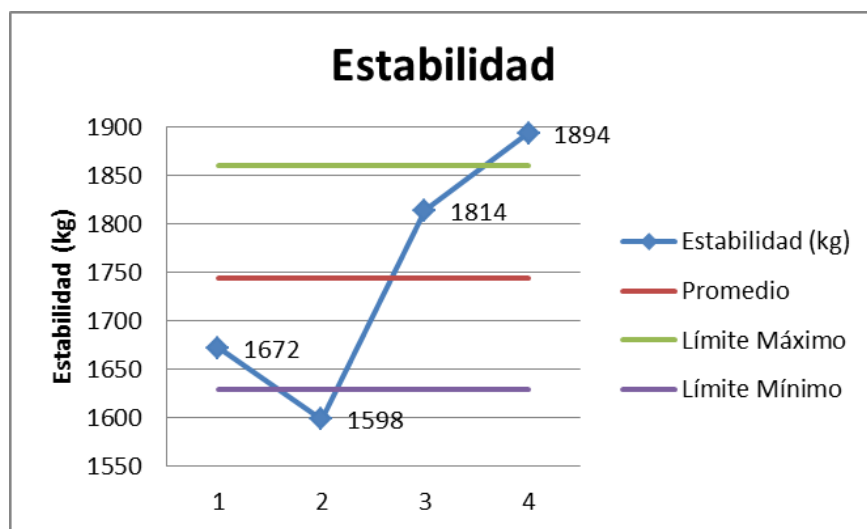


Ilustración 52: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-10

Para la muestra #3570-10 se obtuvo una estabilidad promedio de 1745 kg y con un coeficiente de variación de 6.65. Mediante la gráfica se observa que el dato más disperso es de la pastilla #2 de 1598 kg, por lo que se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 124: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-10

# Pastilla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
1	1672	1793	1885	1702	92	5,12
3	1814	1793	1885	1702		
4	1894	1793	1885	1702		

Fuente: Propia

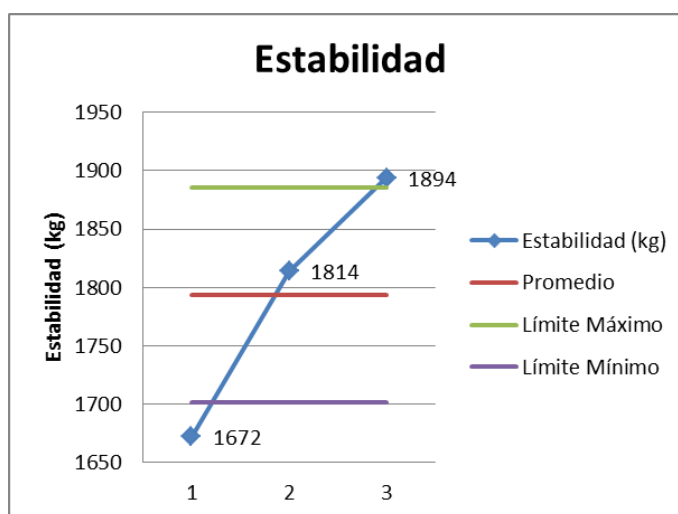


Ilustración 53: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-10

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 6.65 a 5.12, disminuyendo el coeficiente de variación en un 23%. La estabilidad promedio final de la muestra #3570-10 es de 1793 kg.

4.2.5.5 Análisis del flujo plástico

Tabla 125: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-10

# Pastilla	Flujo Plástico (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
1	44,4	39,2	44,2	34,2	4,97	12,67
2	35,4	39,2	44,2	34,2		
3	33,2	39,2	44,2	34,2		
4	43,8	39,2	44,2	34,2		

Fuente: Propia

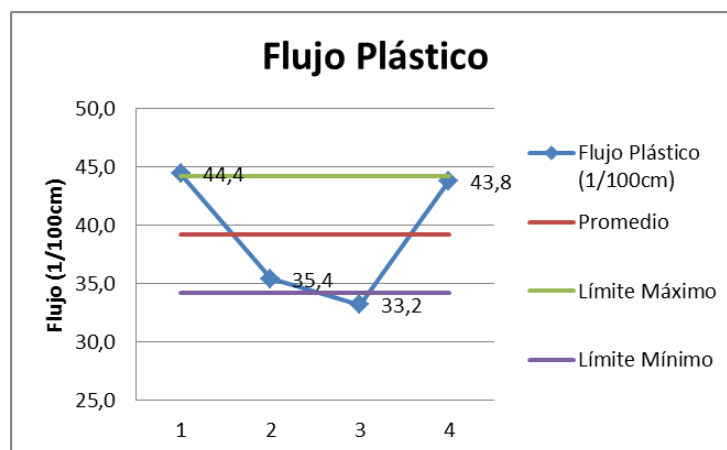


Ilustración 54: Grafica del Flujo Plástico, muestra #3570-10

De la muestra #3570-10 se obtuvo un flujo plástico promedio de 39.2 (1/100cm) y un coeficiente de variación de 12.67. En la gráfica se observa que el dato más disperso es de la pastilla #3 el cual se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 126: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-10

# Pastilla	Flujo Plástico (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
1	44,4	41,2	45,31	37,09	4,11	9,97
2	35,4	41,2	45,31	37,09		
4	43,8	41,2	45,31	37,09		

Fuente: Propia

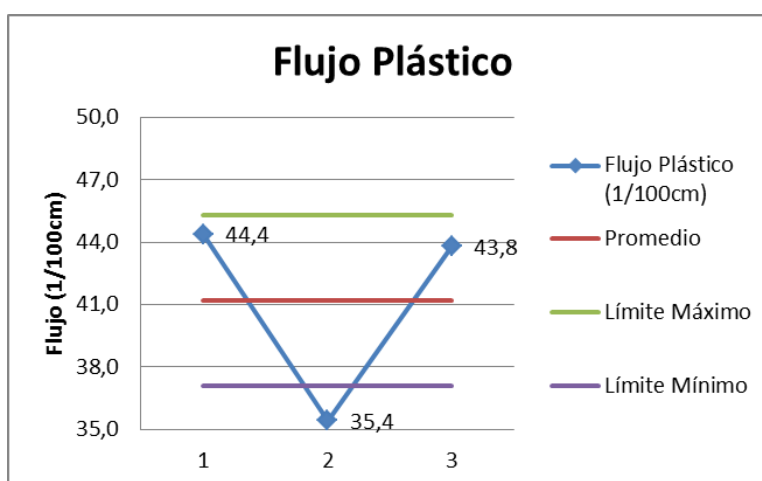


Ilustración 55: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-10

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 12.67 a 9.97, disminuyendo el coeficiente de variación en un 21.3 %. El flujo plástico promedio final de la muestra #3570-10 es de 41.2 (1/100cm).

4.2.5.6 Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado

Tabla 127: Porcentaje de Asfalto, muestra #3570-10

N° de muestra: <u>3570-10</u>		Fecha: <u>07/07/2017</u>	
EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS			
CENIZA		Código Balanza: <u>BA-012</u>	
Masa del crisol (g):	<u>136,016</u>	Masa del crisol + ceniza (g):	<u>136,715</u>
G) Masa de ceniza (g):	<u>0,699</u>	V2) Volumen de la alícuota (ml):	<u>100</u>
V1) Volumen total del líquido (ml):	<u>860</u>	% Ceniza (100*(W4/W5))	<u>0,34</u>
W4) Masa del material mineral G*(V1/V2) (g):	<u>6,011</u>		
REFLUX		Código Balanza: <u>BA-020</u>	
C) Humedad de la mezcla (%):	<u>0,13</u>		
W1) Masa del espécimen de ensayo (g):	<u>1873,8</u>	Masa mezcla cono 1 (g):	<u>1015</u>
W2) Masa de Agua (C*W1/100) (g):	<u>2,4</u>	Masa mezcla cono 2 (g):	<u>858,8</u>
Masa de filtros (g):	<u>18,8</u>		
Masa agregado + filtros (g):	<u>1785,8</u>		
W3) Masa del agregado (g):	<u>1767</u>		
W5) Masa del agregado + Ceniza (W3+W4)	<u>1773,0</u>		
% de Asfalto sobre la mezcla $100*((w1-w2)-(w3+w4))/(w1-w2)$		<u>5,26</u>	%
% de Asfalto sobre el agregado $100*((w1-w2)-(w3+w4))/(w3+w4)$		<u>5,55</u>	%

Fuente: Propia

De la muestra #3570-10 se obtiene un porcentaje de asfalto sobre la mezcla de 5.26 % y un porcentaje de asfalto sobre el agregado de 5.55 %.

4.2.5.7 Graduación del agregado

Tabla 128: Graduación de Agregado, muestra #3570-10

Graduación de Agregado Extraído					
Código de la Balanza:		<u>BA-020</u>	N° muestra: <u>3570-10</u>		
W5) Masa seca inicial (W3+W4):		<u>1773,0</u>			
W6) Masa lavada seca:		<u>1673,6</u>			
# Malla	Malla (mm)	W7) Masa (g)	W8) % retenido $100*(w7/w5)$	W9) % retenido acumulado	% Pasando $100-W9$
					100
1/2"	12,7	100,7	5,7	6	94
3/8"	9,5	295,5	16,7	22	78
N° 4	4,75	523,9	29,5	52	48
N° 8	2	288,3	16,3	68	32
N° 16	1,18	179,2	10,1	78	22
N° 30	0,6	102,3	5,8	84	16
N° 50	0,3	79,5	4,5	89	11
N° 200	0,075	101,1	5,7	94	5,78
Charola		2,7	0,2	94	
W10) Suma total masa:		<u>1673,2</u>			
% de variación de masa $100*((w6-w10)/w5)$			<u>0,02</u>	(no debe ser mayor al 0,03%)	

Fuente: Propia

Se obtiene un porcentaje de variación de masa de 0.02 % menor al permitido de 0.03%.

4.2.6 Muestra #3570-12

4.2.6.1 Gravedad específica máxima teórica

Tabla 129: Máxima Teórica, muestra #3570-12

PARAMETROS MARSHALL (Máxima Teórica, GBS, Estabilidad y flujo plástico y cálculo de vacíos)					
		N° Muestra 3570-12		Contenido Agua Mezcla	
GAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA TEÓRICA		Determinación N° 1	Determinación N° 2	Peso inicial (A)	1499,5
	Masa del recipiente (g)	1039,6	1267,6	Peso final (B)	1498,6
	Masa del recipiente + Muestra (g)	2639,6	2837,7	Contenido de agua ((A-B)/B)*100	0,06
(A)	Masa de la muestra (g)	1600	1570,1		
	Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1599,0	1569,2		
(D)	Masa del recipiente + agua (g)	3340,2	3479,5		
(E)	Masa recipiente + agua + muestra (después de aplicar el vacío) (g)	4288,4	4411,7		
(A')	Masa de la muestra SSS	1601,5	1571,6		
	Gravedad Especifica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción: $A/(A+D-E)$	2,457	2,464		
	Gravedad Especifica Máxima Teórica (Gmt) con absorción: $A/(A'+D-E)$	2,448	2,454		
Promedio		2,451			
Temperatura del agua en el contenedor °C		24,6	Fecha de realización	10/07/2017	
Código Balanza:		BA-020			

Fuente: Propia

La gravedad específica máxima teórica promedio de la muestra #3570-12 es de 2.451.

4.2.6.2 Gravedad específica bruta y porcentaje de vacíos

Tabla 130: Gbs y porcentaje de Vacíos, muestra #3570-12

PARAMETROS MARSHALL (Máxima Teórica, GBS, Estabilidad y flujo plástico y cálculo de vacíos)								
N° Muestra: 3570-12			Fecha Realización 12/07/2017					
Gravedad Especifica Bruta de Mezcla Asfáltica y Calculo de Vacíos								
Temp. Ambiente °C: 23			Temp. Agua °C: 24,7					
# Pastilla	Masa seca(g) (A)	Masa SSS(g) (B)	Masa sumergía(g) (C)	B-C	% Agua Absorb: $100*(B-A/B-C)$	Gbs: (A/B-C) (E)	Máxima Teórica (D)	% Vacíos: $100*(D-E/D)$
1	1183,4	1185,4	682,2	503,2	0,40	2,352	2,451	4,04
2	1183,0	1184,5	681,4	503,1	0,30	2,351	2,451	4,06
3	1180,7	1182,5	679,0	503,5	0,36	2,345	2,451	4,32
4	1183,7	1185,6	680,2	505,4	0,38	2,342	2,451	4,44
Promedio						2,348		4,22

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-12 se obtiene un GBS promedio de 2.348 y un porcentaje de vacíos de 4.22 %.

4.2.6.3 Estabilidad y flujo plástico

Tabla 131: Estabilidad y Flujo Plástico

Estabilidad y Flujo plástico			
# Pastilla	Altura (cm)	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100cm)
1	6,39	1818	37,6
2	6,39	1679	43,2
3	6,40	1739	44,4
4	6,43	1689	50,9
Promedio:		1731	44,0

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-12 la estabilidad promedio es de 1731 kg y el flujo plástico promedio es de 44.0 (1/100cm).

Con el fin de bajar el coeficiente de variación de los datos se procede a eliminar la muestra que se encuentra más dispersa mediante límites máximos y mínimos.

4.2.6.4 Análisis de estabilidad

Tabla 132: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-12

# Pastilla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
1	1818	1731	1786	1676	55	3,18
2	1679	1731	1786	1676		
3	1739	1731	1786	1676		
4	1689	1731	1786	1676		

Fuente: Propia

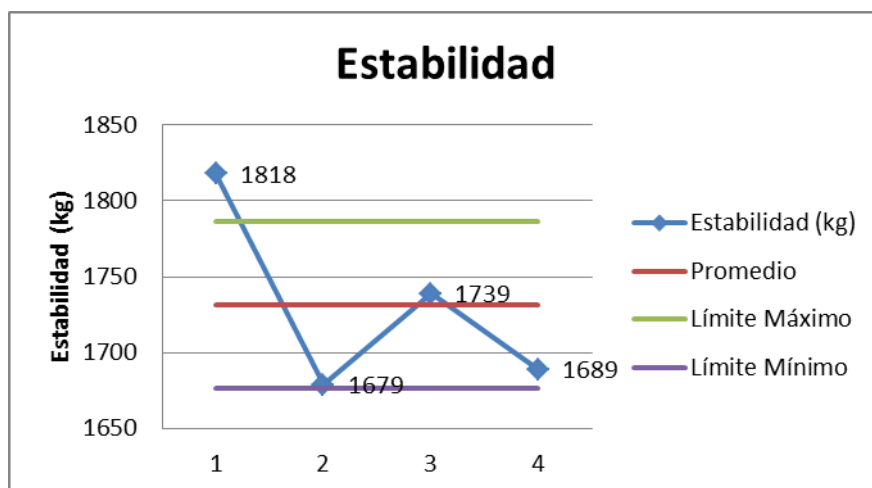


Ilustración 56: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-12

Para la muestra #3570-12 se obtuvo una estabilidad promedio de 1731 kg y con un coeficiente de variación de 3.18. Mediante la gráfica se observa que el dato más disperso es de la pastilla #1 de 1818 kg, por lo que se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 133: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-12

# Pastilla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
2	1679	1702	1729	1676	26	1,54
3	1739	1702	1729	1676		
4	1689	1702	1729	1676		

Fuente: Propia

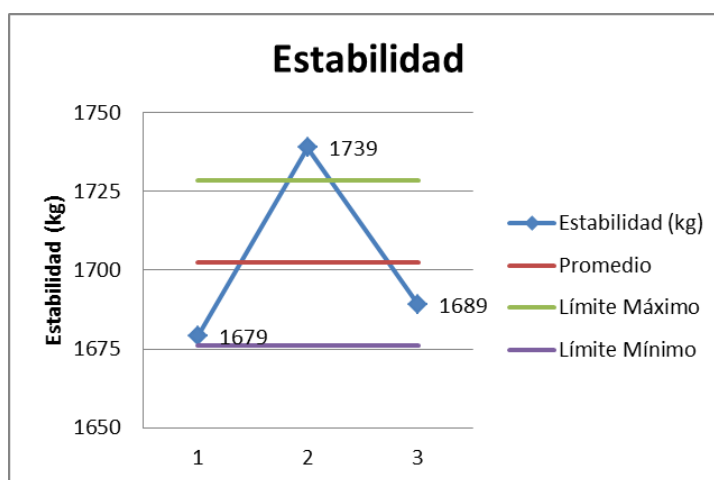


Ilustración 57: Gráfica de Estabilidad, muestra #3570-12

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 3.18 a 1.54, disminuyendo el coeficiente de variación en un 51.6%, la estabilidad promedio final de la muestra #3570-12 es de 1702 kg.

4.2.6.5 Análisis del flujo plástico

Tabla 134: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-12

# Pastilla	Flujo Plástico (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
1	37,6	44,0	48,8	39,3	4,73	10,74
2	43,2	44,0	48,8	39,3		
3	44,4	44,0	48,8	39,3		
4	50,9	44,0	48,8	39,3		

Fuente: Propia

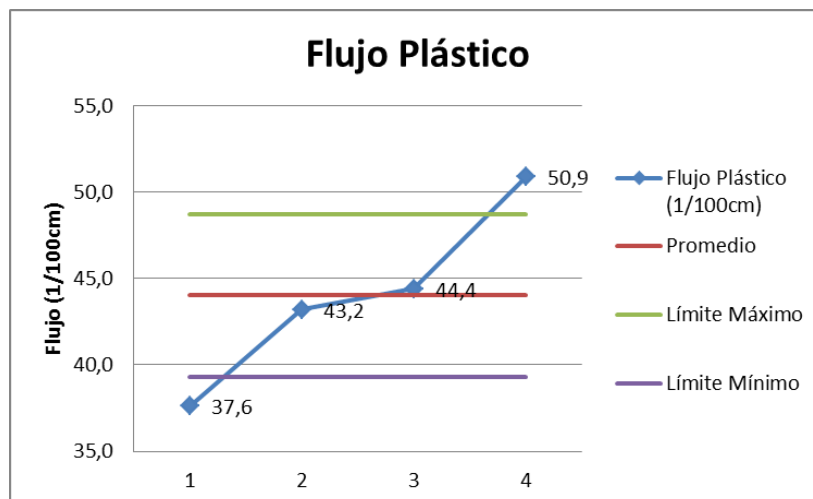


Ilustración 58: Grafica del Flujo Plástico, muestra #3570-12

De la muestra #3570-12 se obtuvo un flujo plástico promedio de 44.0 (1/100cm) y un coeficiente de variación de 10.74. En la gráfica se observa que el dato más disperso es de la pastilla #4 el cual se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 135: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-12

# Pastilla	Flujo Plástico (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
1	37,6	41,7	44,7	38,8	2,96	7,10
2	43,2	41,7	44,7	38,8		
3	44,4	41,7	44,7	38,8		

Fuente: Propia

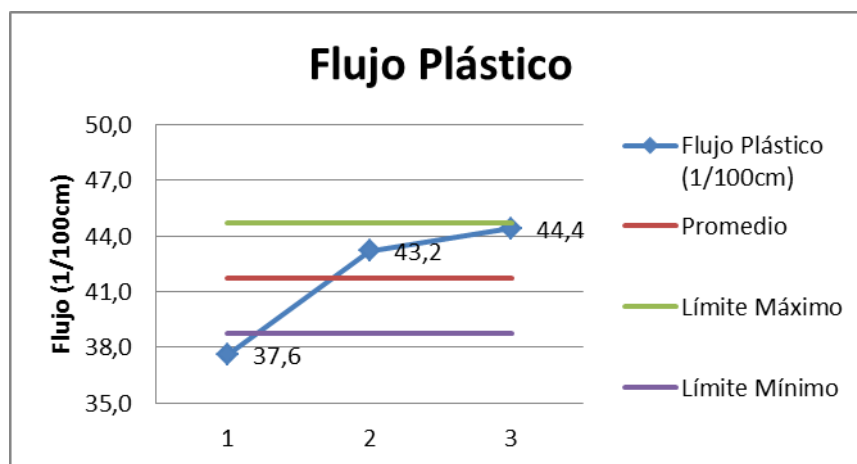


Ilustración 59: Gráfico del Flujo Plástico, muestra #3570-12

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 10.74 a 7.10, disminuyendo el coeficiente de variación en un 33.9 %. El flujo plástico promedio final de la muestra #3570-12 es de 41.7 (1/100cm).

4.2.6.6 Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado

Tabla 136: Porcentaje de Asfalto, muestra #3570-12

N° de muestra: <u>3570-12</u>		Fecha: <u>12/07/2017</u>	
EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS			
CENIZA		Código Balanza: <u>BA-012</u>	
Masa del crisol (g):	<u>136,015</u>	Masa del crisol + ceniza (g):	<u>136,709</u>
G) Masa de ceniza (g):	<u>0,694</u>	V2) Volumen de la alícuota (ml):	<u>100</u>
V1) Volumen total del líquido (ml):	<u>880</u>	% Ceniza ($100 \cdot (W4/W5)$)	<u>0,34</u>
W4) Masa del material mineral $G \cdot (V1/V2)$ (g):	<u>6,107</u>		
REFLUX		Código Balanza: <u>BA-020</u>	
C) Humedad de la mezcla (%):	<u>0,06</u>		
W1) Masa del espécimen de ensayo (g):	<u>1905,8</u>	Masa mezcla cono 1 (g):	<u>1052,7</u>
W2) Masa de Agua ($C \cdot W1/100$) (g):	<u>1,1</u>	Masa mezcla cono 2 (g):	<u>853,1</u>
Masa de filtros (g):	<u>18,9</u>		
Masa agregado + filtros (g):	<u>1815</u>		
W3) Masa del agregado (g):	<u>1796,1</u>		
W5) Masa del agregado + Ceniza (W3+W4)	<u>1802,2</u>		
% de Asfalto sobre la mezcla $100 \cdot ((w1-w2)-(w3+w4))/(w1-w2)$		<u>5,38</u>	%
% de Asfalto sobre el agregado $100 \cdot ((w1-w2)-(w3+w4))/(w3+w4)$		<u>5,68</u>	%

Fuente: Propia

De la muestra #3570-12 se obtiene un porcentaje de asfalto sobre la mezcla de 5.38 % y un porcentaje de asfalto sobre el agregado de 5.68 %.

4.2.6.7 Graduación del agregado

Tabla 137: Graduación de Agregado, muestra #3570-12

Graduación de Agregado Extraído					
Código de la Balanza:	<u>BA-020</u>	N° muestra:	<u>3570-12</u>		
W5) Masa seca inicial (W3+W4):	<u>1802,2</u>				
W6) Masa lavada seca:	<u>1706,1</u>				
# Malla	Malla (mm)	W7) Masa (g)	W8) % retenido $100*(w7/w5)$	W9) % retenido acumulado	% Pasando $100-W9$
					100
1/2"	12,7	83,8	4,6	5	95
3/8"	9,5	301,3	16,7	21	79
N° 4	4,75	571,4	31,7	53	47
N° 8	2	287,8	16,0	69	31
N° 16	1,18	171,6	9,5	79	21
N° 30	0,6	105,5	5,9	84	16
N° 50	0,3	80,7	4,5	89	11
N° 200	0,075	101,4	5,6	95	5,48
Charola		2,3	0,1	95	
W10) Suma total masa:	<u>1705,8</u>				
% de variación de masa $100*((w6-w10)/w5)$	<u>0,02</u>	(no debe ser mayor al 0,03%)			

Fuente: Propia

Se obtiene un porcentaje de variación de masa de 0.02 % menor al permitido de 0.03%.

4.2.7 Muestra #3570-14

4.2.7.1 Gravedad específica máxima teórica

Tabla 138: Máxima Teórica, muestra #3570-14

PARAMETROS MARSHALL (Máxima Teórica, GBS, Estabilidad y flujo plástico y cálculo de vacíos)					
	N° Muestra	3570-14		Contenido Agua Mezcla	
GRAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA TEÓRICA	Determinación N° 1	Determinación N° 2	Peso inicial (A)	1437,5	
(A) Masa del recipiente (g)	1039,8	1268,1	Peso final (B)	1437	
Masa del recipiente + Muestra (g)	2614,4	2817,4	Contenido de agua ((A-B)/B)*100	0,03	
Masa de la muestra (g)	1574,6	1549,3			
Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1574,1	1548,8			
(D) Masa del recipiente + agua (g)	3340,2	3479,5			
(E) Masa recipiente + agua + muestra (después de aplicar el vacío) (g)	4273,6	4401,4			
(A') Masa de la muestra SSS	1575,6	1550,3			
Gravedad Especifica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción: $A/(A+D-E)$	2,457	2,471			
Gravedad Especifica Máxima Teórica (Gmt) con absorción: $A/(A'+D-E)$	2,451	2,465			
Promedio	2,458				
Temperatura del agua en el contenedor °C	24,3	Fecha de realización	13/07/2017		
Código Balanza:	BA-020				

Fuente: Propia

La gravedad específica máxima teórica promedio de la muestra #3570-14 es de 2.458.

4.2.7.2 Gravedad específica bruta y porcentaje de vacíos

Tabla 139: Gbs y porcentaje de Vacíos, muestra #3570-14

PARAMETROS MARSHALL (Máxima Teórica, GBS, Estabilidad y flujo plástico y cálculo de vacíos)								
N° Muestra: 3570-14			Fecha Realización 14/07/2017					
Gravedad Especifica Bruta de Mezcla Asfáltica y Calculo de Vacíos								
Temp. Ambiente °C: 24			Temp. Agua °C: 24,8					
# Pastilla	Masa seca(g) (A)	Masa SSS(g) (B)	Masa sumergía(g) (C)	B-C	% Agua Absorción: $100*(B-A/B-C)$	Gbs: (A/B-C) (E)	Máxima Teórica (D)	% Vacíos: $100*(D-E/D)$
1	1181,6	1183,5	679,9	503,6	0,38	2,346	2,458	4,54
2	1181,6	1182,9	681,3	501,6	0,26	2,356	2,458	4,16
3	1181,0	1182,6	679,7	502,9	0,32	2,348	2,458	4,45
4	1181,7	1184,2	679,6	504,6	0,50	2,342	2,458	4,72
Promedio						2,348		4,47

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-14 se obtiene un GBS promedio de 2.348 y un porcentaje de vacíos de 4.47 %.

4.2.7.3 Estabilidad y flujo plástico

Tabla 140: Estabilidad y Flujo Plástico, muestra #3570-14

Estabilidad y Flujo plástico			
# Pastilla	Altura (cm)	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100cm)
1	6,41	1652	38,1
2	6,37	1768	51,1
3	6,36	1656	37,8
4	6,43	1579	38,9
Promedio:		1664	41,5

Fuente: Propia

Para la muestra #3570-14 la estabilidad promedio es de 1664 kg y el flujo plástico promedio es de 41.5 (1/100cm).

Con el fin de bajar el coeficiente de variación de los datos se procede a eliminar la muestra que se encuentra más dispersa mediante límites máximos y mínimos.

4.2.7.4 Análisis de estabilidad

Tabla 141: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-14

# Pastilla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
1	1652	1664	1731	1596	68	4,06
2	1768	1664	1731	1596		
3	1656	1664	1731	1596		
4	1579	1664	1731	1596		

Fuente: Propia

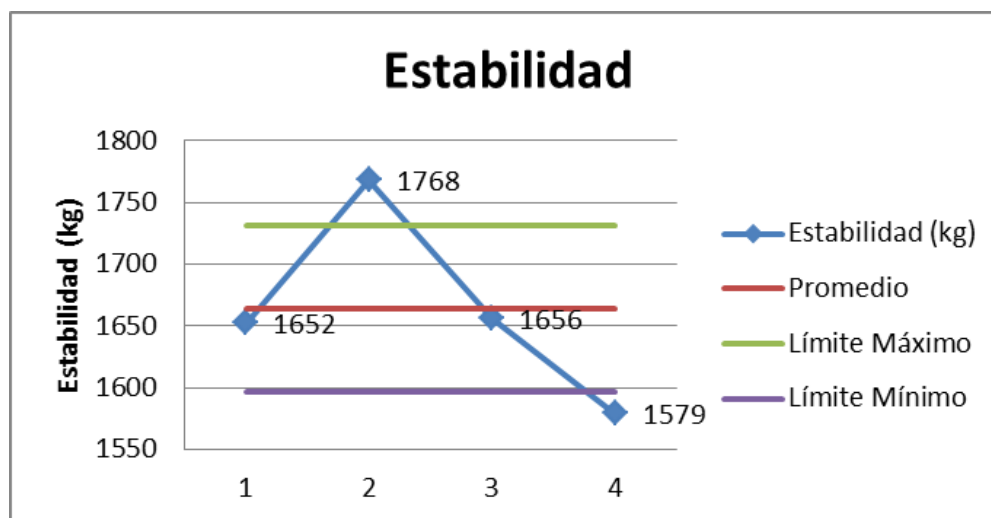


Ilustración 60: Gráfico de estabilidad, muestra #3570-14

Para la muestra #3570-14 se obtuvo una estabilidad promedio de 1664 kg y con un coeficiente de variación de 4.06. Mediante la gráfica se observa que el dato más disperso es de la pastilla #4 de 1579 kg, por lo que se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 142: Análisis de Estabilidad, muestra #3570-14

# Pastilla	Estabilidad (kg)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
1	1652	1692	1746	1638	54	3,18
2	1768	1692	1746	1638		
3	1656	1692	1746	1638		

Fuente: Propia

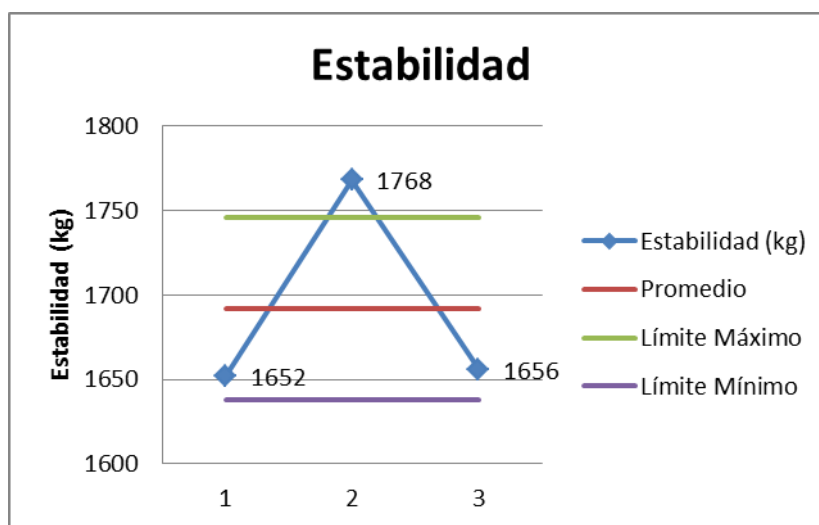


Ilustración 61: Gráfica de estabilidad, muestra #3570-12

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 4.06 a 3.18, disminuyendo el coeficiente de variación en un 21.7%. La estabilidad promedio final de la muestra #3570-14 es de 1692 kg.

4.2.7.5 Análisis del flujo plástico

Tabla 143: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-14

# Pastilla	Flujo Plástico (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
1	38,1	41,5	47,0	35,9	5,57	13,43
2	51,1	41,5	47,0	35,9		
3	37,8	41,5	47,0	35,9		
4	38,9	41,5	47,0	35,9		

Fuente: Propia

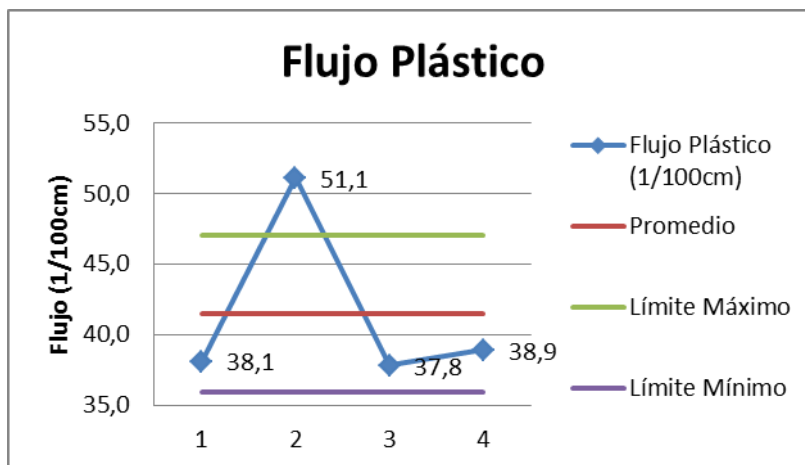


Ilustración 62: Gráfico del Flujo Plástico, muestra #3570-14

De la muestra #3570-14 se obtuvo un flujo plástico promedio de 41.5 (1/100cm) y un coeficiente de variación de 13.43. En la gráfica se observa que el dato más disperso es de la pastilla #2 el cual se elimina para disminuir el coeficiente de variación.

Tabla 144: Análisis del Flujo Plástico, muestra #3570-14

# Pastilla	Flujo Plástico (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
1	38,1	38,3	38,73	37,80	0,46	1,21
3	37,8	38,3	38,73	37,80		
4	38,9	38,3	38,73	37,80		

Fuente: Propia

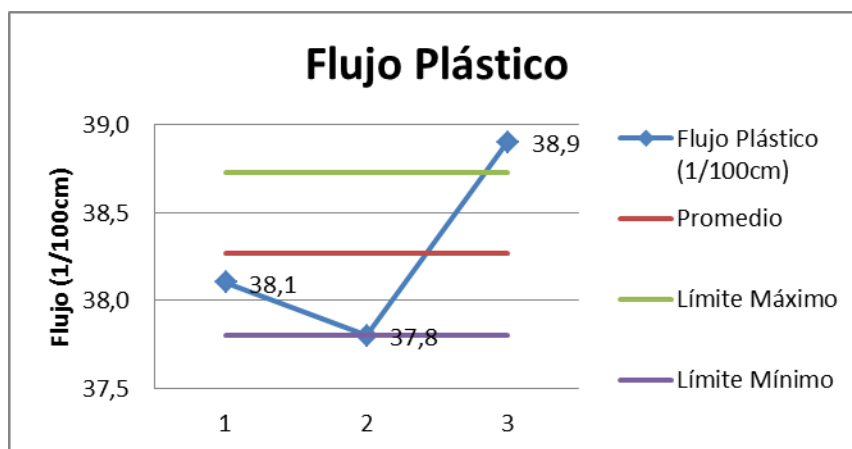


Ilustración 63: Gráfica del Flujo Plástico, muestra #3570-14

Mediante la eliminación del dato más disperso se logra bajar el coeficiente de variación de 13.43 a 1.21, disminuyendo el coeficiente de variación en un 91 %, el flujo plástico promedio final de la muestra #3570-14 es de 38.3 (1/100cm).

4.2.7.6 Porcentaje de asfalto sobre la muestra y sobre el agregado

Tabla 145: Porcentaje de Asfalto, muestra #3570-14

N° de muestra: <u>3570-14</u>		Fecha: 13/07/2017	
EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS			
CENIZA		Código Balanza: <u>BA-012</u>	
Masa del crisol (g):	<u>136,015</u>	Masa del crisol + ceniza (g):	<u>136,686</u>
G) Masa de ceniza (g):	<u>0,671</u>	V2) Volumen de la alícuota (ml):	<u>100</u>
V1) Volumen total del líquido (ml):	<u>860</u>	% Ceniza (100*(W4/W5))	<u>0,33</u>
W4) Masa del material mineral G*(V1/V2) (g):	<u>5,771</u>		
REFLUX		Código Balanza: <u>BA-020</u>	
C) Humedad de la mezcla (%):	<u>0,03</u>		
W1) Masa del espécimen de ensayo (g):	<u>1852,4</u>	Masa mezcla cono 1 (g):	<u>1076,7</u>
W2) Masa de Agua (C*W1/100) (g):	<u>0,6</u>	Masa mezcla cono 2 (g):	<u>775,7</u>
Masa de filtros (g):	<u>19,6</u>		
Masa agregado + filtros (g):	<u>1766,2</u>		
W3) Masa del agregado (g):	<u>1746,6</u>		
W5) Masa del agregado + Ceniza (W3+W4)	<u>1752,4</u>		
% de Asfalto sobre la mezcla $100*((w1-w2)-(w3+w4))/(w1-w2)$		<u>5,37</u>	%
% de Asfalto sobre el agregado $100*((w1-w2)-(w3+w4))/(w3+w4)$		<u>5,67</u>	%

Fuente: Propia

De la muestra #3570-14 se obtiene un porcentaje de asfalto sobre la mezcla de 5.37 % y un porcentaje de asfalto sobre el agregado de 5.67 %.

4.2.7.7 Graduación del agregado

Tabla 146: Graduación de Agregado, muestra #3570-14

Graduación de Agregado Extraído					
Código de la Balanza:		<u>BA-020</u>	N° muestra: <u>3570-14</u>		
W5) Masa seca inicial (W3+W4):		<u>1752,4</u>			
W6) Masa lavada seca:		<u>1661,6</u>			
# Malla	Malla (mm)	W7) Masa (g)	W8) % retenido $100*(w7/w5)$	W9) % retenido acumulado	% Pasando $100-W9$
					100
1/2"	12,7	126,7	7,2	7	93
3/8"	9,5	236,1	13,5	21	79
N° 4	4,75	584,8	33,4	54	46
N° 8	2	275,5	15,7	70	30
N° 16	1,18	170	9,7	79	21
N° 30	0,6	99,2	5,7	85	15
N° 50	0,3	73,8	4,2	89	11
N° 200	0,075	93,5	5,3	95	5,29
Charola		1,9	0,1	95	
W10) Suma total masa:		<u>1661,5</u>			
% de variación de masa $100*((w6-w10)/w5)$			<u>0,01</u>	(no debe ser mayor al 0,03%)	

Fuente: Propia

Se obtiene un porcentaje de variación de masa de 0.01 % menor al permitido de 0.03%.

4.2.8 Análisis de las muestras recalentadas en forma conjunta

La siguiente tabla contiene los resultados de los ensayos de cada muestra recalentada respectivamente.

Tabla 147: Promedios de los respectivos ensayos de las muestras recalentadas

# Muestra	Mx. Teórica	Gbs	% de Vacíos	Estabilidad (kg)	Flujo Plástico (1/100)	% Asfalto sobre la mezcla	% Asfalto sobre el agregado
3570-2	2,450	2,372	3,14	1767	44,2	5,19	5,46
3570-4	2,459	2,352	4,40	1971	43,3	5,29	5,57
3570-6	2,468	2,349	4,85	1761	38,1	5,18	5,46
3570-8	2,467	2,375	3,74	1816	45,9	5,26	5,56
3570-10	2,449	2,349	4,09	1793	41,2	5,26	5,55
3570-12	2,451	2,348	4,22	1702	41,7	5,38	5,68
3570-14	2,450	2,347	4,47	1692	38,3	5,37	5,68

Fuente: Propia

4.2.8.1 Gravedad específica máxima teórica de las muestras recalentadas

Tabla 148: Máxima Teórica de las muestras recalentadas

# Muestra	Mx. Teórica	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
3570-2	2,450	2,456	2,464	2,449	0,008	0,315
3570-4	2,459	2,456	2,464	2,449		
3570-6	2,468	2,456	2,464	2,449		
3570-8	2,467	2,456	2,464	2,449		
3570-10	2,449	2,456	2,464	2,449		
3570-12	2,451	2,456	2,464	2,449		
3570-14	2,450	2,456	2,464	2,449		

Fuente: Propia

De las muestras sin recalentar se obtiene una gravedad específica máxima teórica promedio de 2.456 con un coeficiente de variación de 0.315.

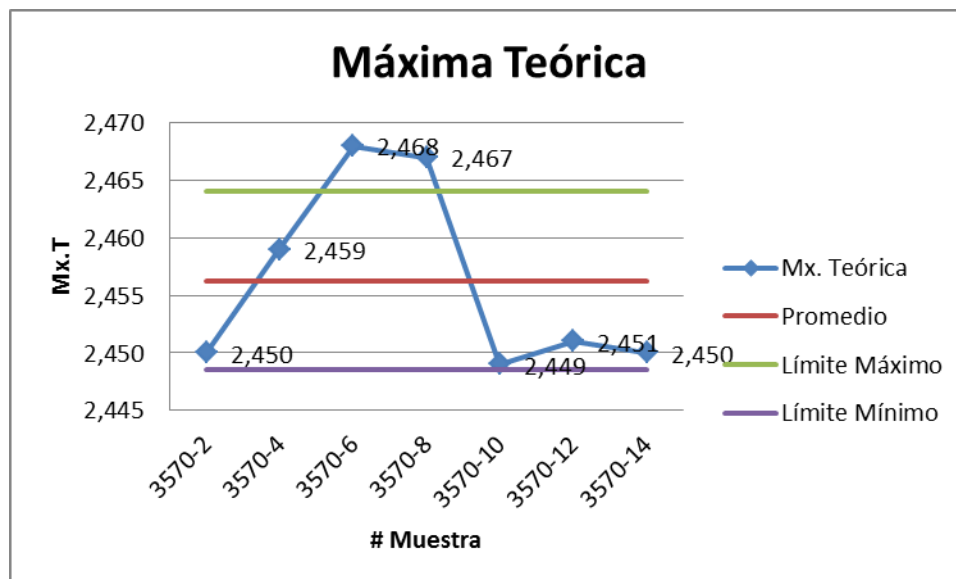


Ilustración 64: Gráfica de la Máxima Teórica de las muestras recalentadas

En la gráfica se puede ver una buena agrupación de los datos; solo las muestras #3570-6 y #3570-8 se salen de los límites máximos y mínimos.

4.2.8.2 Gravedad específica bruta de las muestras recalentadas

Tabla 149: Gravedad Específica Bruta de las muestras recalentadas

# Muestra	Gbs	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
3570-2	2,372	2,356	2,367	2,345	0,011	0,475
3570-4	2,352	2,356	2,367	2,345		
3570-6	2,349	2,356	2,367	2,345		
3570-8	2,375	2,356	2,367	2,345		
3570-10	2,349	2,356	2,367	2,345		
3570-12	2,348	2,356	2,367	2,345		
3570-14	2,347	2,356	2,367	2,345		

Fuente: Propia

De las muestras recalentadas se obtiene una gravedad específica bruta (Gbs) promedio de 2.356 con un coeficiente de variación de 0.475.

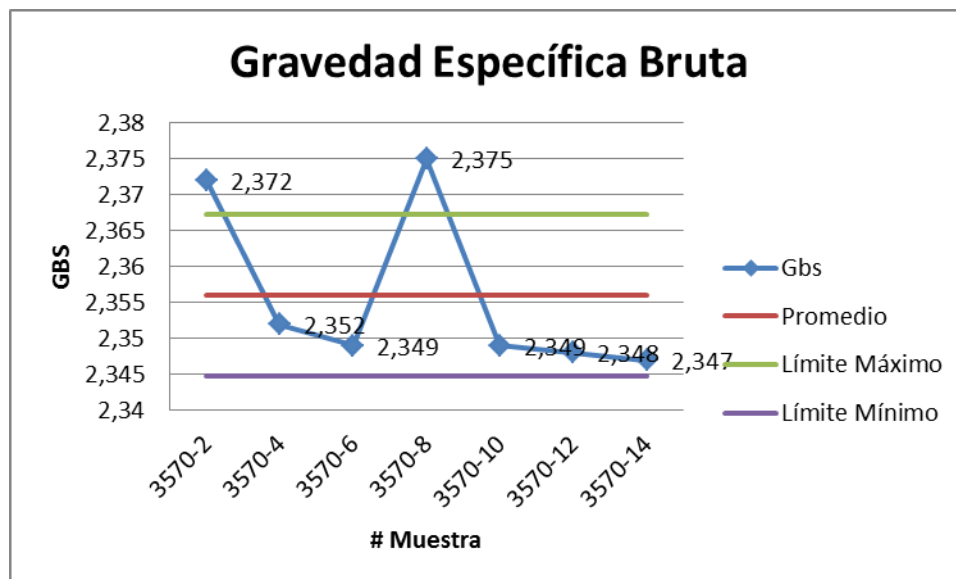


Ilustración 65: Gráfica de la Gravedad Específica Bruta de las muestras recalentadas

En la gráfica se puede ver que más del 70% de los datos se agrupan cerca del límite mínimo, los cuales están representados por un coeficiente de variación del 0.475; eso indica una muy buena agrupación.

4.2.8.3 Porcentaje de vacíos de las muestras sin recalentar

Tabla 150: Porcentaje de Vacíos de las muestras recalentadas

# Muestra	% de Vacíos	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
3570-2	3,14	4,13	4,64	3,62	0,514	12,444
3570-4	4,40	4,13	4,64	3,62		
3570-6	4,85	4,13	4,64	3,62		
3570-8	3,74	4,13	4,64	3,62		
3570-10	4,09	4,13	4,64	3,62		
3570-12	4,22	4,13	4,64	3,62		
3570-14	4,47	4,13	4,64	3,62		

Fuente: Propia

De las muestras sin recalentar se obtiene un porcentaje de vacíos de 4.13% con un coeficiente de variación de 12.444.

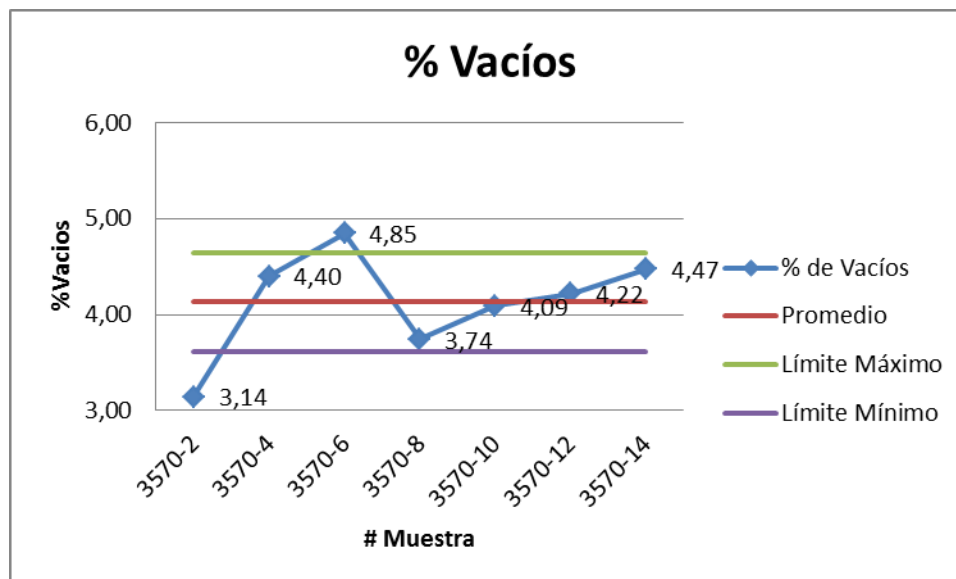


Ilustración 66: Gráfica del Porcentaje de Vacíos de las muestras recalentadas

En el gráfico se puede ver que los datos están entre el rango permitido para un diseño de 3% a 5% de vacíos; eso asegura que la mezcla va a presentar una buena resistencia a las cargas y no presentará problemas de exudación ni disminución de la durabilidad.

4.2.8.4 Estabilidad de las muestras recalentadas

Tabla 151: Estabilidad de las muestras recalentadas

# Muestra	Estabilidad	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
3570-2	1767	1786	1872	1700	86	4,83
3570-4	1971	1786	1872	1700		
3570-6	1761	1786	1872	1700		
3570-8	1816	1786	1872	1700		
3570-10	1793	1786	1872	1700		
3570-12	1702	1786	1872	1700		
3570-14	1692	1786	1872	1700		

Fuente: Propia

La estabilidad promedio de las muestras sin recalentar es de 1786 kg la cual sería la máxima resistencia de la pastilla para soportar cargas en el momento de falla.

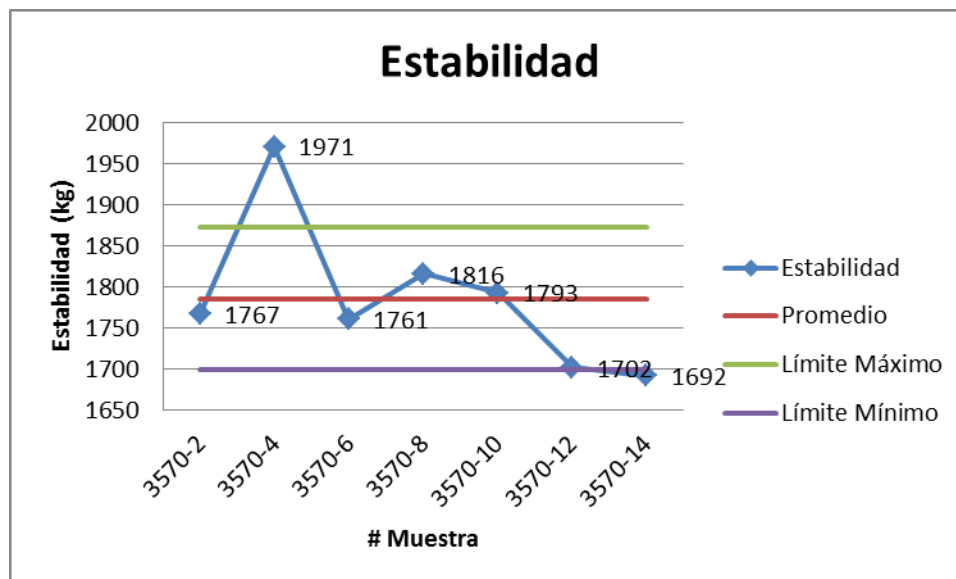


Ilustración 67: Grafica de la Estabilidad de las muestras recalentadas

En la gráfica se puede ver una gran variación de la estabilidad que presentan las respectivas muestras; eso genera un coeficiente de variación alto de 4.83 que evidencia una segregación de datos, la cual se puede disminuir con la eliminación de los datos más alejados de los límites máximos y mínimos.

¿Que pasará si se descartan 2 muestras las que se encuentren más alejadas de los límites con el fin de mejorar el coeficiente de variación? Las muestras 4 y 14 se salen de los límites, si se descartan mejoraría la homogeneidad de la muestras.

Tabla 152: Corrección de la estabilidad de las muestras recalentadas

# Muestra	Estabilidad	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
3570-2	1767	1768	1806	1729	38	2,17
3570-6	1761	1768	1806	1729		
3570-8	1816	1768	1806	1729		
3570-10	1793	1768	1806	1729		
3570-12	1702	1768	1806	1729		

Fuente: Propia

Con la eliminación de la muestra 4 y 14, el coeficiente de variación es de 2.17 baja en un 55% y el promedio de 1768.

4.2.8.5 Flujo plástico de las muestras recalentadas

Tabla 153: Flujo Plástico de las muestras recalentadas

# Muestra	Flujo Plástico (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
3570-2	44,2	41,8	44,5	39,1	2,703	6,463
3570-4	43,3	41,8	44,5	39,1		
3570-6	38,1	41,8	44,5	39,1		
3570-8	45,9	41,8	44,5	39,1		
3570-10	41,2	41,8	44,5	39,1		
3570-12	41,7	41,8	44,5	39,1		
3570-14	38,3	41,8	44,5	39,1		

Fuente: Propia

El flujo plástico promedio de las muestras sin recalentar es de 41.8 centésimas de centímetro, lo cual se sale del rango idóneo en Costa Rica, que va de 20 a 40 centésimas de centímetro.

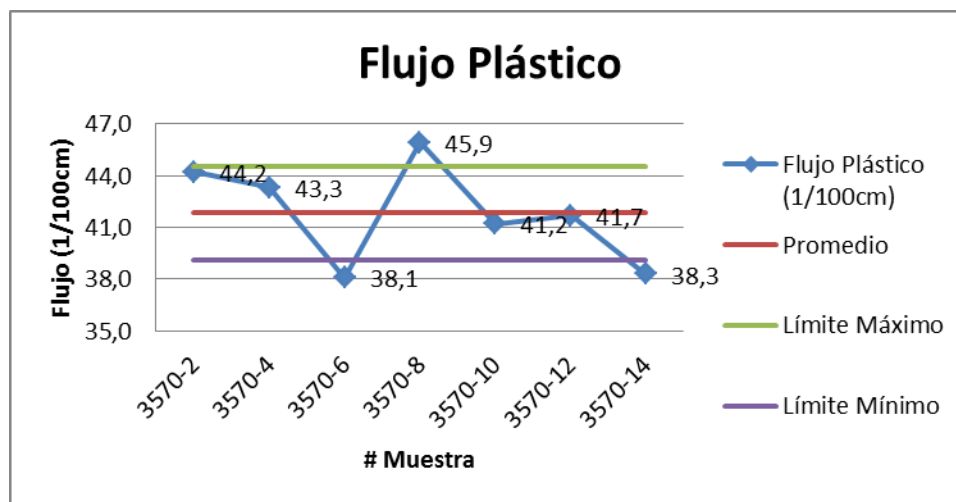


Ilustración 68: Grafica del Flujo Plástico de las muestras recalentadas

En la gráfica se puede apreciar que las muestras #3570-2 y #3570-8 se salen bastante del rango idóneo para el flujo plástico, las cuales se podrían sacar para tener una mejor agrupación de los datos y así bajar coeficiente de variación.

¿Qué pasará si se descartan 2 muestras las que se alejan más del rango establecido por CR-2010 de 20 a 40 (1/100cm) con el fin de mejorar el coeficiente de variación? Las muestras 2 y 8 se salen del rango, si se descartan mejoraría la homogeneidad de la muestras.

Tabla 154: Corrección del flujo plástico de las muestras recalentadas

# Muestra	Flujo Plastico (1/100cm)	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coeficiente de variación
3570-4	43,3	40,5	42,5	38,5	2,018	4,981
3570-6	38,1	40,5	42,5	38,5		
3570-10	41,2	40,5	42,5	38,5		
3570-12	41,7	40,5	42,5	38,5		
3570-14	38,3	40,5	42,5	38,5		

Fuente: Propia

Con la eliminación de las muestras 2 y 8 el coeficiente de variación de 4.981 disminuye un 23% y el promedio de 40.5; queda más cerca del límite máximo del rango permitido por el CR-2010 para los diseños de mezclas asfálticas en nuestro país.

4.2.8.6 Porcentaje de asfalto sobre la mezcla de las muestras recalentadas

Tabla 155: Porcentaje de Asfalto sobre la Mezcla de las Muestras Recalentadas

# Muestra	% Asfalto sobre la mezcla	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coeficiente de variación
3570-2	5,19	5,28	5,35	5,20	0,073	1,378
3570-4	5,29	5,28	5,35	5,20		
3570-6	5,18	5,28	5,35	5,20		
3570-8	5,26	5,28	5,35	5,20		
3570-10	5,26	5,28	5,35	5,20		
3570-12	5,38	5,28	5,35	5,20		
3570-14	5,37	5,28	5,35	5,20		

Fuente: Propia

El porcentaje promedio de asfalto sobre la mezcla de las muestras sin recalentar es de 5.28%, con un coeficiente de variación de 1.378.

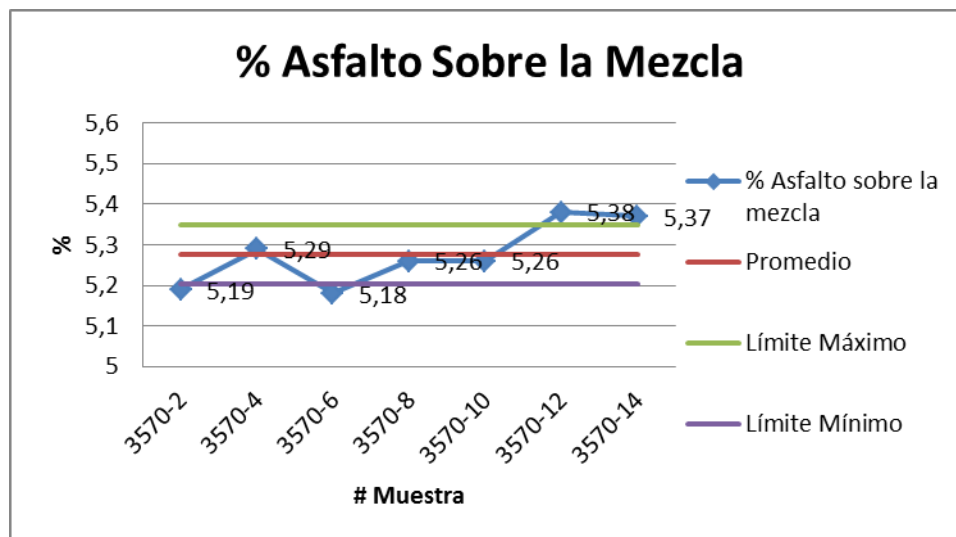


Ilustración 69: Gráfica del Porcentaje de Asfalto sobre el Mezcla de las muestras recalentadas

¿Qué pasará si se descartan 2 muestras las que se encuentren más alejadas de los límites con el fin de mejorar el coeficiente de variación? Las muestras 12 y 14 se salen del límite máximo, si se descartan mejoraría la homogeneidad.

Tabla 156: Corrección del % asfalto sobre la mezcla de las muestras recalentadas

# Muestra	% Asfalto sobre la mezcla	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
3570-2	5,19	5,24	5,28	5,19	0,043	0,825
3570-4	5,29	5,24	5,28	5,19		
3570-6	5,18	5,24	5,28	5,19		
3570-8	5,26	5,24	5,28	5,19		
3570-10	5,26	5,24	5,28	5,19		

Fuente: Propia

Con la eliminación de las muestras 12 y 14 el coeficiente de variación es de 0.825 disminuye un 40% y el promedio de 5.24% de contenido de asfalto sobre la mezcla.

4.2.8.7 Porcentaje de asfalto sobre el agregado de las muestras recalentadas

Tabla 157: Porcentaje de Asfalto sobre el Agregado de las muestras recalentadas

# Muestra	% Asfalto sobre el agregado	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
3570-2	5,46	5,57	5,65	5,48	0,083	1,500
3570-4	5,57	5,57	5,65	5,48		
3570-6	5,46	5,57	5,65	5,48		
3570-8	5,56	5,57	5,65	5,48		
3570-10	5,55	5,57	5,65	5,48		
3570-12	5,68	5,57	5,65	5,48		
3570-14	5,68	5,57	5,65	5,48		

Fuente: Propia

El porcentaje promedio de asfalto sobre el agregado de las muestras sin recalentar es de 5.57%, con un coeficiente de variación de 1.500.

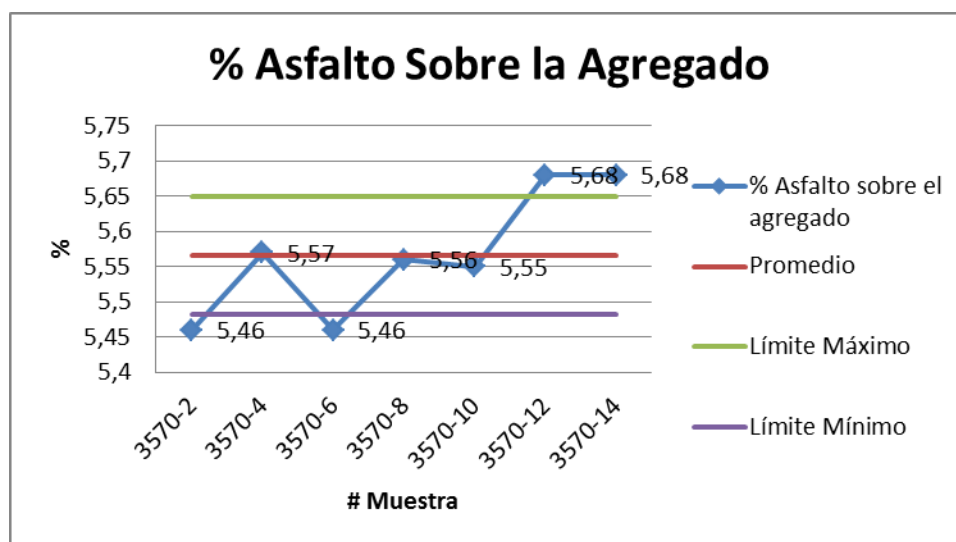


Ilustración 70: Grafica del Porcentaje de Asfalto sobre el Agregado de las muestras recalentadas

¿Qué pasará si se descartan 2 muestras, las que se encuentren más alejadas de los límites con el fin de mejorar el coeficiente de variación? Las muestras 12 y 14 se salen de los límites, si se descartan mejoraría la homogeneidad de estas.

Tabla 158: Corrección del % asfalto sobre el agregado de las muestras recalentadas

# Muestra	% Asfalto sobre el agregado	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo	Desviación Estándar	Coficiente de variación
3570-2	5,46	5,52	5,57	5,47	0,049	0,895
3570-4	5,57	5,52	5,57	5,47		
3570-6	5,46	5,52	5,57	5,47		
3570-8	5,56	5,52	5,57	5,47		
3570-10	5,55	5,52	5,57	5,47		

Fuente: Propia

Con la eliminación de las muestras 12 y 14 el coeficiente de variación es de 0.895 disminuye un 40% y el promedio de 5.52% de contenido de asfalto sobre el agregado.

4.2.8.8 Graduación de los agregados de las muestras recalentadas

Para efectos de esta investigación se utilizó el tamaño de partícula máximo de 12.5 milímetros, estipulado por CR-2010; para capas de ruedo deberán ser menores o iguales un tamaño máximo nominal de 19 mm, de lo contrario, se utilizarán para bases o sub-bases. Ver la Tabla 2, Rangos y tolerancia para los agregados para mezclas con un tamaño máximo nominal de 12.5mm.

Tabla 159: Porcentaje pasando de la graduación de agregados de las mezclas recalentadas

# Muestra	% Pasando							Promedio	Rango Especificado	Tolerancia
	3570-2	3570-4	3570-6	3570-8	3570-10	3570-12	3570-14			
# Malla										
3/4"(19mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	±5
1/2"(12,7mm)	96	92	95	94	94	95	93	94	90 a 100	±5
3/8"(9,5mm)	82	79	81	81	78	79	79	80	70 a 90	±4
N° 4(4,75mm)	50	47	47	47	48	47	46	48	45 a 65	±4
N° 8(2mm)	33	31	31	30	32	31	30	31	28 a 39	±4
N° 16(1,18mm)	22	21	21	21	22	21	21	21	16 a 26	±4
N° 30(0,6mm)	17	16	16	16	16	16	15	16	9 a 16	±4
N° 50(0,3mm)	12	11	11	12	11	11	11	11	5 a 16	±4
N° 200(0,075mm)	6,03	5,67	5,85	6,31	5,78	5,48	5,29	5,77	2 a 8	±2

Fuente: Propia

El porcentaje pasando de los agregados de cada malla cumplen con los rangos y tolerancias especificadas por el CR-2010, tanto para cada muestra en individual como para el promedio por malla de las siete muestras sin recalentar.

4.3 Análisis de las mezclas en condición sin recalentar y recalentadas

El análisis se realizará mediante el resultado de los promedios finales de cada ensayo y una validación de los datos mediante la prueba F.

4.3.1 Análisis de la muestras sin recalentar y recalentadas mediante los promedios finales de los ensayos

En las siguientes tablas se obtendrán los promedios respectivos para las dos condiciones de análisis, las muestras recalentadas y sin recalentar:

Tabla 160: Promedios de los ensayos de las muestras sin recalentar

# Muestra	Máxima Teórica	Gbs	% de Vacíos	Estabilidad (kg)	Flujo Plastico (1/100cm)	% Asfalto sobre la mezcla	% Asfalto sobre el agregado
3570-1	2,468	2,364	4,10	2001	38,7	5,45	5,75
3570-3	2,461	2,359	4,20	1840	33,7	5,00	5,20
3570-5	2,457	2,365	3,70	1905	46,9	5,55	5,88
3570-7	2,465	2,349	4,60	1961	43,8	4,91	5,15
3570-9	2,466	2,350	4,70	1833	54,2	5,09	5,36
3570-11	2,452	2,361	3,71	1678	36,2	5,20	5,49
3570-13	2,460	2,352	4,41	1606	38,5	5,45	5,76
Promedios	2,461	2,357	4,20	1832	41,7	5,24	5,51

Fuente: Propia

Tabla 161: Promedios de los ensayos de las muestras recalentadas

# Muestra	Máxima Teórica	Gbs	% de Vacíos	Estabilidad (kg)	Flujo Plástico (1/100cm)	% Asfalto sobre la mezcla	% Asfalto sobre el agregado
3570-2	2,450	2,372	3,14	1767	44,2	5,19	5,46
3570-4	2,459	2,352	4,40	1971	43,3	5,29	5,57
3570-6	2,468	2,349	4,85	1761	38,1	5,18	5,46
3570-8	2,467	2,375	3,74	1816	45,9	5,26	5,56
3570-10	2,449	2,349	4,09	1793	41,2	5,26	5,55
3570-12	2,451	2,348	4,22	1702	41,7	5,38	5,68
3570-14	2,450	2,347	4,47	1692	38,3	5,37	5,68
Promedios	2,456	2,356	4,13	1786	41,8	5,28	5,57

Fuente: Propia

Tabla 162: Comparación de los promedios de los ensayos de las muestras sin recalentar y recalentadas

Promedios de los resultados de los ensayos para la mezclas no recalentadas y recalentadas							
Condición de Muestra	Mx.Teórica	Gbs	% de Vacíos	Estabilidad (kg)	Flujo Plástico (1/100)	% Asfalto sobre la mezcla	% Asfalto sobre el agregado
No Recalentadas	2,461	2,357	4,20	1832	41,7	5,24	5,51
Recalentadas	2,456	2,356	4,13	1786	41,8	5,28	5,57

Fuente: Propia

Mediante esta tabla se puede ver que el promedio del resultado de los ensayos de las siete muestras en condiciones normales, sin recalentar, son muy parecidos con respecto a los promedios de las siete muestras recalentadas. En la máxima teórica se da una diferencia de 0.004 entre el resultado de las dos condiciones, siendo 0.004 mayor el resultado de las muestras sin recalentar sobre las muestras recalentadas. En Gbs se da una diferencia de 0.001 entre el resultado de las dos condiciones, siendo 0.001 mayor el resultado de las muestras sin recalentar sobre las muestras recalentadas. En el % de vacíos se da una diferencia de 0.07 entre el resultado de las dos condiciones, siendo 0.07 mayor el resultado de las muestras sin recalentar sobre las muestras recalentadas. Los dos resultados están dentro del rango establecido por el CR-2010 de 3 a 5% para el % de vacíos; en la estabilidad se da una diferencia de 46 kg entre el resultado de las dos condiciones, siendo 46 kg mayor el resultado de las muestras sin recalentar sobre la muestras recalentadas. En el flujo plástico se da una diferencia de 0.1 (1/100cm) entre el resultado de las dos

condiciones, siendo 0.1(1/100cm) menor el resultado de las muestras sin recalentar sobre las muestras recalentadas. En % de asfalto sobre la mezcla se da una diferencia de 0.04 entre el resultado de las dos condiciones, siendo 0.04 menor el resultado de las muestras sin recalentar sobre las muestras recalentadas. En el % de asfalto sobre el agregado se da una diferencia de 0.06 entre el resultado de las dos condiciones, siendo 0.06 menor el resultado de las muestras sin recalentar sobre las muestras recalentadas.

En las siguientes tablas se analizarán los coeficientes de variación respectivos para las dos condiciones de análisis, las muestras recalentadas y sin recalentar:

Tabla 163: Coeficiente de variación de las muestras sin recalentar y recalentadas

Comparación del coeficiente de variación (%)							
# Muestra	Mx.Teórica	Gbs	% de Vacíos	Estabilidad (kg)	Flujo Plástico (1/100)	% Asfalto sobre la mezcla	% Asfalto sobre el agregado
Sin Recalentar	0,210	0,264	8,8	7,3	15,7	4,4	4,9
Recalentadas	0,315	0,475	12,4	4,8	6,5	1,4	1,5

Fuente: Propia

Los coeficientes de variación para los ensayos de máxima teórica y Gbs son muy bajos lo que nos indica que se obtuvieron resultados muy homogéneos. Para los demás ensayos tiende a subir y se aprecia que los datos obtenidos de las muestras sin recalentar son más heterogéneas que los datos de las muestras recalentadas para los ensayos de estabilidad, porcentaje de vacíos y del porcentaje de asfalto sobre la mezcla y sobre los agregados.

A continuación se analizarán los promedios de los porcentajes (%) pasando de las respectivas mallas en la graduación de los agregados. Ello, tomando los datos analizados en la Tabla 83 y Tabla 159 donde se obtuvo el promedio del porcentaje (%) pasando de cada malla para las muestras sin recalentar y las muestras recalentadas.

Tabla 164: Comparación de los % Pasando en las mallas para las muestras recalentadas y sin recalentar

Malla	Rango Especificado, CR-2010	Tolerancia	Promedio, muestras sin recalentar	Promedio, muestras recalentadas
3/4"(19mm)	100	±5	100	100
1/2"(12,7mm)	90 a 100	±5	93	94
3/8"(9,5mm)	70 a 90	±4	78	80
N° 4(4,75mm)	45 a 65	±4	47	48
N° 8(2mm)	28 a 39	±4	31	31
N° 16(1,18mm)	16 a 26	±4	21	21
N° 30(0,6mm)	9 a 16	±4	16	16
N° 50(0,3mm)	5 a 16	±4	11	11
N° 200(0,075mm)	2 a 8	±2	5,64	5,77

Fuente: Propia

En la anterior tabla se puede ver que los porcentajes (%) pasando por malla de las muestras sin recalentar y las muestras recalentadas cumplen con los rangos y tolerancias establecidos por el CR-2010; se presenta una variación mínima en las mallas 1/2", 3/8", N°4 y N°200, en las mallas N°8, N°16, N°50. Se obtienen resultados iguales.

4.3.2 Prueba F para varianza de dos muestras

Para la realización de la prueba F se estableció un valor de significancia de 0.05 para los diferentes ensayos por analizar. Se toman como variable 1 las muestras con la varianza mayor y como variable 2 las muestras con la varianza menor como lo indica la literatura.

Para todos los casos se estableció la misma hipótesis:

Hipótesis nula: $H_0 = S_1^2 = S_2^2$, las varianzas de la variable 1 es igual a la varianza de la variable 2.

Hipótesis alternativa: $H_1 = S_1^2 \neq S_2^2$, las varianzas de la variable 1 es diferente a la varianza de la variable 2.

El valor crítico para F se obtuvo de la tabla 5, mediante los grados de libertad de las diferentes variables. Para la variable 1 se tiene un grado de libertad de 6 y

para la variable 2 se tiene un grado de libertad de 6, pues en cada variable se tienen 7 observaciones ($k-1=7-1=6$); se obtiene un valor crítico para F de 4.28.

Tabla 165: Resumen de datos para la prueba F

Número de observaciones: $k=7$		
Hipótesis		
H0=	$S1^2=S2^2$	
H1=	$S1^2 \neq S2^2$	
Grados de libertad de las variables		
Variable1:	$k-1$	6
Variable2:	$k-1$	6
Valor crítico de F		4,28

Fuente: Propia OJO:

4.3.2.1 Prueba F para varianza de dos muestras de la gravedad específica máxima teórica

Tabla 166: Prueba F para la máxima teórica

Prueba F para varianzas de dos muestras, Máxima Teórica		
	V1= Recalentadas	V2= Sin recalentar
Media	2,456	2,461
Varianza	0,0000699	0,0000312
Observaciones	7	7
Grados de libertad	6	6
F	2,24	
P(F<=f) una cola	0,17	
Valor crítico para F (una cola)	4,28	

Fuente: Propia

El valor obtenido de F es de 2.24 menor que el valor crítico para F de 4.28 porque la hipótesis de que las varianzas de las muestras recalentadas y las no recalentadas son iguales es válida, con una probabilidad de que F sea menor e igual que el valor crítico del 17% para los resultados de los ensayos de la gravedad específica máxima teórica.

4.3.2.2 Prueba F para varianza de dos muestras para la gravedad específica bruta

Tabla 167: Prueba F para la gravedad específica bruta

Prueba F para varianzas de dos muestras, Gbs		
	V1= Recalentadas	V2= Sin recalentar
Media	2,356	2,357
Varianza	0,0001460	0,0000451
Observaciones	7	7
Grados de libertad	6	6
F	3,23	
P(F<=f) una cola	0,09	
Valor crítico para F (una cola)	4,28	

Fuente: Propia

El valor obtenido de F es de 3.23 menor que el valor crítico para F de 4.28 porque la hipótesis de que las varianzas de las muestras recalentadas y las no recalentadas son iguales es válida, con una probabilidad de que F sea menor e igual que el valor crítico del 9% para los resultados de los ensayos de la gravedad específica bruta.

4.3.2.3 Prueba F para la varianza de dos muestras del % de vacíos

Tabla 168: Prueba F para el % de vacíos

Prueba F para varianzas de dos muestras, % de Vacíos		
	V1= Recalentadas	V2= Sin recalentar
Media	4,13	4,20
Varianza	0,3081	0,1590
Observaciones	7	7
Grados de libertad	6	6
F	1,94	
P(F<=f) una cola	0,22	
Valor crítico para F (una cola)	4,28	

Fuente: Propia

El valor obtenido de F es de 1.94 menor que el valor crítico para F de 4.28 porque la hipótesis de que las varianzas de las muestras recalentadas y las no recalentadas

son iguales es válida, con una probabilidad de que F sea menor e igual que el valor crítico del 22% para los resultados de los ensayos del % de vacíos.

4.3.2.4 Prueba F para la varianza de dos muestras de la estabilidad

Tabla 169: Prueba F para la estabilidad

Prueba F para varianzas de dos muestras, Estabilidad		
	$V1= Sin Recalentar$	$V2= Recalentadas$
Media	1832	1786
Varianza	20898	8675
Observaciones	7	7
Grados de libertad	6	6
F	2,41	
$P(F \leq f)$ una cola	0,15	
Valor crítico para F (una cola)	4,28	

Fuente: Propia

El valor obtenido de F es de 2.41 menor que el valor crítico para F de 4.28 porque la hipótesis de que las varianzas de las muestras recalentadas y las no recalentadas son iguales es válida, con una probabilidad de que F sea menor e igual que el valor crítico del 15% para los resultados de los ensayos de estabilidad.

4.3.2.5 Prueba F para la varianza de dos muestras del flujo plástico

Tabla 170: Prueba F para el flujo plástico

Prueba F para varianzas de dos muestras, Flujo Plástico (1/100cm)		
	$V1= Sin Recalentar$	$V2= Recalentadas$
Media	41,7	41,8
Varianza	50,2	8,5
Observaciones	7	7
Grados de libertad	6	6
F	5,89	
$P(F \leq f)$ una cola	0,02	
Valor crítico para F (una cola)	4,28	

Fuente: Propia

El valor obtenido de F es de 5.89 mayor que el valor crítico para F de 4.28 porque lo que la hipótesis de que las varianzas de las muestras recalentadas y las no recalentadas son iguales no es válida, con una probabilidad de que F sea menor e igual que el valor crítico del 2% para los resultados de los ensayos de flujo plástico.

Si se utilizan los datos de la tabla 77 y la tabla 154 en las cuales se descartaron los datos que se encontraban más lejos del rango ¿se cumplirá la hipótesis nula?

Para este cálculo se tienen 5 observaciones para las dos variables y 4 grados de libertad.

Tabla 171: Prueba F para el flujo plástico con las muestras corregidas

Prueba F para varianzas de dos muestras, Flujo Plástico (1/100cm)		
	V1= Sin Recalentar	V2= Recalentadas
Media	38,2	40,5
Varianza	14,0	5,1
Observaciones	5	5
Grados de libertad	4	4
F	2,75	
P(F<=f) una cola	0,18	
Valor crítico para F (una cola)	6,39	

Fuente: Propia

El valor obtenido de F es de 2.75 menor que el valor crítico para F de 6.39 por lo que la hipótesis de que las varianzas de las muestras recalentadas y las no recalentadas son iguales es válida, con una probabilidad de que F sea menor e igual que el valor crítico del 18% para los resultados de los ensayos de flujo plástico.

4.3.2.6 Prueba F para la varianza de dos muestras del % asfalto sobre la mezcla

Tabla 172: Prueba F para el % asfalto sobre la mezcla

Prueba F para varianzas de dos muestras, % Asfalto sobre la mezcla		
	V1= Sin Recalentar	V2= Recalentadas
Media	5,24	5,28
Varianza	0,0625	0,0062
Observaciones	7	7
Grados de libertad	6	6
F	10,14	
P(F<=f) una cola	0,01	
Valor crítico para F (una cola)	4,28	

Fuente: Propia

El valor obtenido de F es de 10.14 mayor que el valor crítico para F de 4.28 por lo que la hipótesis de que las varianzas de las muestras recalentadas y las no recalentadas son iguales no es válida; con una probabilidad de que F sea menor e igual que el valor crítico del 1% para los resultados de los ensayos del % asfalto sobre la mezcla.

Si se utilizan los datos de la tabla 79 y la tabla 156 en las que se descartaron los datos que se encontraban más lejos de los límites ¿se cumplirá la hipótesis nula?

Para este cálculo se tienen 5 observaciones para las dos variables y 4 grados de libertad.

Tabla 173: Prueba F para el % asfalto sobre la mezcla con muestras corregidas

Prueba F para varianzas de dos muestras, % Asfalto sobre la mezcla		
	V1= Sin Recalentar	V2= Recalentadas
Media	5,24	5,24
Varianza	0,0425	0,0023
Observaciones	5	5
Grados de libertad	4	4
F	18,23	
P(F<=f) una cola	0,01	
Valor crítico para F (una cola)	6,39	

Fuente: Propia

El valor obtenido de F es de 18.23 mayor que el valor crítico para F de 6.39 por lo que la hipótesis de que las varianzas de las muestras recalentadas y las no recalentadas son iguales no es válida; con una probabilidad de que F sea menor e igual que el valor crítico del 1% para los resultados de los ensayos del % asfalto sobre la mezcla.

Se evidencia que las varianzas de las muestras recalentadas y sin recalentar son diferentes, debido a la heterogeneidad de los datos de las muestras sin recalentar.

4.3.2.7 Prueba F para varianza de dos muestras del % asfalto sobre los agregados

Tabla 174: Prueba F del % asfalto sobre el agregado

Prueba F para varianzas de dos muestras, % Asfalto sobre el agregado		
	V1= Sin Recalentar	V2= Recalentadas
Media	5,51	5,57
Varianza	0,0843	0,0081
Observaciones	7	7
Grados de libertad	6	6
F	10,37	
P(F<=f) una cola	0,01	
Valor crítico para F (una cola)	4,28	

Fuente: Propia

El valor obtenido de F es de 10.37 mayor que el valor crítico para F de 4.28 por lo que la hipótesis de que las varianzas de las muestras recalentadas y las no recalentadas son iguales no es válida; con una probabilidad de que F sea menor e igual que el valor crítico es del 1% para los resultados de los ensayos del % asfalto sobre el agregado.

Si se utilizan los datos de la tabla 81 y la tabla 158 en las que se descartaron los datos que se encontraban más lejos de los límites ¿se cumplirá la hipótesis nula?

Para este cálculo se tienen 5 observaciones para las dos variables y 4 grados de libertad.

Tabla 175: Prueba F del % asfalto sobre el agregado de las muestras corregidas

Prueba F para varianzas de dos muestras, % Asfalto sobre el agregado		
	<i>V1= Sin Recalentar</i>	<i>V2= Recalentadas</i>
Media	5,51	5,52
Varianza	0,0598	0,0031
Observaciones	5	5
Grados de libertad	4	4
F	19,60	
P(F<=f) una cola	0,01	
Valor crítico para F (una cola)	6,39	

Fuente: Propia

El valor obtenido de F es de 19.60 mayor que el valor crítico para F de 6.39 por lo que la hipótesis de que las varianzas de las muestras recalentadas y las no recalentadas son iguales no es válida; con una probabilidad de que F sea menor e igual que el valor crítico del 1% para los resultados de los ensayos del % asfalto sobre el agregado.

Se evidencia que las varianzas de las muestras recalentadas y sin recalentar son diferentes, debido a la heterogeneidad de los datos de las muestras sin recalentar.

4.3.2.8 Prueba F para la graduación de los agregados de las muestras

Para el análisis de la graduación de los agregados mediante la prueba F se realizará con el porcentaje (%) pasando de cada malla de las muestras recalentadas y sin recalentar, con las siguientes tablas.

Tabla 176: Resumen del % pasando de las muestras sin recalentar

% Pasando de las muestras sin recalentar								
# Malla	# Muestra							Promedio
	3570-1	3570-3	3570-5	3570-7	3570-9	3570-11	3570-13	
3/4"(19mm)	100	100	100	100	100	100	100	100
1/2"(12,7mm)	95	91	93	92	94	94	93	93
3/8"(9,5mm)	84	76	77	79	80	76	76	78
N° 4(4,75mm)	50	46	43	47	50	47	46	47
N° 8(2mm)	33	30	29	31	33	32	30	31
N° 16(1,18mm)	22	21	20	21	22	22	20	21
N° 30(0,6mm)	16	15	14	16	17	16	15	16
N° 50(0,3mm)	12	11	10	12	12	11	11	11
N° 200(0,075mm)	5,72	5,37	4,85	6,48	6,12	5,64	5,33	5,64

Fuente: Propia

Tabla 177: Resumen del % pasando de las muestras recalentadas

% Pasando de las muestras recalentadas								
# Malla	# Muestra							Promedio
	3570-2	3570-4	3570-6	3570-8	3570-10	3570-12	3570-14	
3/4"(19mm)	100	100	100	100	100	100	100	100
1/2"(12,7mm)	96	92	95	94	94	95	93	94
3/8"(9,5mm)	82	79	81	81	78	79	79	80
N° 4(4,75mm)	50	47	47	47	48	47	46	48
N° 8(2mm)	33	31	31	30	32	31	30	31
N° 16(1,18mm)	22	21	21	21	22	21	21	21
N° 30(0,6mm)	17	16	16	16	16	16	15	16
N° 50(0,3mm)	12	11	11	12	11	11	11	11
N° 200(0,075mm)	6,03	5,67	5,85	6,31	5,78	5,48	5,29	5,77

Fuente: Propia

Tabla 178: Prueba F para varianzas de dos muestras del % pasando de la malla de 12,7 mm

Prueba F para varianzas de dos muestras del % pasando de la malla de 12,7 mm		
	<i>V1= Sin Recalentar</i>	<i>V2= Recalentadas</i>
Media	93	94
Varianza	2,12	1,86
Observaciones	7	7
Grados de libertad	6	6
F	1,14	
P(F<=f) una cola	0,44	
Valor crítico para F (una cola)	4,28	

Fuente: Propia

El valor obtenido de F es de 1.14 menor que el valor crítico para F de 4.28 por lo que la hipótesis de que las varianzas de las muestras recalentadas y las no recalentadas son iguales es válida; con una probabilidad de que F sea menor e igual que el valor crítico del 44% para los % pasando de la malla de 12.7mm.

Tabla 179: Prueba F para varianzas de dos muestras del % pasando de la malla de 9,5 mm

Prueba F para varianzas de dos muestras del % pasando de la malla de 9,5 mm		
	<i>V1= Sin Recalentar</i>	<i>V2= Recalentadas</i>
Media	78	80
Varianza	8,30	3,08
Observaciones	7	7
Grados de libertad	6	6
F	2,69	
P(F<=f) una cola	0,13	
Valor crítico para F (una cola)	4,28	

Fuente: Propia

El valor obtenido de F es de 2.69 menor que el valor crítico para F de 4.28 por lo que la hipótesis de que las varianzas de las muestras recalentadas y las no recalentadas son iguales es válida; con una probabilidad de que F sea menor e igual que el valor crítico del 13% para los % pasando de la malla de 9.5mm.

Tabla 180: Prueba F para varianzas de dos muestras del % pasando de la malla N° 4

Prueba F para varianzas de dos muestras del % pasando de la malla N° 4		
	<i>V1= Sin Recalentar</i>	<i>V2= Recalentadas</i>
Media	47	48
Varianza	5,95	2,08
Observaciones	7	7
Grados de libertad	6	6
F	2,86	
P(F<=f) una cola	0,11	
Valor crítico para F (una cola)	4,28	

Fuente: Propia

El valor obtenido de F es de 2.86 menor que el valor crítico para F de 4.28 por lo que la hipótesis de que las varianzas de las muestras recalentadas y las no recalentadas son iguales es válida; con una probabilidad de que F sea menor e igual que el valor crítico del 11% para los % pasando de la malla de N°4.

Tabla 181: Prueba F para varianzas de dos muestras del % pasando de la malla N°8

Prueba F para varianzas de dos muestras del % pasando de la malla N°8		
	<i>V1= Sin Recalentar</i>	<i>V2= Recalentadas</i>
Media	31	31
Varianza	2,45	0,89
Observaciones	7	7
Grados de libertad	6	6
F	2,74	
P(F<=f) una cola	0,12	
Valor crítico para F (una cola)	4,28	

Fuente: Propia

El valor obtenido de F es de 2.74 menor que el valor crítico para F de 4.28 por lo que la hipótesis de que las varianzas de las muestras recalentadas y las no recalentadas son iguales es válida; con una probabilidad de que F sea menor e igual que el valor crítico del 12% para los % pasando de la malla de N°8.

Tabla 182: Prueba F para varianzas de dos muestras del % pasando de la malla N°16

Prueba F para varianzas de dos muestras del % pasando de la malla N°16		
	<i>V1= Sin Recalentar</i>	<i>V2= Recalentadas</i>
Media	21	21
Varianza	1,25	0,38
Observaciones	7	7
Grados de libertad	6	6
F	3,34	
P(F<=f) una cola	0,08	
Valor crítico para F (una cola)	4,28	

Fuente: Propia

El valor obtenido de F es de 3.34 menor que el valor crítico para F de 4.28 por lo que la hipótesis de que las varianzas de las muestras recalentadas y las no recalentadas son iguales es válida; con una probabilidad de que F sea menor e igual que el valor crítico del 8% para los % pasando de la malla de N°16.

Tabla 183: Prueba F para varianzas de dos muestras del % pasando de la malla N°30

Prueba F para varianzas de dos muestras del % pasando de la malla N°30		
	<i>V1= Sin Recalentar</i>	<i>V2= Recalentadas</i>
Media	16	16
Varianza	0,60	0,26
Observaciones	7	7
Grados de libertad	6	6
F	2,31	
P(F<=f) una cola	0,17	
Valor crítico para F (una cola)	4,28	

Fuente: Propia

El valor obtenido de F es de 2.31 menor que el valor crítico para F de 4.28 por lo que la hipótesis de que las varianzas de las muestras recalentadas y las no recalentadas son iguales es válida; con una probabilidad de que F sea menor e igual que el valor crítico del 17% para los % pasando de la malla de N°30.

Tabla 184: Prueba F para varianzas de dos muestras de % pasando de la malla N°50

Prueba F para varianzas de dos muestras de % pasando de la malla N°50		
	<i>V1= Sin Recalentar</i>	<i>V2= Recalentadas</i>
Media	11	11
Varianza	0,37	0,19
Observaciones	7	7
Grados de libertad	6	6
F	1,90	
P(F<=f) una cola	0,23	
Valor crítico para F (una cola)	4,28	

Fuente: Propia

El valor obtenido de F es de 1.90 menor que el valor crítico para F de 4.28 por lo que la hipótesis de que las varianzas de las muestras recalentadas y las no recalentadas son iguales es válida; con una probabilidad de que F sea menor e igual que el valor crítico del 23% para los porcentajes (%) pasando de la malla de N°50.

Tabla 185: Prueba F para varianzas de dos muestras del % pasando de la malla N°200

Prueba F para varianzas de dos muestras del % pasando de la malla N°200		
	<i>V1= Sin Recalentar</i>	<i>V2= Recalentadas</i>
Media	5,64	5,77
Varianza	0,29	0,12
Observaciones	7	7
Grados de libertad	6	6
F	2,51	
P(F<=f) una cola	0,14	
Valor crítico para F (una cola)	4,28	

Fuente: Propia

El valor obtenido de F es de 2.51 menor que el valor crítico para F de 4.28 por lo que la hipótesis de que las varianzas de las muestras recalentadas y las no recalentadas son iguales es válida; con una probabilidad de que F sea menor e igual que el valor crítico es del 14% para los porcentajes (%) pasando de la malla de N°50.

V. CONCLUSIONES

Mediante los promedios obtenidos y representados en las tablas 162 y 164 se observa a simple vista que las diferencias entre los resultados son mínimas; ello indica que mientras las mezclas sean recalentadas a no más de $150\text{C}^{\circ} \pm 5$ no habrá deterioro en los ligantes bituminosos o en los agregados.

Tabla 162: Comparación de los promedios de los ensayos de las muestras sin recalentar y recalentadas

Condición de Muestra	Máxima Teórica	Gbs	% de Vacíos	Estabilidad (kg)	Flujo Plástico (1/100cm)	% Asfalto sobre la mezcla	% Asfalto sobre el agregado
No Recalentadas	2,461	2,357	4,20	1832	41,7	5,24	5,51
Recalentadas	2,456	2,356	4,13	1786	41,8	5,28	5,57

Fuente: Propia

Tabla 164: Comparación de los % pasando en las mallas para las muestras sin recalentar y recalentadas

Malla	Rango Especificado, CR-2010	Tolerancia	Promedio, muestras sin recalentar	Promedio, muestras recalentadas
3/4"(19mm)	100	± 5	100	100
1/2"(12,7mm)	90 a 100	± 5	93	94
3/8"(9,5mm)	70 a 90	± 4	78	80
N° 4(4,75mm)	45 a 65	± 4	47	48
N° 8(2mm)	28 a 39	± 4	31	31
N° 16(1,18mm)	16 a 26	± 4	21	21
N° 30(0,6mm)	9 a 16	± 4	16	16
N° 50(0,3mm)	5 a 16	± 4	11	11
N° 200(0,075mm)	2 a 8	± 2	5,64	5,77

Fuente: Propia

En cuanto a la metodología empleada en la realización de los diferentes ensayos de este trabajo de investigación, por medio de las normas establecidas por AASHTO Y ASTM se definieron los aspectos fundamentales para realizar los ensayos de gravedad específica máxima teórica, gravedad específica bruta, estabilidad, flujo plástico, contenido de humedad de la muestra, porcentaje de contenido de asfalto, graduación de los

agregados, porcentaje de vacíos. Se debe destacar que estas normas proporcionan al técnico de laboratorio un conjunto de pasos bien definidos a la hora de realizar dichos ensayos y se establecen los lineamientos teóricos necesarios para obtener resultados realistas que describen el comportamiento del diseño de mezcla analizado.

Mediante el coeficiente de variación, se observa que los datos de los ensayos de la gravedad específica bruta y máxima teórica son bastante homogéneos; en los demás ensayos se obtienen datos más heterogéneos; se nota una diferencia entre las muestras sin recalentar con respecto a las muestras recalentadas que presentan datos más homogéneos. Eso se puede apreciar en la tabla 163.

Tabla 163: Coeficiente de variación de las muestras sin recalentar y recalentadas.

Comparación del coeficiente de variación (%)							
# Muestra	Mx.Teórica	Gbs	% de Vacíos	Estabilidad (kg)	Flujo Plástico (1/100)	% Asfalto sobre la mezcla	% Asfalto sobre el agregado
Sin Recalentar	0,210	0,264	8,8	7,3	15,7	4,4	4,9
Recalentadas	0,315	0,475	12,4	4,8	6,5	1,4	1,5

Fuente: Propia

Mediante la prueba F para varianza de dos muestras, se obtuvo que los datos de los de los ensayos de graduación de los agregados, porcentajes de vacíos, estabilidad, gravedad específica máxima teórica y bruta, pertenecen a al mismo diseño de mezcla. En los ensayos de flujo plástico, porcentaje de asfalto sobre la mezcla y sobre el agregado, la prueba F indica que la varianza no es igual y como consecuencia, no pertenecen al mismo diseño de mezcla. Esto debido a la gran diferencia que presentan las varianzas de los respectivos ensayos; es más grande las varianza de las muestras sin recalentar sobre las muestras recalentadas, pues el porcentaje de adsorción de los agregados de las muestras recalentadas está jugando un papel importante en los resultados.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda aumentar la cantidad de las muestras para que los resultados sean más representativos.

Se recomienda implementar una variación en las muestras, las cuales sean de diferentes plantas, para ver el efecto del recalentamiento en los diferentes tamaños máximos nominales.

Se recomienda analizar el porcentaje de adsorción de los agregados de las muestras recalentadas para verificar si influyen en los resultados de los ensayos.

VII. BIBLIOGRAFIA

- (2015). *Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures (ASTM D6927-15)*. ASTM.
- (2015). *Mechanical analysis of extracted aggregate (AASHTO T 30-15)*. AASHTO.
- (2015). *Moisture content of asphalt mixtures by oven method (AASHTO T 329-15)*. AASHTO .
- (2016). *Preparation of Asphalt Mixture Specimens Using Marshall (ASTM D6926-16)*. ASTM.
- AASHTO. (2007). *AASHTO T 166, Bulk Specific Gravity of Compacted Asphalt Mixtures Using*.
- Aguilar, D. A. (2017). *Apuntes del curso de Laboratorio de Pavimentos*. Ingeniería Civil, Universidad Latina, Campus San Pedro.
- Asphalt Institute . (1982). *Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente*. Instituto Chileno del Asfalto.
- ASTM. (2003). *Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures*. ASTM Standards.
- Bosque, I. J. (s.f.). *www.uaaan.mx*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2017, de <http://www.uaaan.mx/~jmelbos/tablas/distf.pdf>
- Grabriel, E. (s.f.). *Academia.edu*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2017, de http://www.academia.edu/24991132/Prueba_de_hip%C3%B3tesis_con_la_raz%C3%B3n_F_de_Fisher
- Microsoft. (s.f.). *soporte office*. Recuperado el 10 de septiembre de 2017, de <https://support.office.com/es-es/article/PRUEBA-F-funci%C3%B3n-PRUEBA-F-4c9e1202-53fe-428c-a737-976f6fc3f9fd>
- Monroy Saldívar, S. (2008). *Estadística descriptiva*. Instituto Politécnico Nacional.
- Trasportes, M. d. (1997). *Especificaciones generales para la construcción de caminos, carreteras y Puentes (CR-77)*. MOPT.
- Trasportes, M. d. (2010). *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR-2010)*. MOPT.

www.uam.es. (s.f.). Recuperado el 10 de Septiembre de 2017, de
https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/gallardo/tablas_Probl_2007-2008.pdf

ANEXOS

Anexo N° 1: Contenido de humedad de la muestra N° 3570-01

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA AASHTO T 329

Temperatura de Secado: 163 °C +- (14 °C)

N° de Muestra: 3470-1

Fecha ensayo: 12/06/2017

Código Balanza: BA-020

Bandeja: Bolsa

Peso bandeja (g): 6,6

Masa Inicial (g) (Mi)	Masa final (g) (Mf)	% de Humedad: 100*(Mi-Mf/Mf)
1444,8	1444,1	0,05

REGISTRO DE MASA CONSTANTE PARA HUMEDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

Intervalo de medición: Después de los noventa minutos (90min) de secado, se realizarán mediciones cada treinta minutos (30min)

Hora inicio: 08:05 a.m.

Hora	Tiempo de secado (min)	Masa Previa (g) (Mp)	Masa Nueva (g) (Mn)	% de variación de masa: 100*(Mp-Mn/Mn)
09:35 a.m.	90	1444,8	1443,6	0,08
10:05 a.m.	120	1443,6	1443,5	0,01
		0	0	
		0	0	

*El % de variación no debe ser mayor a 0,05%

Fuente: Propia

Anexo N°2: Masa SSS de la muestra N° 3570-1

DETERMINACION DE LA MASA DE LA MUESTRA SSS				
Objeto de Ensayo:	Mezcla Asfáltica	N° Muestra:	3570-1	
Temperatura de secado:	ambiente	Código de Balanza:	BA-020	
Intervalos de Medición:	cada 15 min			
* Se deja secar una hora a temperatura ambiente, después se pesa en intervalos de 15min.				
Fecha	Hora	Tiempo de secado (min)	Masa (g) (A)	% de Variación de Masa: $100*(A_i - A_f)/A_i$
12/06/2017	10:45am	60	1632,5	
12/06/2017	11:00am	75	1631,9	0,04
* El % de variación no debe ser mayor a 0,05%				

Fuente: Propia

Anexo N°3: Masa constante de la muestra N° 3570-1

REGISTRO DE MASA CONSTANTE PARA LA EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO DE LA MEZCLAS ASFÁLTICAS				
Objeto de Ensayo:	Agregado	N° Muestra:	<u>3570-1</u>	
Temperatura de Secado:	110 +- 5°C	Código Balanza:	<u>BA-020</u>	
Intervalos de Medición:	cada 2 horas			
Fecha	Hora	Tiempo de secado (min)	Masa (g) (A)	% de variación de masa $(100*(A_i - A_f)/A_i)$
14/06/2017	09:15 a.m.	120	2039,2	
14/06/2017	11:15 a.m.	240	2036,7	0,12
14/06/2017	01:15 p.m.	360	2035,4	0,06
*El % de variación no debe ser mayor a 0,1%				

Fuente: Propia

Anexo N°4: Masa constante de filtros de la muestra N° 3570-1

Objeto de Ensayo:	Filtros de papel	N° Muestra:	3570-1	
Temperatura de Secado:	110 +- 5°C			
Intervalos de Medición:	cada 30 minutos	Código Balanza:	BA-020	

Fecha	Hora	Tiempo de secado (min)	Masa (g) (A)	% de variación de masa (100*(Ai-Af/Ai))
12/06/2017	07:00 a.m.	0	22,8	
12/06/2017	07:30 a.m.	30	20,2	11,40
12/06/2017	08:00 a.m.	60	20,2	0,00

*El % de variación no debe ser mayor a 0,1%

Fuente: Propia

Anexo N°5: Contenido de humedad de la muestra N° 3570-2

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA AASHTO T 329

Temperatura de Secado: 163 °C +- (14 °C)

N° de Muestra:	3570-2
-----------------------	--------

Fecha ensayo:	14/06/2017
Bandeja:	Bolsa

Código Balanza:	BA-025
Peso bandeja (g):	6,6

Masa Inicial (g) (Mi)	Masa final (g) (Mf)	% de Humedad: 100*(Mi-Mf/Mf)
1418,4	1417,4	0,07

REGISTRO DE MASA CONSTANTE PARA HUMEDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

Intervalo de medición: Después de los noventa minutos (90min) de secado, se realizaran mediciones cada treinta minutos (30min)

Hora inicio:	01:50 p.m.
---------------------	------------

Hora	Tiempo de secado (min)	Masa Previa (g) (Mp)	Masa Nueva (g) (Mn)	% de variación de masa: 100*(Mp-Mn/Mn)
03:20 p.m.	90	1418,4	1416,9	0,11
03:50 p.m.	120	1416,9	1416,6	0,02
		0	0	
		0	0	

*El % de variación no debe ser mayor a 0,05%

Fuente: Propia

Anexo N°6: Masa SSS de la muestra N° 3570-2

DETERMINACION DE LA MASA DE LA MUESTRA SSS				
Objeto de Ensayo:	Mezcla Asfáltica	N° Muestra:	3570-2	
Temperatura de secado:	ambiente	Código de Balanza:	BA-020	
Intervalos de Medición:	cada 15 min			
* Se deja secar una hora a temperatura ambiente, después se pesa en intervalos de 15min.				
Fecha	Hora	Tiempo de secado (min)	Masa (g) (A)	% de Variación de Masa: $100*(A_i - A_f)/A_i$
14/06/2017	04:25 p.m.	60	1616,6	
14/06/2017	04:40 p.m.	75	1615,1	0,09
	04:55 p.m.	90	1614,6	0,03
* El % de variación no debe ser mayor a 0,05%				

Fuente: Propia

Anexo N°7: Masa constante de la muestra N° 3570-2

REGISTRO DE MASA CNSTANTE PARA LA EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO DE LA MEZCLAS ASFÁLTICAS				
Objeto de Ensayo:	Agregado	N° Muestra:	<u>3570-2</u>	
Temperatura de Secado:	110 +- 5°C	Código Balanza:	<u>BA-025</u>	
Intervalos de Medición:	cada 2 horas			
Fecha	Hora	Tiempo de secado (min)	Masa (g) (A)	% de variación de masa ($100*(A_i - A_f)/A_i$)
15/06/2017	09:30 a.m.	120	1821,8	
15/06/2017	11:30 a.m.	240	1820,4	0,08
*El % de variación no debe ser mayor a 0,1%				

Fuente: Propia

Anexo N°8: Masa constante de filtros de la muestra N° 3570-2

Objeto de Ensayo:	Filtros de papel	N° Muestra:	<u>3570-2</u>
Temperatura de Secado:	110 +- 5°C		
Intervalos de Medición:	cada 30 minutos	Código Balanza:	<u>BA-020</u>

Fecha	Hora	Tiempo de secado (min)	Masa (g) (A)	% de variación de masa (100*(Ai-Af/Ai))
14/06/2017	09:20 a.m.	0	22,2	
14/06/2017	09:50 a.m.	30	19,6	11,71
14/06/2017	10:20 a.m.	60	19,6	0,00

*El % de variación no debe ser mayor a 0,1%

Fuente: Propia

Anexo N°9: Contenido de humedad de la muestra N° 3570-3

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA AASHTO T 329

Temperatura de Secado: 163 °C +- (14 °C)

N° de Muestra: 3570-3

Fecha ensayo:	<u>15/06/2017</u>	Código Balanza:	<u>BA-025</u>
Bandeja:	<u>Bolsa</u>	Peso bandeja (g):	<u>6,7</u>

Masa Inicial (g) (Mi)	Masa final (g) (Mf)	% de Humedad: 100*(Mi-Mf/Mf)
1423,9	1422,8	0,08

REGISTRO DE MASA CONSTANTE PARA HUMEDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

Intervalo de medición: Después de los noventa minutos (90min) de secado, se realizaran mediciones cada treinta minutos (30min)

Hora inicio: 08:40 a.m.

Hora	Tiempo de secado (min)	Masa Previa (g) (Mp)	Masa Nueva (g) (Mn)	% de variación de masa: 100*(Mp-Mn/Mn)
10:10 a.m.	90	1423,9	1422	0,13
10:40 a.m.	120	1422	1421,8	0,01
		0	0	
		0	0	

*El % de variación no debe ser mayor a 0,05%

Fuente: Propia

Anexo N°10: Masa SSS de la muestra N° 3570-3

DETERMINACION DE LA MASA DE LA MUESTRA SSS				
Objeto de Ensayo:	Mezcla Asfáltica	N° Muestra:	3570-3	
Temperatura de secado:	ambiente	Código de Balanza:	BA-020	
Intervalos de Medición:	cada 15 min			
* Se deja secar una hora a temperatura ambiente, después se pesa en intervalos de 15min.				
Fecha	Hora	Tiempo de secado (min)	Masa (g) (A)	% de Variación de Masa: $100*(A_i - A_f)/A_i$
15/06/2017	03:30 p.m.	60	1640,60	
15/06/2017	03:45 p.m.	75	1638,10	0,15
15/06/2017	04:00 p.m.	90	1635,70	0,15
15/06/2017	04:15 p.m.	105	1634,00	0,10
15/06/2017	04:30 p.m.	120	1632,70	0,08
15/06/2017	04:45 p.m.	135	1632,00	0,04
* El % de variación no debe ser mayor a 0,05%				

Fuente: Propia

Anexo N°11: Masa constante de la muestra N° 3570-3

REGISTRO DE MASA CNSTANTE PARA LA EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO DE LA MEZCLAS ASFÁLTICAS				
Objeto de Ensayo:	Agregado	N° Muestra:	<u>3570-3</u>	
Temperatura de Secado:	110 +- 5°C	Código Balanza:	<u>BA-025</u>	
Intervalos de Medición:	cada 2 horas			
Fecha	Hora	Tiempo de secado (min)	Masa (g) (A)	% de variación de masa ($100*(A_i - A_f)/A_i$)
16/06/2017	07:00 a.m.	0	2124,5	
16/06/2017	09:00 a.m.	120	2112,1	0,58
16/06/2017	11:00 a.m.	240	2110,6	0,07
*El % de variación no debe ser mayor a 0,1%				

Fuente: Propia

Anexo N°12: Masa constante de filtros de la muestra N° 3570-3

Objeto de Ensayo:	Filtros de papel	N° Muestra:	3570-3	
Temperatura de Secado:	110 +/- 5°C			
Intervalos de Medición:	cada 30 minutos	Código Balanza:	BA-025	

Fecha	Hora	Tiempo de secado (min)	Masa (g) (A)	% de variación de masa (100*(Ai-Af/Ai))
15/06/2017	07:45 a.m.	0	21,7	
15/06/2017	08:15 a.m.	30	19	12,44
15/06/2017	08:45 a.m.	60	19	0,00

*El % de variación no debe ser mayor a 0,1%

Fuente: Propia

Anexo N°13: Contenido de humedad de la muestra N° 3570-4

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA AASHTO T 329

Temperatura de Secado: 163 °C +/- (14 °C)

N° de Muestra:	3570-4
-----------------------	--------

Fecha ensayo:	15/06/2017
Bandeja:	Bolsa

Código Balanza:	BA-025
Peso bandeja (g):	6,5

Masa Inicial (g) (Mi)	Masa final (g) (Mf)	% de Humedad: 100*(Mi-Mf/Mf)
1587,7	1586,9	0,05

REGISTRO DE MASA CONSTANTE PARA HUMEDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

Intervalo de medición: Después de los noventa minutos (90min) de secado, se realizaran mediciones cada treinta minutos (30min)

Hora inicio:	07:05 a.m.
---------------------	------------

Hora	Tiempo de secado (min)	Masa Previa (g) (Mp)	Masa Nueva (g) (Mn)	% de variación de masa: 100*(Mp-Mn/Mn)
08:35 a.m.	90	1587,7	1586,8	0,06
09:05 a.m.	120	1586,8	1586,3	0,03
		0	0	
		0	0	

*El % de variación no debe ser mayor a 0,05%

Fuente: Propia

Anexo N°14: Masa SSS de la muestra N° 3570-4

DETERMINACION DE LA MASA DE LA MUESTRA SSS				
Objeto de Ensayo:	Mezcla Asfáltica	N° Muestra:	3570-4	
Temperatura de secado:	ambiente	Código de Balanza:	BA-020	
Intervalos de Medición:	cada 15 min			
* Se deja secar una hora a temperatura ambiente, después se pesa en intervalos de 15min.				
Fecha	Hora	Tiempo de secado (min)	Masa (g) (A)	% de Variación de Masa: $100*(A_i - A_f)/A_i$
21/06/2017	10:20 a.m.	60	1617,10	
21/06/2017	10:35 a.m.	75	1615,80	0,08
21/06/2017	10:50 a.m.	90	1615,30	0,03
* El % de variación no debe ser mayor a 0,05%				

Fuente: Propia

Anexo N°15: Masa constante de la muestra N° 3570-4

REGISTRO DE MASA CONSTANTE PARA LA EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO DE LA MEZCLAS ASFÁLTICAS				
Objeto de Ensayo:	Agregado	N° Muestra:	<u>3570-4</u>	
Temperatura de Secado:	110 +- 5°C	Código Balanza:	<u>BA-020</u>	
Intervalos de Medición:	cada 2 horas			
Fecha	Hora	Tiempo de secado (min)	Masa (g) (A)	% de variación de masa ($100*(A_i - A_f)/A_i$)
23/06/2017	08:30 a.m.	0	2068,9	
23/06/2017	10:30 a.m.	120	2056,8	0,58
23/06/2017	12:30 p.m.	240	2055,6	0,06
*El % de variación no debe ser mayor a 0,1%				

Fuente: Propia

Anexo N°16: Masa constante de filtros de la muestra N° 3570-4

Objeto de Ensayo:	Filtros de papel	N° Muestra:	<u>3570-4</u>
Temperatura de Secado:	110 +- 5°C		
Intervalos de Medición:	cada 30 minutos	Código Balanza:	<u>BA-025</u>

Fecha	Hora	Tiempo de secado (min)	Masa (g) (A)	% de variación de masa (100*(Ai-Af/Ai))
22/06/2017	07:35 a.m.	0	22,3	
22/06/2017	08:05 a.m.	30	19,6	12,11
22/06/2017	08:35 a.m.	60	19,6	0,00

*El % de variación no debe ser mayor a 0,1%

Fuente: Propia

Anexo N°17: Contenido de humedad de la muestra N° 3570-5

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA AASHTO T 329

Temperatura de Secado: 163 °C +- (14 °C)

N° de Muestra: 3570-5

Fecha ensayo: 16/06/2017

Código Balanza: BA-025

Bandeja: Bolsa

Peso bandeja (g): 6,6

Masa Inicial (g) (Mi)	Masa final (g) (Mf)	% de Humedad: 100*(Mi-Mf/Mf)
1483,5	1482,5	0,07

REGISTRO DE MASA CONSTANTE PARA HUMEDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

Intervalo de medición: Después de los noventa minutos (90min) de secado, se realizaron mediciones cada treinta minutos (30min)

Hora inicio: 07:05 a.m.

Hora	Tiempo de secado (min)	Masa Previa (g) (Mp)	Masa Nueva (g) (Mn)	% de variación de masa: 100*(Mp-Mn/Mn)
09:00 a.m.	90	1483,5	1482	0,10
09:30 a.m.	120	1482	1481,8	0,01
		0	0	
		0	0	

*El % de variación no debe ser mayor a 0,05%

Fuente: Propia

Anexo N°18: Masa SSS de la muestra N° 3570-5

DETERMINACION DE LA MASA DE LA MUESTRA SSS				
Objeto de Ensayo:	Mezcla Asfáltica	N° Muestra:	3570-5	
Temperatura de secado:	ambiente	Código de Balanza:	BA-020	
Intervalos de Medición:	cada 15 min			
* Se deja secar una hora a temperatura ambiente, después se pesa en intervalos de 15min.				
Fecha	Hora	Tiempo de secado (min)	Masa (g) (A)	% de Variación de Masa: $100*(A_i - A_f)/A_i$
16/06/2017	12:00 p.m.	60	1625,00	
16/06/2017	12:15 p.m.	75	1624,10	0,06
16/06/2017	12:30 p.m.	90	1623,80	0,02
* El % de variación no debe ser mayor a 0,05%				

Fuente: Propia

Anexo N°19: Masa constante de la muestra N° 3570-5

REGISTRO DE MASA CONSTANTE PARA LA EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO DE LA MEZCLAS ASFÁLTICAS				
Objeto de Ensayo:	Agregado	N° Muestra:	<u>3570-5</u>	
Temperatura de Secado:	110 +- 5°C	Código Balanza:	<u>BA-020</u>	
Intervalos de Medición:	cada 2 horas			
Fecha	Hora	Tiempo de secado (min)	Masa (g) (A)	% de variación de masa ($100*(A_i - A_f)/A_i$)
19/06/2017	07:00 a.m.	0	1978,9	
19/06/2017	09:00 a.m.	120	1969,1	0,50
19/06/2017	11:00 a.m.	240	1967,3	0,09
*El % de variación no debe ser mayor a 0,1%				

Fuente: Propia

Anexo N°20: Masa constante de filtros de la muestra N° 3570-5

Objeto de Ensayo:	Filtros de papel	N° Muestra:	<u>3570-5</u>
Temperatura de Secado:	110 +- 5°C		
Intervalos de Medición:	cada 30 minutos	Código Balanza:	<u>BA-025</u>

Fecha	Hora	Tiempo de secado (min)	Masa (g) (A)	% de variación de masa (100*(Ai-Af/Ai))
16/06/2017	07:20 a.m.	0	21,7	
16/06/2017	07:50 a.m.	30	19,1	11,98
16/06/2017	08:20 a.m.	60	19,1	0,00

*El % de variación no debe ser mayor a 0,1%

Fuente: Propia

Anexo N°21: Contenido de humedad de la muestra N° 3570-6

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA AASHTO T 329

Temperatura de Secado: 163 °C +- (14 °C)

N° de Muestra:	3570-6
-----------------------	--------

Fecha ensayo:	16/06/2017
Bandeja:	Bolsa

Código Balanza:	BA-025
Peso bandeja (g):	6

Masa Inicial (g) (Mi)	Masa final (g) (Mf)	% de Humedad: 100*(Mi-Mf/Mf)
1354,5	1353,5	0,07

REGISTRO DE MASA CONSTANTE PARA HUMEDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

Intervalo de medición: Después de los noventa minutos (90min) de secado, se realizaran mediciones cada treinta minutos (30min)

Hora inicio:	09:10 a.m.
---------------------	------------

Hora	Tiempo de secado (min)	Masa Previa (g) (Mp)	Masa Nueva (g) (Mn)	% de variación de masa: 100*(Mp-Mn/Mn)
10:40 a.m.	90	1358,4	1356,7	0,13
11:10 a.m.	120	1356,7	1353,2	0,26
11:40	150	1353,2	1352,8	0,03
		0	0	

*El % de variación no debe ser mayor a 0,05%

Fuente: Propia

Anexo N°22: Masa SSS de la muestra N° 3570-6

DETERMINACION DE LA MASA DE LA MUESTRA SSS				
Objeto de Ensayo:	Mezcla Asfáltica	N° Muestra:	3570-6	
Temperatura de secado:	ambiente	Código de Balanza:	BA-020	
Intervalos de Medición:	cada 15 min			
* Se deja secar una hora a temperatura ambiente, después se pesa en intervalos de 15min.				
Fecha	Hora	Tiempo de secado (min)	Masa (g) (A)	% de Variación de Masa: $100*(A_i - A_f)/A_i$
22/06/2017	09:50 a.m.	60	1602,30	
22/06/2017	10:05 a.m.	75	1601,10	0,07
22/06/2017	10:20 a.m.	90	1600,70	0,02
* El % de variación no debe ser mayor a 0,05%				

Fuente: Propia

Anexo N°23: Masa constante de la muestra N° 3570-6

REGISTRO DE MASA CONSTANTE PARA LA EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO DE LA MEZCLAS ASFÁLTICAS				
Objeto de Ensayo:	Agregado	N° Muestra:	<u>3570-6</u>	
Temperatura de Secado:	110 +- 5°C	Código Balanza:	<u>BA-020</u>	
Intervalos de Medición:	cada 2 horas			
Fecha	Hora	Tiempo de secado (min)	Masa (g) (A)	% de variación de masa ($100*(A_i - A_f)/A_i$)
06/07/2017	07:20 a.m.	0	2118,2	
06/07/2017	09:20 a.m.	120	2104,0	0,67
06/07/2017	11:20 a.m.	240	2103,3	0,03
*El % de variación no debe ser mayor a 0,1%				

Fuente: Propia

Anexo N°24: Masa constante de filtros de la muestra N° 3570-6

Objeto de Ensayo:	Filtros de papel	N° Muestra:	<u>3570-6</u>
Temperatura de Secado:	110 +- 5°C	Código Balanza:	<u>BA-020</u>
Intervalos de Medición:	cada 30 minutos		

Fecha	Hora	Tiempo de secado (min)	Masa (g) (A)	% de variación de masa (100*(Ai-Af/Ai))
23/06/2017	07:50 a.m.	0	22,7	
23/06/2017	08:20 a.m.	30	20,1	11,45
23/06/2017	08:50 a.m.	60	20,1	0,00

*El % de variación no debe ser mayor a 0,1%

Fuente: Propia

Anexo N°25: Contenido de humedad de la muestra N° 3570-7

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA AASHTO T 329

Temperatura de Secado: 163 °C +- (14 °C)

N° de Muestra:	3570-7
-----------------------	--------

Fecha ensayo:	21/06/2017
Bandeja:	Bolsa

Código Balanza:	BA-025
Peso bandeja (g):	6,3

Masa Inicial (g) (Mi)	Masa final (g) (Mf)	% de Humedad: 100*(Mi-Mf/Mf)
1394,8	1394,1	0,05

REGISTRO DE MASA CONSTANTE PARA HUMEDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

Intervalo de medición: Después de los noventa minutos (90min) de secado, se realizaron mediciones cada treinta minutos (30min)

Hora inicio:	07:20 a.m.
---------------------	------------

Hora	Tiempo de secado (min)	Masa Previa (g) (Mp)	Masa Nueva (g) (Mn)	% de variación de masa: 100*(Mp-Mn/Mn)
08:50 a.m.	90	1394,8	1394,4	0,03

*El % de variación no debe ser mayor a 0,05%

Fuente: Propia

Anexo N°26: Masa SSS de la muestra N° 3570-7

DETERMINACION DE LA MASA DE LA MUESTRA SSS				
Objeto de Ensayo:	Mezcla Asfáltica	N° Muestra:	3570-7	
Temperatura de secado:	ambiente	Código de Balanza:	BA-020	
Intervalos de Medición:	cada 15 min			
* Se deja secar una hora a temperatura ambiente, después se pesa en intervalos de 15min.				
Fecha	Hora	Tiempo de secado (min)	Masa (g) (A)	% de Variación de Masa: $100*(A_i - A_f)/A_i$
21/06/2017	10:00 a.m.	60	1538,80	
21/06/2017	10:15 a.m.	75	1537,40	0,09
21/06/2017	10:30 a.m.	90	1536,10	0,08
22/06/2017	10:45 a.m.	105	1535,90	0,01
* El % de variación no debe ser mayor a 0,05%				

Fuente: Propia

Anexo N°27: Masa constante de la muestra N° 3570-7

REGISTRO DE MASA CONSTANTE PARA LA EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO DE LA MEZCLAS ASFÁLTICAS				
Objeto de Ensayo:	Agregado	N° Muestra:	<u>3570-7</u>	
Temperatura de Secado:	110 +- 5°C	Código Balanza:	<u>BA-020</u>	
Intervalos de Medición:	cada 2 horas			
Fecha	Hora	Tiempo de secado (min)	Masa (g) (A)	% de variación de masa $(100*(A_i - A_f)/A_i)$
22/06/2017	07:35 a.m.	0	2105,9	
22/06/2017	09:35 a.m.	120	2093,7	0,58
22/06/2017	11:35 a.m.	240	2092,0	0,08
*El % de variación no debe ser mayor a 0,1%				

Fuente: Propia

Anexo N°28: Masa constante de filtros de la muestra N° 3570-7

Objeto de Ensayo:	Filtros de papel	N° Muestra:	<u>3570-7</u>
Temperatura de Secado:	110+/- 5°C		
Intervalos de Medición:	cada 30 minutos	Código Balanza:	<u>BA-025</u>

Fecha	Hora	Tiempo de secado (min)	Masa (g) (A)	% de variación de masa (100*(Ai-Af/Ai))
21/06/2017	07:45 a.m.	0	22,2	
	08:15 a.m.	30	19,6	11,71
	08:45 a.m.	60	19,6	0,00

*El % de variación no debe ser mayor a 0,1%

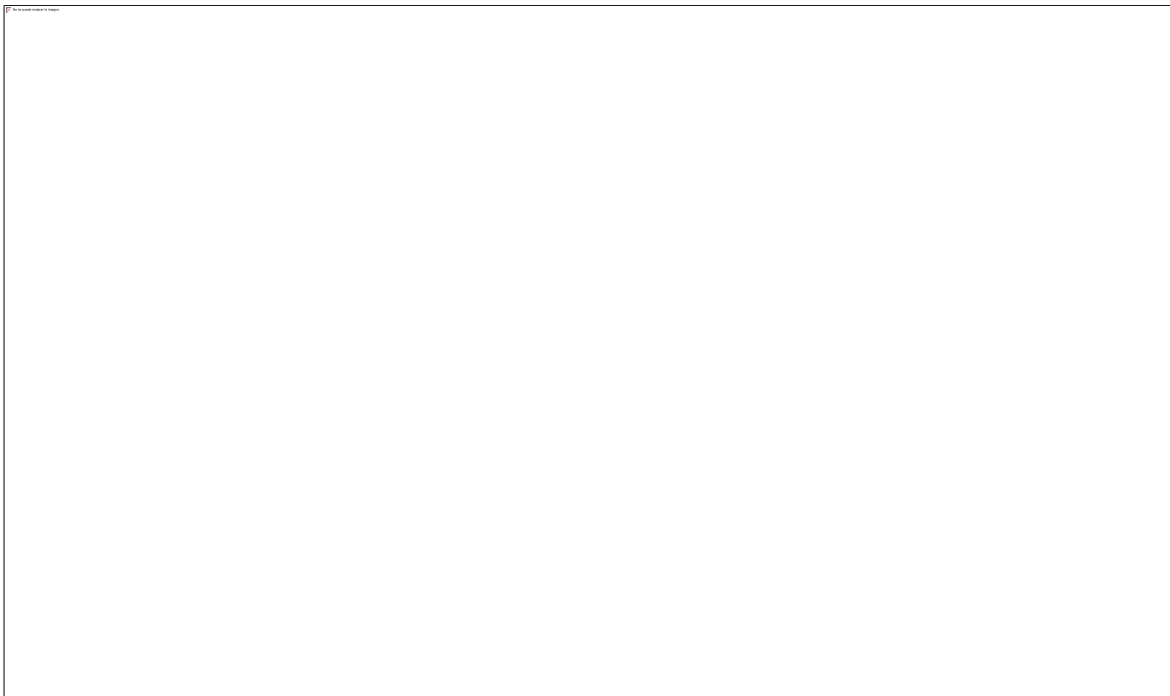
Fuente: Propia

Anexo N°29: Contenido de humedad de la muestra N° 3570-8

--

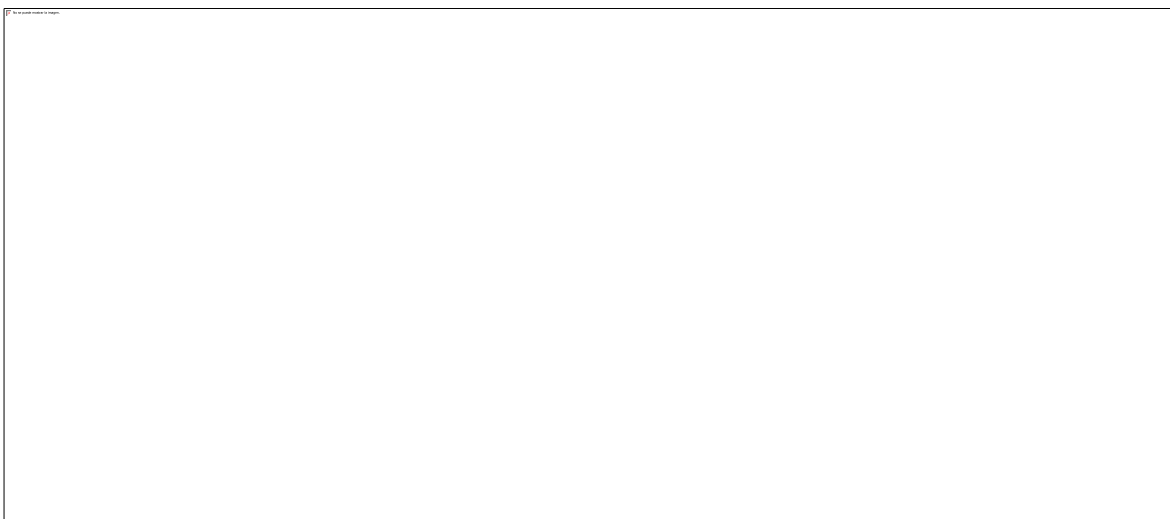
Fuente: Propia

Anexo N°30: Masa SSS de la muestra N° 3570-8



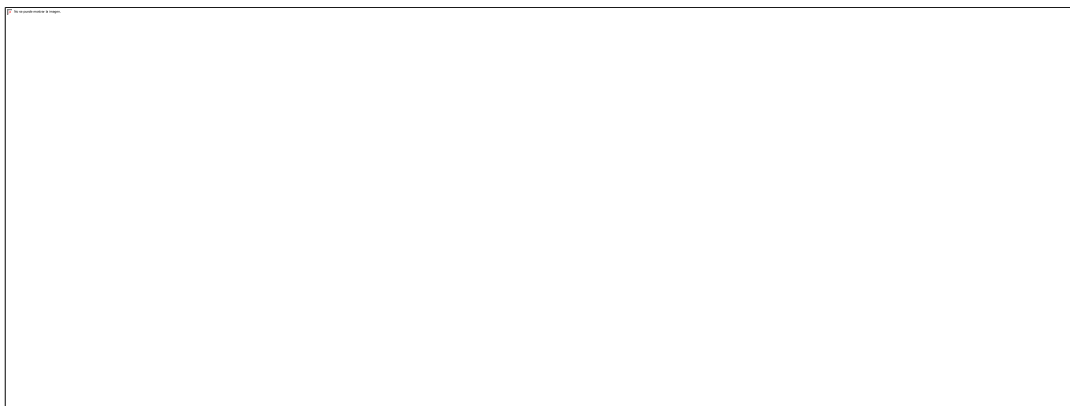
Fuente: Propia

Anexo N°31: Masa constante de la muestra N° 3570-8



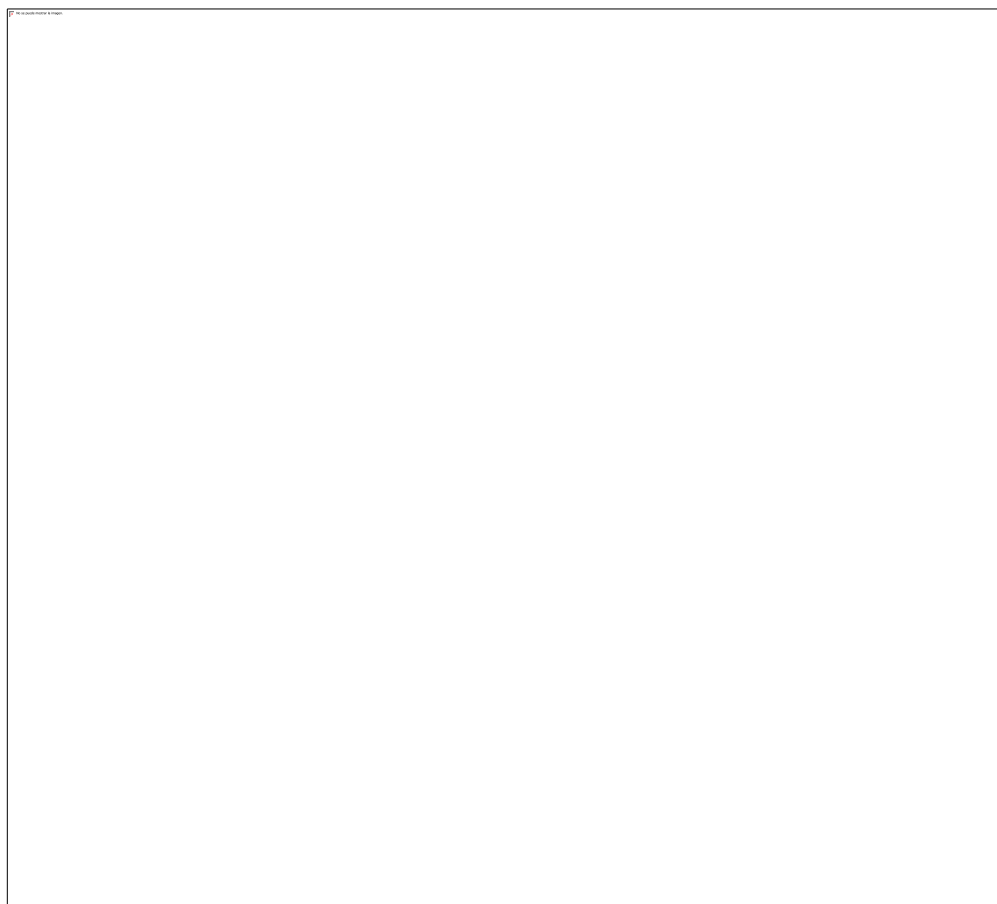
Fuente: Propia

Anexo N°32: Masa constante de filtros de la muestra N° 3570-8



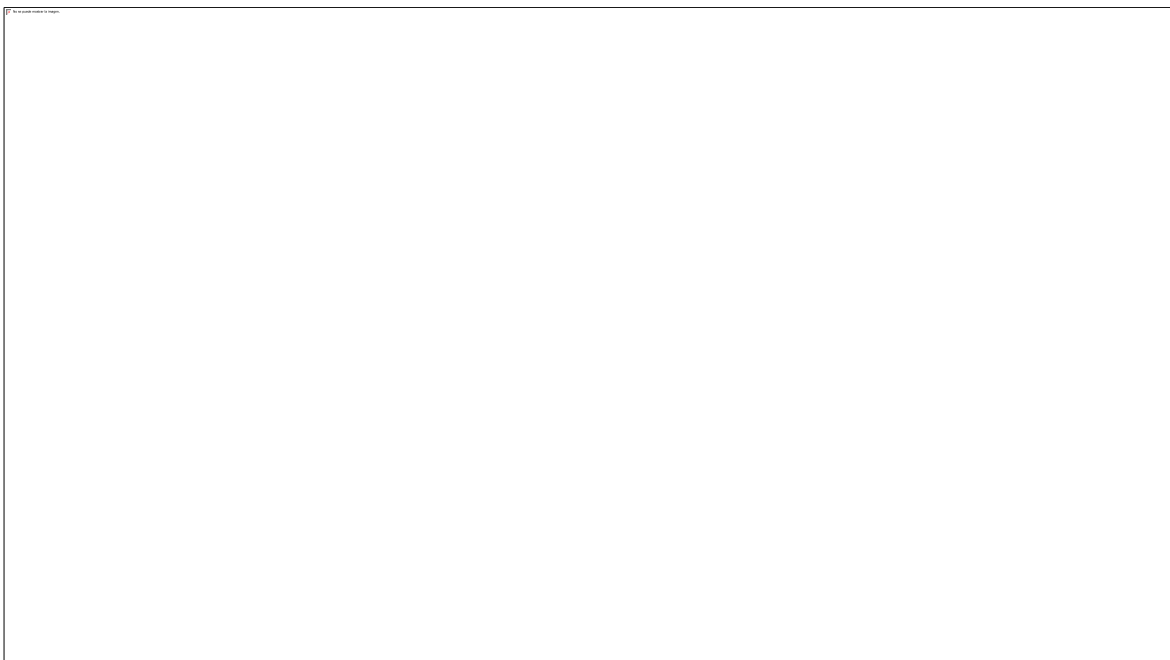
Fuente: Propia

Anexo N°33: Contenido de humedad de la muestra N° 3570-9



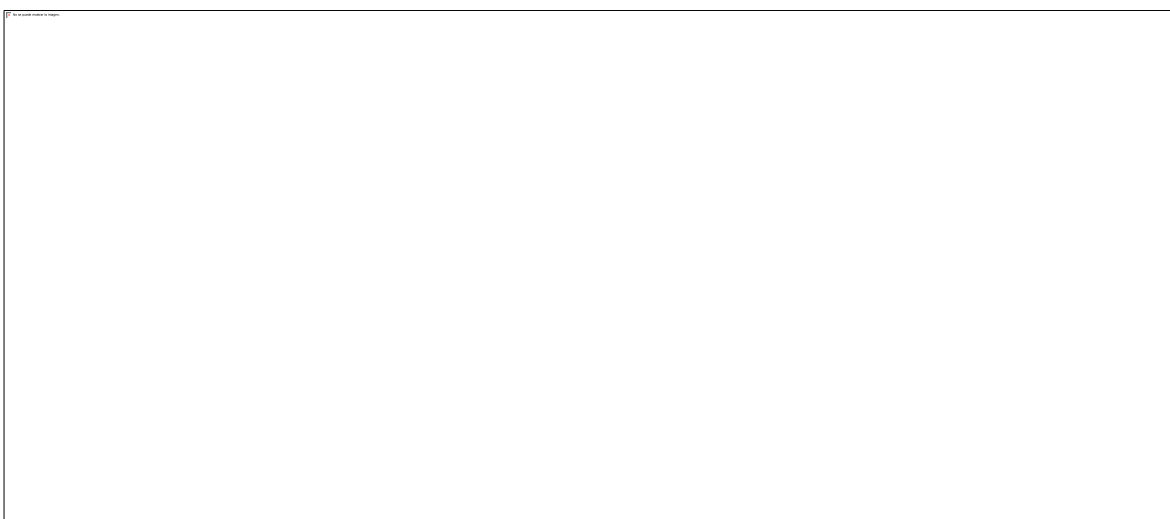
Fuente: Propia

Anexo N°34: Masa SSS de la muestra N° 3570-9



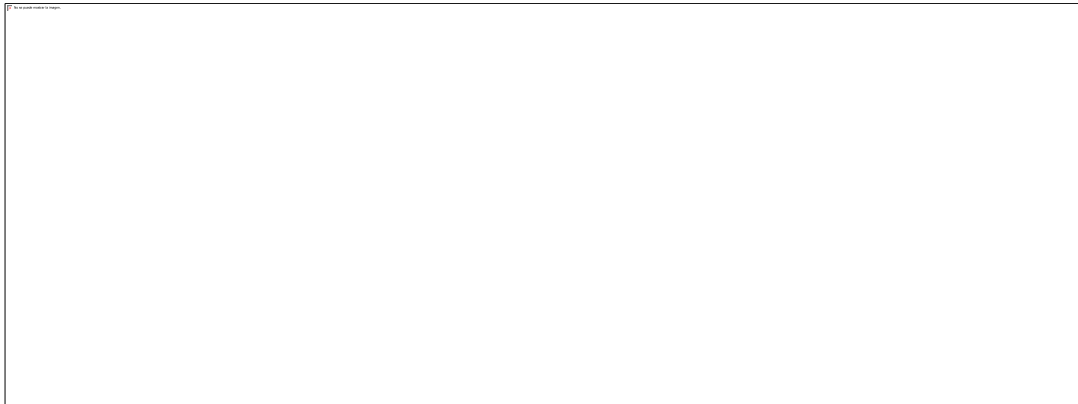
Fuente: Propia

Anexo N°35: Masa constante de la muestra N° 3570-9



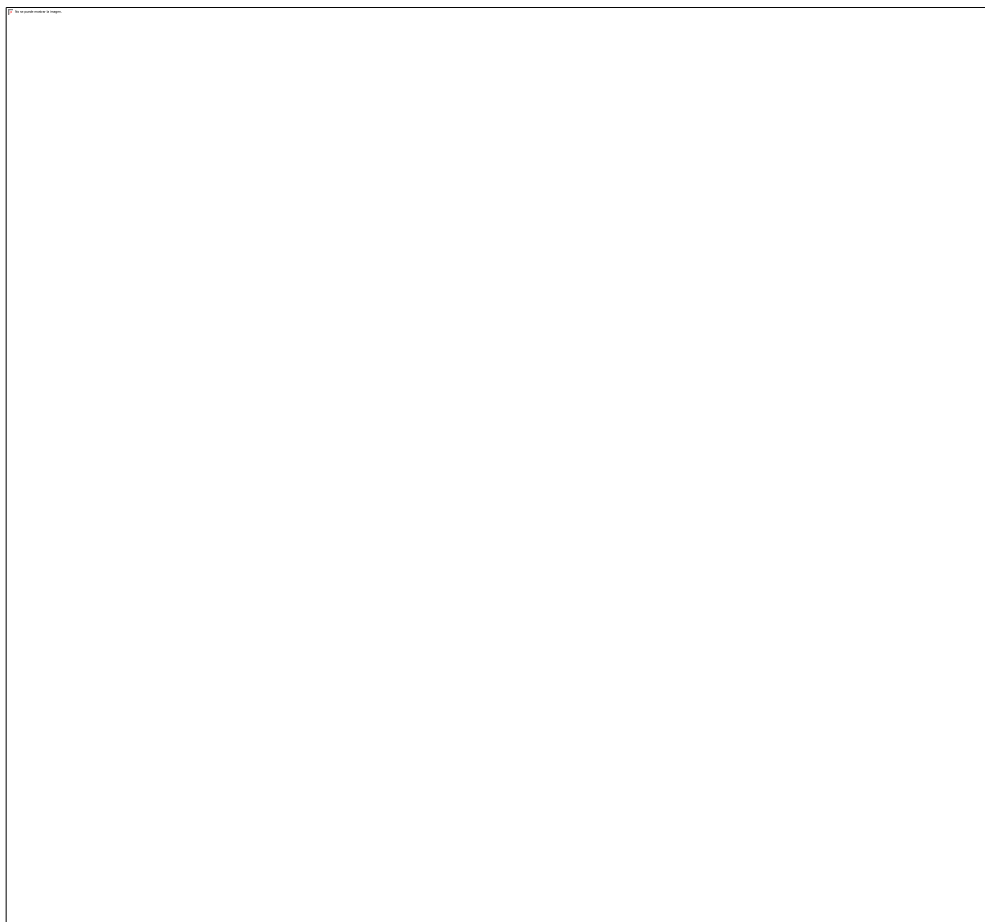
Fuente: Propia

Anexo N°36: Masa constante de filtros de la muestra N° 3570-9



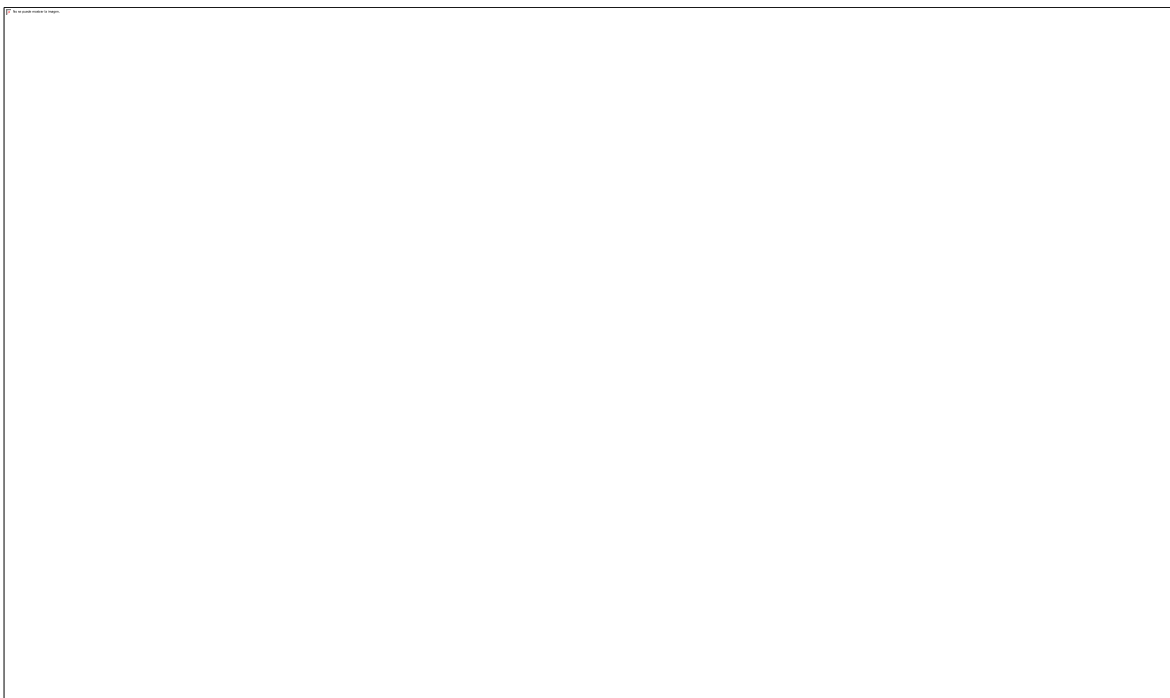
Fuente: Propia

Anexo N°37: Contenido de humedad de la muestra N° 3570-10



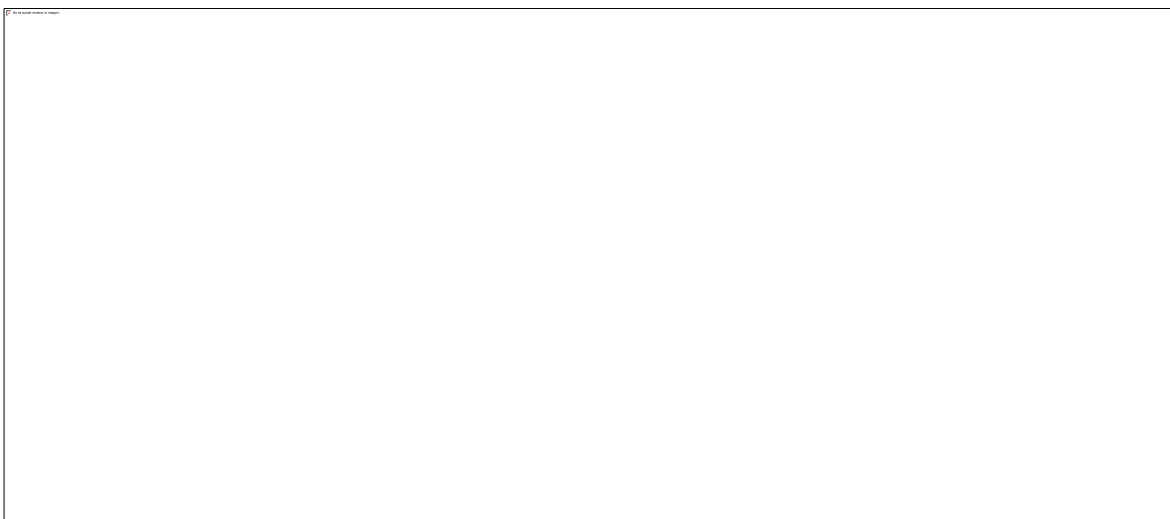
Fuente: Propia

Anexo N°38: Masa SSS de la muestra N° 3570-10



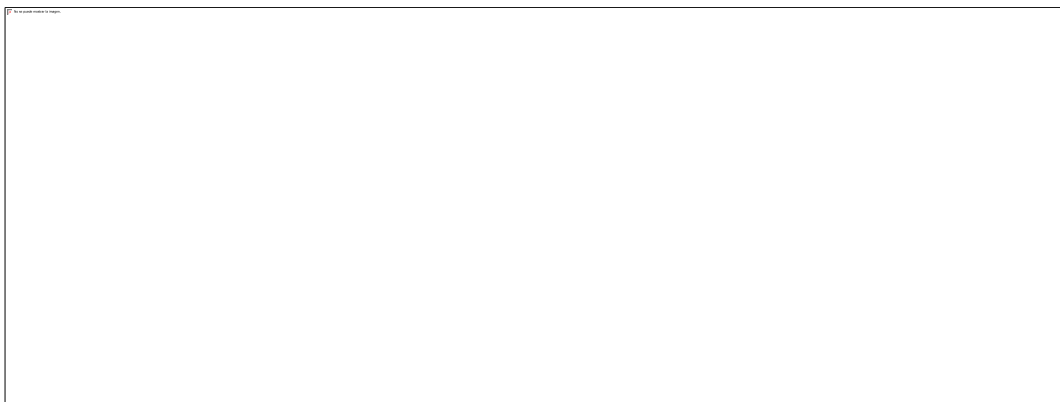
Fuente: Propia

Anexo N°39: Masa constante de la muestra N° 3570-10



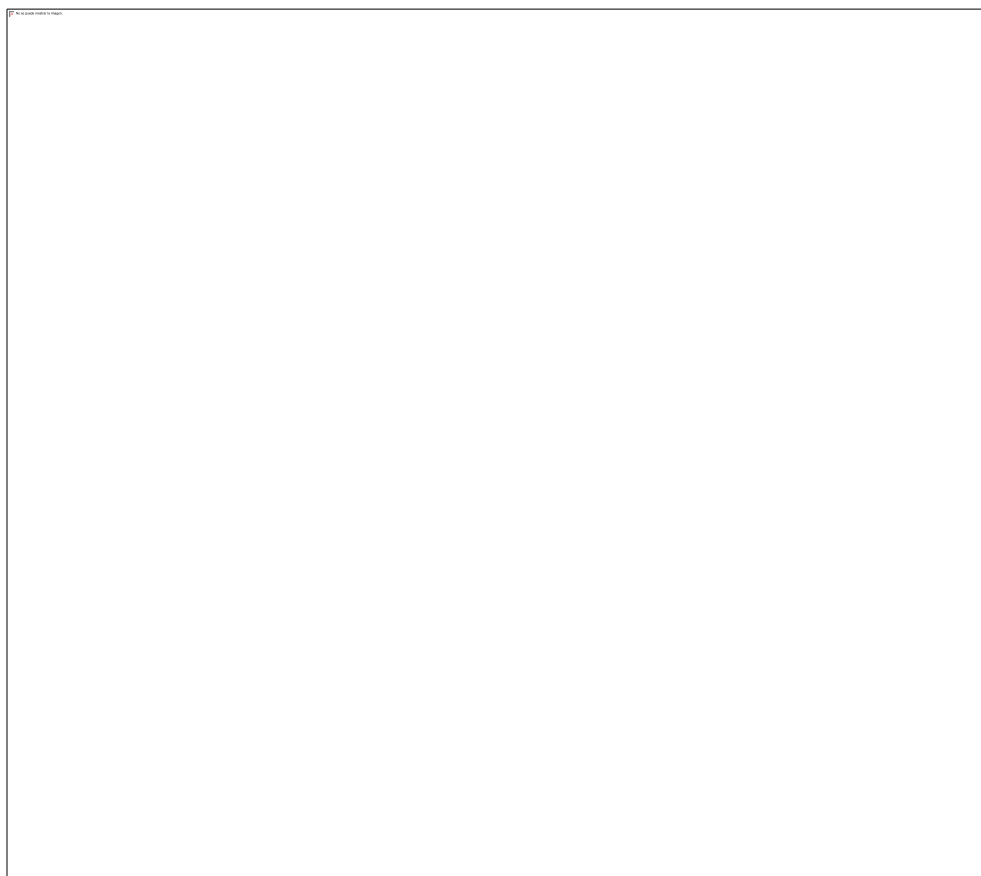
Fuente: Propia

Anexo N°40: Masa constante de filtros de la muestra N° 3570-10



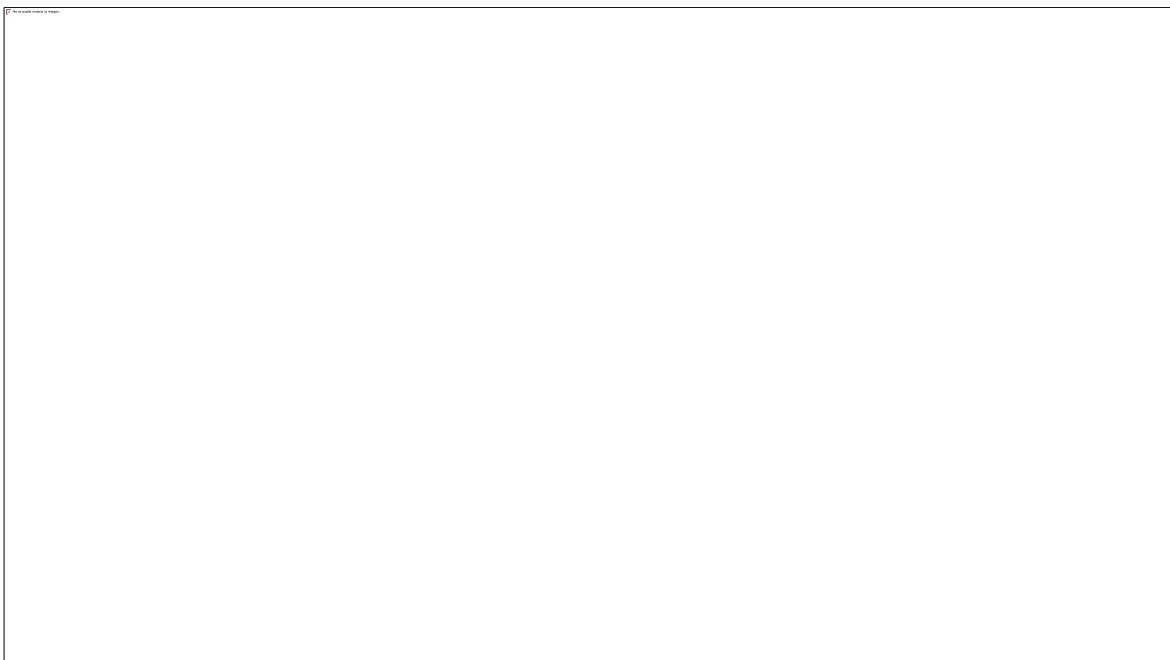
Fuente: Propia

Anexo N°41: Contenido de humedad de la muestra N° 3570-11



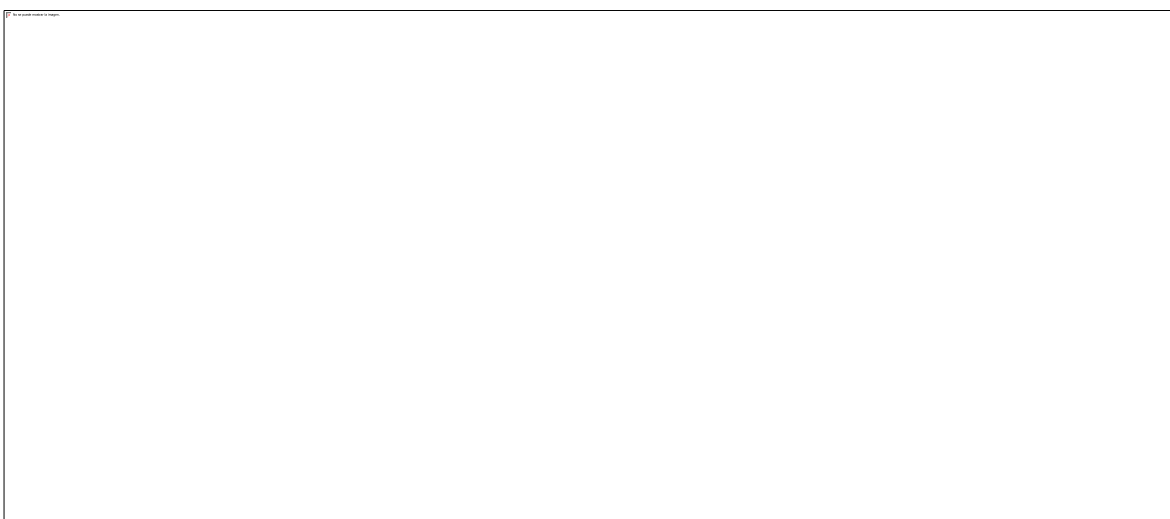
Fuente: Propia

Anexo N°42: Masa SSS de la muestra N° 3570-11



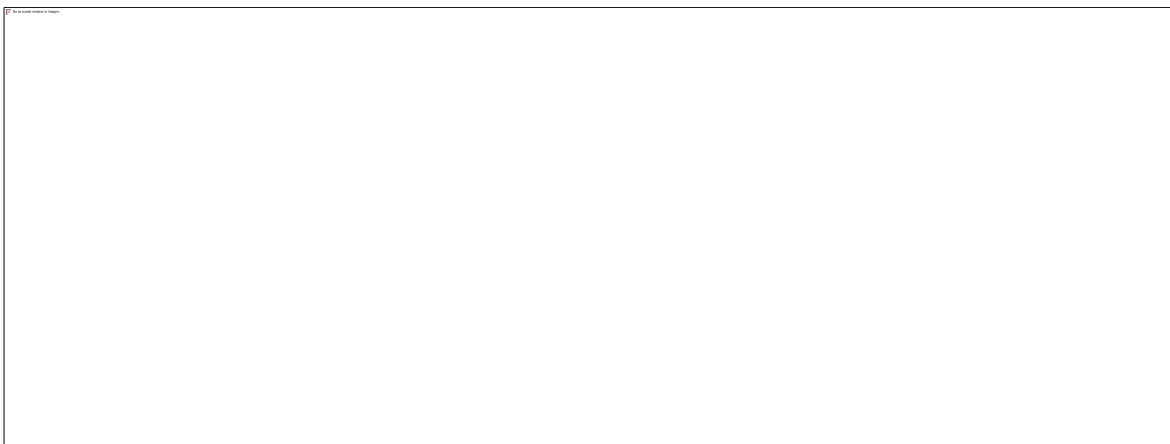
Fuente: Propia

Anexo N°43: Masa constante de la muestra N° 3570-11



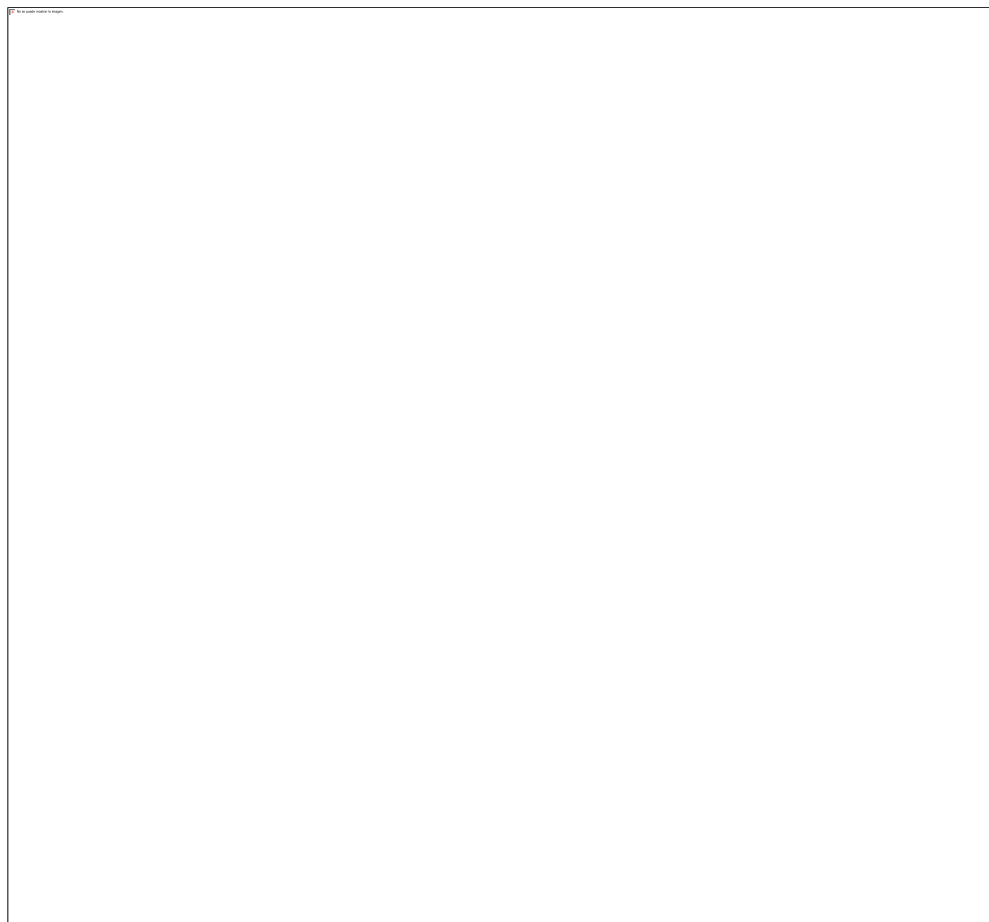
Fuente: Propia

Anexo N°44: Masa constante de filtros de la muestra N° 3570-11



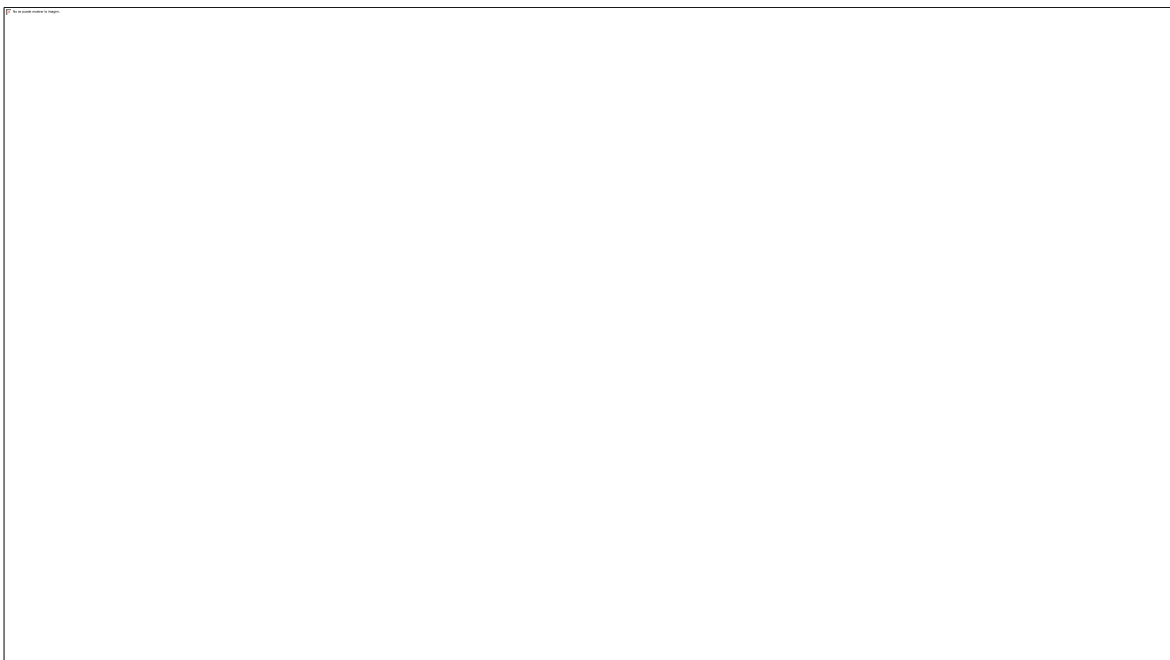
Fuente: Propia

Anexo N°45: Contenido de humedad de la muestra N° 3570-12



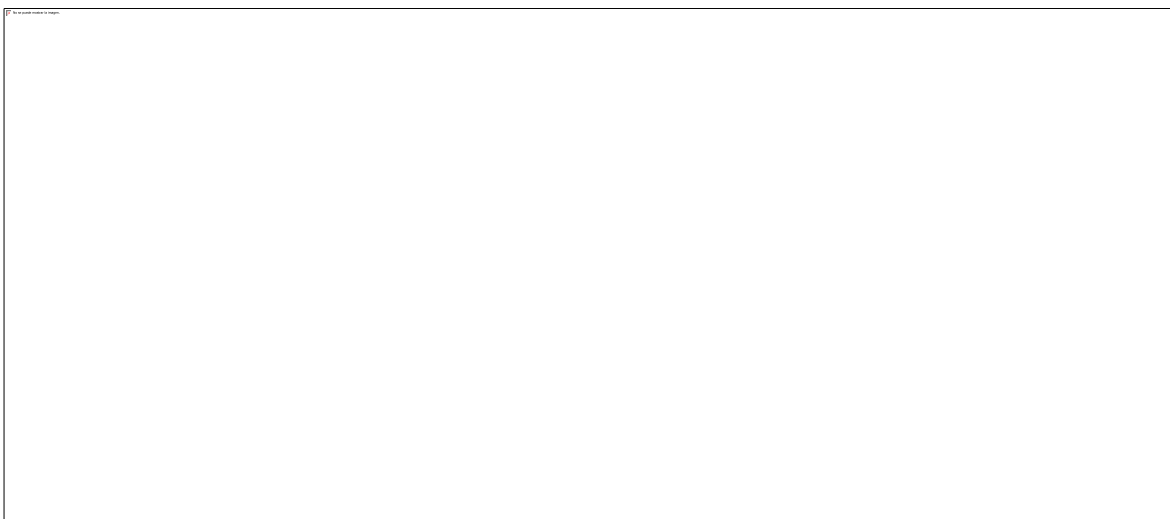
Fuente: Propia

Anexo N°46: Masa SSS de la muestra N° 3570-12



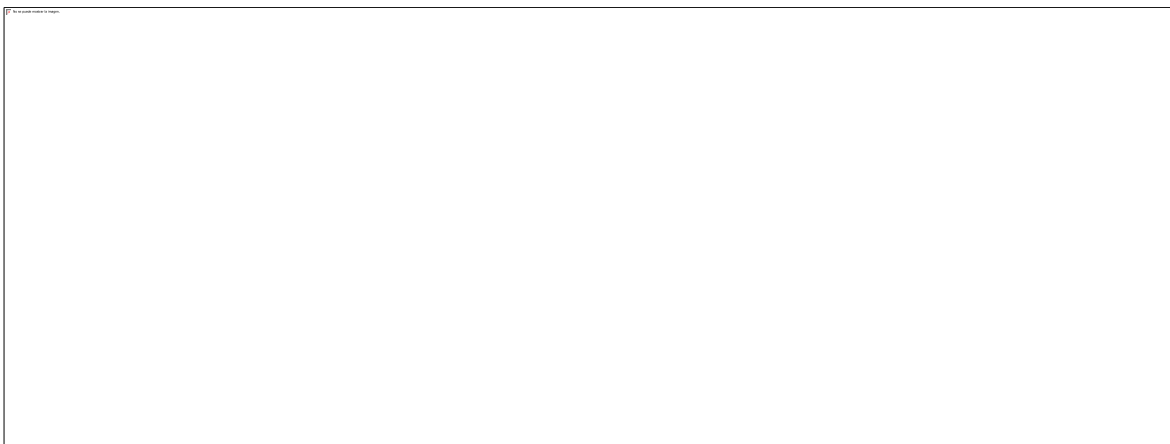
Fuente: Propia

Anexo N°47: Masa constante de la muestra N° 3570-12



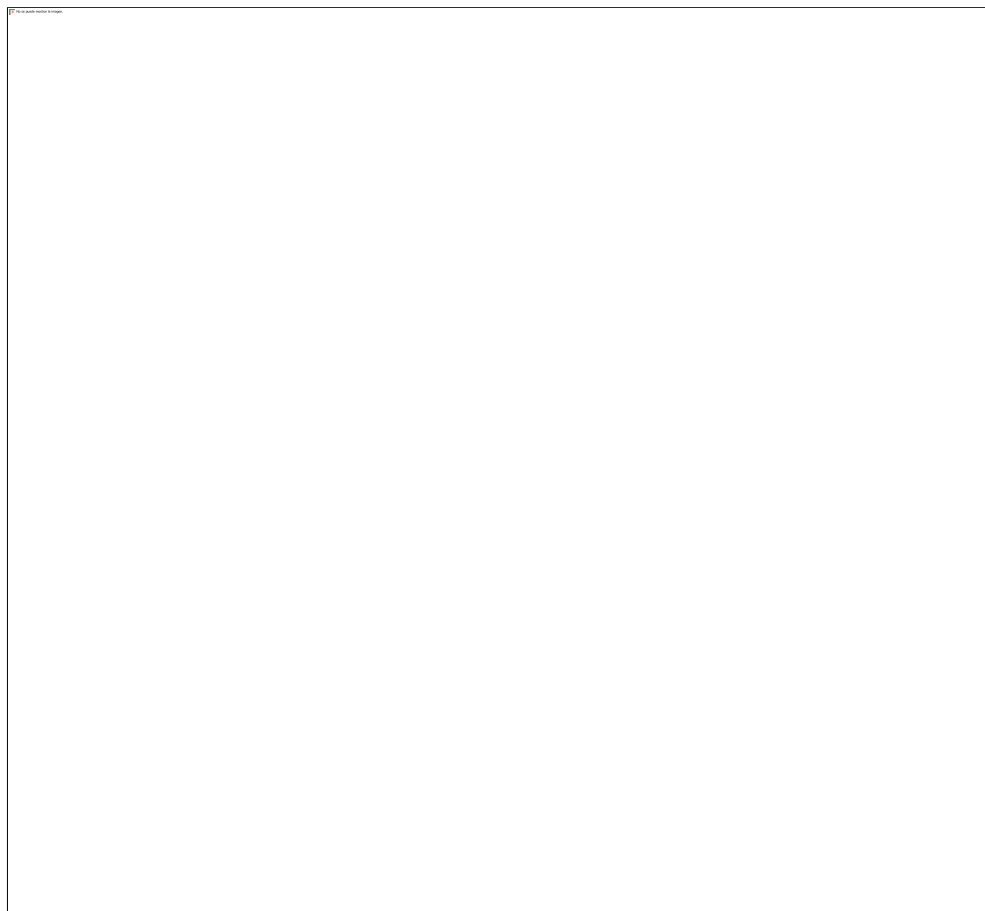
Fuente: Propia

Anexo N°48: Masa constante de filtros de la muestra N° 3570-12



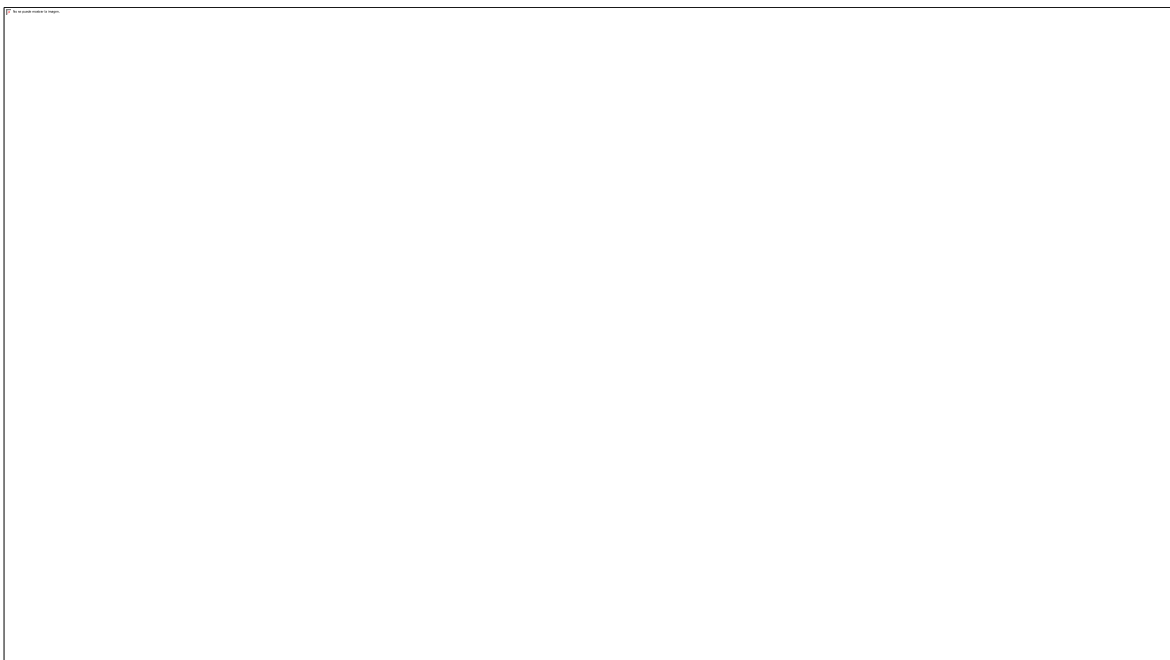
Fuente: Propia

Anexo N°49: Contenido de humedad de la muestra N° 3570-13



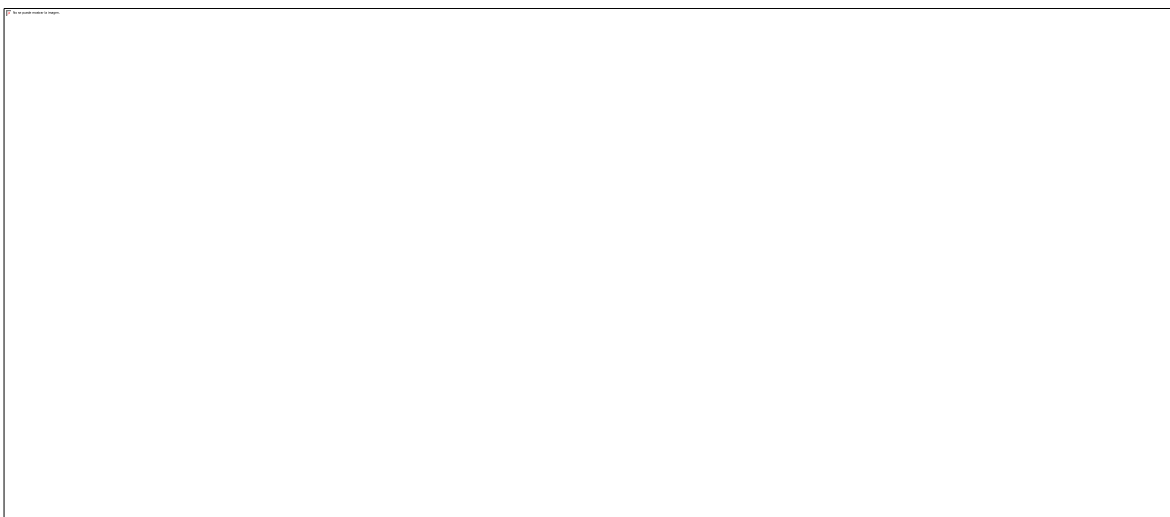
Fuente: Propia

Anexo N°50: Masa SSS de la muestra N° 3570-13



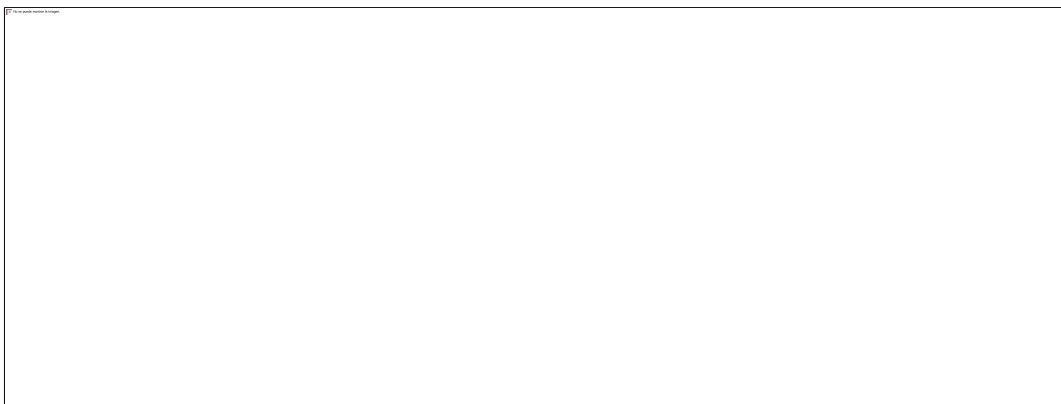
Fuente: Propia

Anexo N°51: Masa constante de la muestra N° 3570-13



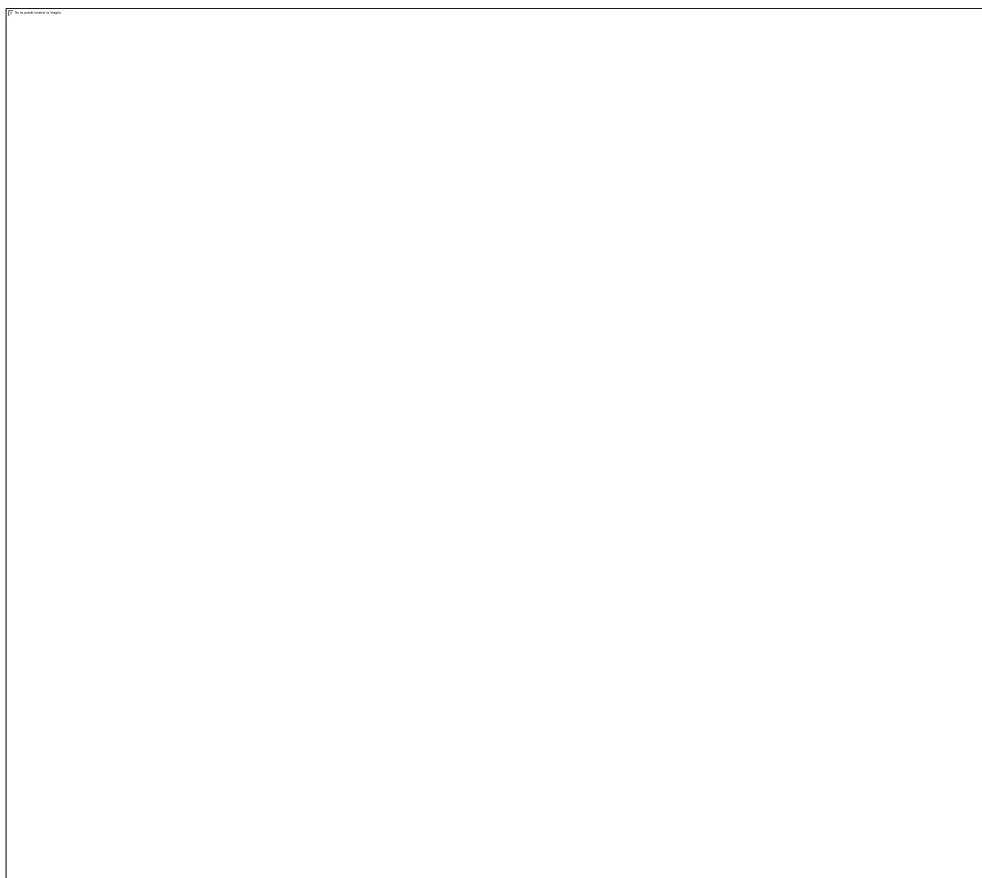
Fuente: Propia

Anexo N°52: Masa constante de filtros de la muestra N° 3570-13



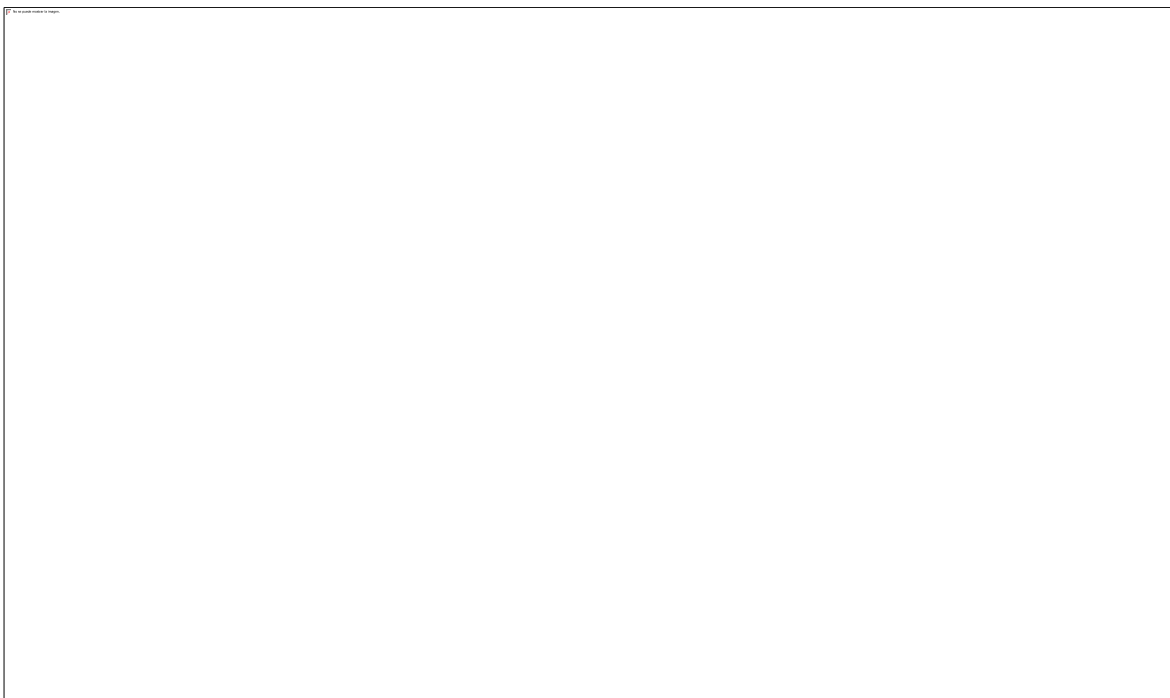
Fuente: Propia

Anexo N°53: Contenido de humedad de la muestra N° 3570-14



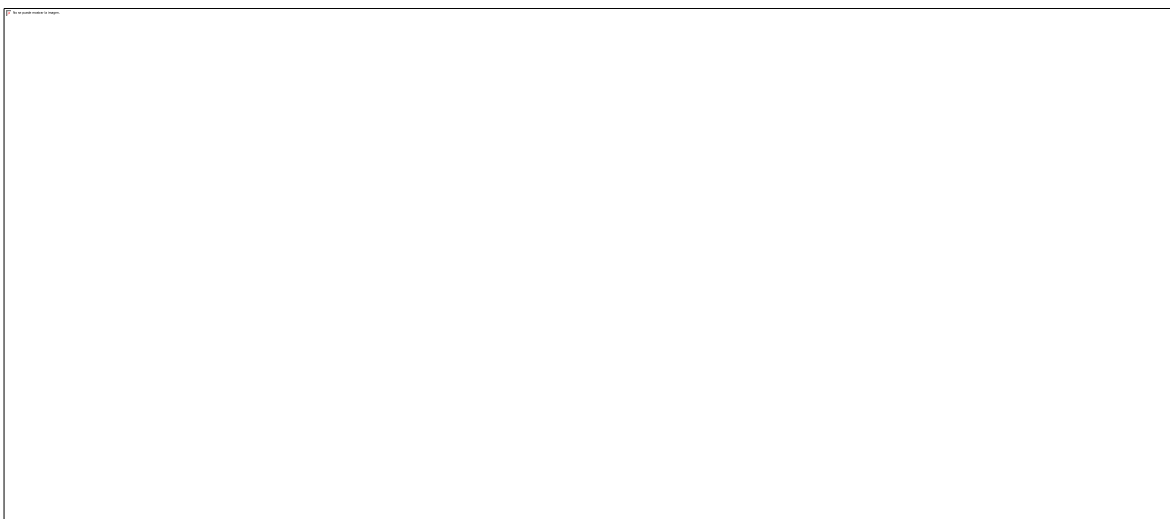
Fuente: Propia

Anexo N°50: Masa SSS de la muestra N° 3570-14



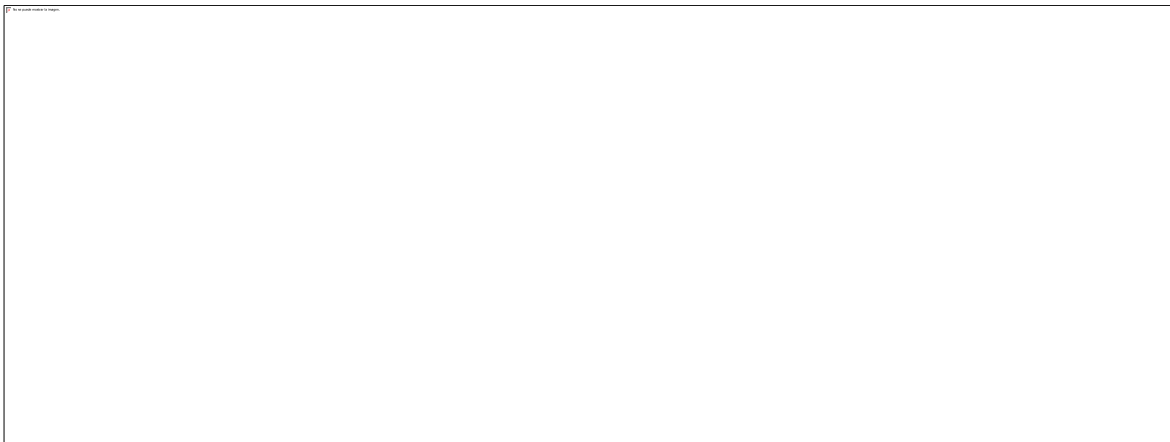
Fuente: Propia

Anexo N°51: Masa constante de la muestra N° 3570-14



Fuente: Propia

Anexo N°52: Masa constante de filtros de la muestra N° 3570-14



Fuente: Propia