



Universidad Latina De Costa Rica

Facultad de TI, Ingeniería y Arquitectura

Escuela de Ingeniería Civil

Licenciatura en Ingeniería Civil

Tesis de Grado

**EFECTO DEL TIEMPO DE TRANSPORTE DE LA MEZCLA
ASFÁLTICA EN LOS PARÁMETROS MARSHALL Y CONTENIDO
DE ASFALTO**

Rosa Angélica Miranda Méndez

Heredia, Costa Rica

13 de diciembre de 2018

TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: "EFECTO DEL TIEMPO DE TRANSPORTE DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN LOS PARÁMETROS MARSHALL Y CONTENIDO DE ASFALTO.", 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. SIRLEY ALVAREZ GONZÁLEZ

LECTOR



ING. JOSÉ MARÍA ULATE ZÁRATE

REPRESENTANTE DE RECTORÍA

COMITÉ ASESOR

ING. CARLOS SOLÍS MOLINA

TUTOR

ING. SIRLEY ALVAREZ GONZÁLEZ

LECTOR

ING. JOSÉ MARÍA ULATE ZÁRATE

REPRESENTANTE DE RECTORÍA

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR TUTOR DEL
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD TESIS DE GRADO**

Heredia, 13 de diciembre, de 2018

Sres.
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad Tesis de Grado bajo el título *Efecto del tiempo de transporte de la mezcla asfáltica en los parámetros Marshall y Contenido de asfalto* por parte del estudiante: Rosa Angélica Miranda Méndez, como requisito para que el citado estudiante pueda 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 TESIS DE GRADO**

Heredia, 13 de Diciembre, de 2018

Sres.
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad Tesis de Grado bajo el título *Efecto del tiempo de transporte de la mezcla asfáltica en los parámetros Marshall y Contenido de asfalto* por parte del estudiante: Rosa Angelica Miranda Méndez, como requisito para que el citado estudiante pueda 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. Sirley Álvarez González

San José, 20 de diciembre del 2018.

Universidad Latina de Costa Rica
Facultad de TI, Ingeniería y Arquitectura
Escuela de Ingeniería Civil

Estimados señores:

La estudiante Rosa Angélica Miranda Méndez, cédula 207270757, me ha presentado, en mi calidad de profesional graduada en Filología, el proyecto de graduación denominado "Efecto del tiempo de transporte de la mezcla asfáltica en los parámetros Marshall y Contenido de Asfalto", el cual ha elaborado para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil.

He revisado el documento, de acuerdo con los lineamientos de corrección de estilo, los aspectos de estructura gramatical, acentuación, ortografía, puntuación y vicios de dicción que se trasladan al escrito, y he verificado que se han realizado todas las correcciones necesarias en él.

Por consiguiente, se encuentra listo para ser presentado oficialmente a la Universidad.

Atentamente,



Msc. Carmen Pinto Murillo

Carné Colopro: 3939



“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 " ; "

MIRANDA MÉNDEZ, ROSA ANGÉLICA

De la Carrera / Programa: LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL

autor (es) del (de la) *(Indique tipo de trabajo):* TESIS DE GRADO
titulado:

EFFECTO DEL TIEMPO DE TRANSPORTE DE LA MEZCLA ASFALTICA EN LOS PARAMETROS MARSHALL Y CONTENIDO DE ASFALTO

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)* 07 del mes ENERO del año 2019 a las 17:00. 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. Exímo 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 perjurio que se pudiera presentar.

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

Agradecimientos:

Ing. Sirley Álvarez González

Ing. Carlos Solís Molina

Constructora Pavicen Ltda.

CACISA S.A.

*Con amor,
dedicado a mis padres y hermano.*

Resumen

Esta investigación se basa en la comparación de una misma mezcla asfáltica en condiciones de No Curado y de Curado, con el fin de evaluar el efecto que tiene el tiempo durante los periodos de transporte de la mezcla. El proceso de Curado es de seis horas a una temperatura constante de 150°C, haciendo la simulación del tiempo de transporte desde la Planta de producción de asfalto hasta el proyecto donde se realiza la colocación en un horno de laboratorio. Se analizan once distintos especímenes, comparando el porcentaje de asfalto sobre la mezcla y sobre el agregado, condiciones granulométricas, gravedad específica máxima teórica, gravedad específica bruta seca, porcentaje de vacíos, flujo y estabilidad. Los ensayos se realizan bajo los Parámetros Marshall y Contenido de Asfalto.

Palabras clave

Mezcla asfáltica, envejecimiento, porcentaje de vacíos, agregados, ligante asfáltico.

Abstract

This research is based on the comparison of the same asphalt mixture in non-aging and aging conditions in order to evaluate the effect that has the time during the HMA transportation period. The aging process is done by maintaining the HMA in a laboratory oven during six hours at a 150°C, as a simulation of the transportation time between the Asphalt Production Plant to the place where is going to be place. Eleven different specimens are analyzed by comparing the asphalt binder content on the mix and on the aggregate, theoretical maximum specific gravity, bulk specific gravity, voids percentage, flow and stability. The tests are made under the Marshall Method and Asphalt Content.

Hot mix asphalt, aging, voids percentage, aggregates, asphalt binder.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	16
Antecedentes	16
Planteamiento del problema	17
Hipótesis	18
Objetivos Específicos	18
Justificación	18
Alcance y Limitaciones	20
Impacto	21
1. MARCO TEÓRICO	23
1.1 Marco Teórico	24
1.2 Marco Situacional	33
2. MARCO METODOLÓGICO	36
2.1 El paradigma, el enfoque metodológico y el método de investigación	37
2.2 Definición de variables	37
2.2.1 Conceptual	37
2.2.2 Operativa	39
Población y muestras (especímenes de prueba)	39
Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	41
2.3.1 Producción de la mezcla asfáltica en Planta	41
2.3.2 Contenido de Asfalto	42
2.3.3 Parámetros Marshall	54
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	64
3.1 Porcentaje de Asfalto sobre la Mezcla y sobre el Agregado	66
3.2 Granulometría	70
3.3 Gravedad Específica Máxima Teórica	78
3.4 Gravedad Específica Bruta Seca	81
3.4 Porcentaje de Vacíos	82
3.6 Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral	85
3.7 Vacíos cubiertos de Asfalto	87
3.8 Flujo y Estabilidad	89
CONCLUSIONES	95

RECOMENDACIONES	97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
ANEXOS	102
Anexo 1 Certificación del Diseño de Mezcla de la Planta Pavien	103
Anexo 2 Flujo y Estabilidad	113
Anexo 3 Análisis Estadístico	119
Anexo 4 Memoria de Cálculos de los ensayos	167
Anexo 5 Análisis Granulométrico	212
Anexo 6 Bitácoras de Recolección de Datos	218
Anexo 7 Fotografías	225

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ceniza obtenida del REFLUX.....	27
Ilustración 2. Agregado extraído de la mezcla asfáltica.....	28
Ilustración 3. VMA en una probeta de Mezcla compactada.....	31
Ilustración 4. Determinación del Flujo en especímenes para dos tipos de falla.	32
Ilustración 5. Colocación de mezcla asfáltica.....	33
Ilustración 6. Laboratorio de CACISA.	39
Ilustración 7. Planta de mezcla asfáltica PAVICEN.....	40
Ilustración 8. Muestra para la prueba de Humedad.....	47
Ilustración 9. Filtros de papel.....	48
Ilustración 10. Tricloroetileno.....	49
Ilustración 11. Extracción del ligante asfáltico.....	50
Ilustración 12. Volumen del líquido.....	51
Ilustración 13. Volumen total del líquido extraído.....	52
Ilustración 14. Proceso de la ceniza.....	53
Ilustración 15. Preparación de la mezcla para el moldeo de las patillas.....	57
Ilustración 16. Muestra de ensayo.....	58
Ilustración 17. Proceso de vacíos.....	59
Ilustración 18. Secado al ambiente.....	60
Ilustración 19. Porcentaje de Asfalto sobre la mezcla.....	67
Ilustración 20. Porcentaje de Asfalto sobre el Agregado.....	68
Ilustración 21. Fórmula de trabajo para producir mezcla asfáltica en la planta de Pavicen con los agregados provenientes del Quebrador Piedra Grande.....	70
Ilustración 22. Granulometría en la Mezcla 5.....	72
Ilustración 23. Granulometría de la Mezcla 2.....	73
Ilustración 24. Recolección de muestra asfáltica.....	74
Ilustración 25. Granulometría en Mezcla 7.....	75
Ilustración 26. Granulometría de todas las Mezclas analizadas.....	77
Ilustración 27. Gravedad Específica Máxima Teórica.....	79
Ilustración 28. Gravedad Específica Bruta Seca.....	81
Ilustración 29. Porcentaje de Vacíos.....	82
Ilustración 30. Límites inferior y superior de Vacíos.....	84
Ilustración 31. % Vacíos en el Agregado Mineral.....	85
Ilustración 32. Límite Mínimo Aceptable de % VMA.....	86
Ilustración 33. Vacíos Cubiertos de Asfalto para Mezclas Curadas y No Curadas.....	87
Ilustración 34. Límites inferior y superior de %VFA.....	88
Ilustración 35. Flujo de Mezclas Sin Curado y Con Curado.....	90
Ilustración 36. Rango de aceptación del Flujo.....	91
Ilustración 37. Estabilidad de Mezclas Sin Curado y Con Curado.....	92
Ilustración 38. Revisión de cumplimiento de Estabilidad Mínima.....	93
Ilustración 39. Curva de Falla.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tamaño de Muestra para Contenido de Asfalto	25
Tabla 2. Masa mínima de mezcla a utilizar para el espécimen de ensayo.	43
Tabla 3. Equivalentes Dimensionales.....	45
Tabla 4. Tabla de equivalencias.	55
Tabla 5. Factores de Corrección de la Estabilidad.	63
Tabla 6. Análisis estadístico.	65
Tabla 7. Cuadro de informe de ensayo de contenido de asfalto para el espécimen No. 4	66
Tabla 8. Graduación del agregado de la M5 (Sin Curar).	70
Tabla 9. Graduación del agregado de la M5 (Curada).	71
Tabla 10. Cuadro de informe de ensayo de la gravedad específica máxima teórica para el espécimen No. 6.	78
Tabla 11. Gravedad Específica Bruta Seca y % de Vacíos en la Mezcla 8.	80
Tabla 12. Tabla de comparación de Densidades en Mezclas Sin Curar y Curadas.	81
Tabla 13. Resistencia de Flujo y Estabilidad (Sin Curar).....	89
Tabla 14. Resistencia de Flujo y Estabilidad (Curada).....	89

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

La construcción de carreteras, caminos y puentes en Costa Rica está regulada por el manual CR-2010. En Costa Rica se realizan distintas pruebas de mezcla asfáltica en laboratorios certificados donde se controla que la mezcla cuente con los parámetros de diseño óptimos para que su funcionalidad sea la apropiada ante las condiciones a las que vaya a estar expuesta.

Asphalt Institute (1993) afirma:

El propósito del Método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento (p. 70).

Esta metodología de diseño es la que se ha aplicado en Costa Rica durante más tiempo, los parámetros Marshall en las especificaciones costarricenses vigentes varían de acuerdo con el uso que se le vaya a dar a la mezcla asfáltica. La prueba que se lleva a cabo en laboratorio tiene como propósito medir la resistencia al flujo plástico de especímenes cilíndricos de mezcla asfáltica para pavimentos; el tamaño máximo de agregado para esta prueba es de 25,4 mm.

El contenido de asfalto en la mezcla es importante por lo que “debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra” (Asphalt Institute, 1993, p.60).

Según el CR-2010, el transporte de la mezcla al sitio de obra establece que para mantener una temperatura constante el vehículo transportador debe usar góndolas con aislamiento térmico y cobertores ajustables, deberá ser colocado un manteado u otro material adecuado para proporcionar a la mezcla la protección necesaria ante las condiciones ambientales, la góndola debe ser lo suficientemente resistente y limpia, además, debe estar cubierta con una fina capa de material antiadherente para evitar que la mezcla se le adhiera. Sin embargo, el manual no hace ninguna mención sobre el tiempo de transporte de la mezcla al sitio de su colocación, lo que puede afectar las características de la mezcla.

En Costa Rica, generalmente, las distancias entre las plantas de mezclado y la ubicación del proyecto son extensas, por lo que los tiempos de transporte de la mezcla son significativos, lo que afecta la calidad de la mezcla. Es recomendable que las plantas mezcladoras se encuentren cerca del proyecto para evitar este tipo de situaciones; en países de primer mundo no se presenta esta problemática. La realidad del país es otra, la mezcla debe enfrentarse a largos periodos de traslado y al caos vehicular que presentan las carreteras, situaciones que producen un tiempo de transporte mayor.

Existen ocasiones en las que se realiza el muestreo en planta para posteriormente desarrollar las distintas pruebas de laboratorio que dan como resultado una calidad óptima de la mezcla, a diferencia de los resultados de las pruebas realizadas a muestras que son tomadas de campo, las cuales reflejan un deterioro en la calidad de la mezcla, por lo que se presentan interrogantes sobre qué factor afecta a la mezcla de manera que esta pierda calidad si cumplía anteriormente con la calidad requerida. En el ámbito económico y empresarial, las empresas sufren de pérdidas considerables de dinero por penalizaciones sobre la calidad de la mezcla.

Planteamiento del problema

¿Qué efecto tiene el tiempo de transporte de la mezcla asfáltica en los parámetros Marshall y contenido de asfalto?

Dando como un hecho que una planta de producción de mezcla asfáltica produce mezcla con un contenido de asfalto y diseño óptimos, se formula el problema a través de las siguientes interrogantes:

- I. ¿Qué influencia tiene el tiempo de transporte de una mezcla producida en planta, en los resultados de las pruebas de contenido de asfalto y parámetros Marshall?
- II. ¿Qué variaciones produce el tiempo de transporte a la mezcla asfáltica producida en planta?
- III. ¿Qué impacto se genera en la calidad de la mezcla debido a las variaciones que ocurren en ella como consecuencia del tiempo de transporte evidenciado en las pruebas de laboratorio?

Hipótesis

Los resultados de las pruebas realizadas bajo los parámetros Marshall y contenido de asfalto en laboratorio demostrarán que el tiempo de transporte de la mezcla asfáltica en viajes de larga duración generan modificaciones en los resultados de los especímenes Curados en sus propiedades, comparado con los de especímenes Sin Curar; lo anterior produce un deterioro en la calidad de la mezcla e incumple con los parámetros establecidos en el CR-2010.

Se generará un aumento en la gravedad específica máxima teórica, por ende, los vacíos de la mezcla que se relacionan directamente con esta también aumentarán; por lo que se determina que las propiedades mecánicas son las que se verán afectadas debido al proceso de envejecimiento, sin embargo, no las volumétricas.

Objetivo General

Evaluar el efecto del tiempo de transporte de la mezcla asfáltica en los parámetros Marshall y contenido de asfalto.

Objetivos Específicos

1. Desarrollar las pruebas Marshall y contenido de asfalto en laboratorio para muestras asfálticas en caliente en simulaciones de viajes con un tiempo de seis horas de traslado.
2. Analizar los parámetros Marshall y contenido asfáltico de muestras de mezcla asfáltica obtenidas en planta y en campo (simulación).
3. Comparar los resultados obtenidos de la muestra Sin Curar con los de la muestra Curada.

Justificación

Asphalt Institute (1993) afirma:

La única manera de saber si el cemento asfáltico entregado en la planta cumple con las especificaciones, es tomar muestras del material y hacerlas ensayar en el laboratorio. Las muestras deben ser representativas del cargamento total para poder obtener resultados confiables. Es muy probable que se obtengan resultados engañosos en los ensayos si las muestras están alteradas o contaminadas. Tales resultados podrían ser usados para rechazar un cargamento completo de cemento asfáltico, aun cuando el asfalto esté cumpliendo con las especificaciones (p. 29).

La investigación planteada aportará los resultados de los ensayos realizados en laboratorio para una mezcla asfáltica después de haber sido transportada a campo, lo que puede generar variaciones en la mezcla asfáltica, dejando como consecuencia un mal desempeño de la mezcla según los requerimientos para los cuales fue diseñada.

En Costa Rica, el manual CR-2010 es en la actualidad el documento de regulación para la construcción de carreteras, caminos y puentes. La construcción de infraestructuras en el campo de transportes se apega a los criterios, lineamientos y especificaciones del CR-2010, asegurando que la entidad que ejecute el desarrollo del proyecto deba garantizar el cumplimiento y calidad de este.

Al llevar a cabo ensayos para muestras que simulan ser tomadas en campo inmediatamente finalizado el transporte de una mezcla asfáltica, se puede demostrar el efecto que tiene el tiempo de transporte, con probabilidades de variaciones en sus características y composición. Así se evidencia que el tiempo puede ser un factor de importancia en los casos que se presente una calidad inadecuada de la mezcla, basándose en la comparación de resultados entre la muestra tomada en planta contra la de campo.

En Costa Rica, las plantas de producción de mezcla asfáltica se encuentran a distancias importantes sobre la ubicación de la mayoría de los proyectos, lo que implica largos tiempos de traslado y, adicional a eso, se debe considerar también el tiempo en el que el vehículo transportador estará en tráfico, lo que genera un tiempo de traslado aún mayor. De acuerdo con Asphalt Institute (1993), la cercanía de la planta de mezclado con el proyecto es importante; al ser distinta la realidad en Costa Rica las mezclas se encuentran expuestas a variaciones en su calidad por tal condición, por lo que es bueno considerar a través de la investigación la posibilidad de realizar la mezcla asfáltica en campo en aquellos proyectos que se encuentren a largas distancias de las distintas plantas de mezclado, evitando así una pérdida de calidad en esta.

Al considerarse un factor el tiempo de transporte que en efecto genere variaciones en la mezcla durante el proceso que conlleva a la colocación de mezcla asfáltica, puede evitarse el incumplimiento de especificaciones y calidad. Si la calidad de la mezcla en el proyecto no es la óptima, se genera una pérdida para el contratista que recibirá el pago y sanciones, basado en esos resultados, sin importar que la calidad de la muestra tomada en campo fuera la idónea.

El resultado de la investigación generará un conocimiento más profundo sobre los cambios que puede sufrir una mezcla asfáltica ante distintas condiciones a las que se vea expuesta. Dichas condiciones pueden influir sustancialmente en el funcionamiento de la mezcla, lo que genera cambios en el diseño original para el cual se realizaron los distintos estudios a los que estará expuesta, dando un resultado negativo al asumir que la mezcla presentará una composición distinta que no será capaz de resistir las condiciones para las que fue diseñada.

Los ensayos se realizan con el objetivo de verificar si la mezcla asfáltica cumple con la calidad para la que fue solicitada; en caso de incumplimiento, las empresas a cargo del suministro de mezcla se ven afectadas, económicamente hablando, por los altos montos de castigo que se fijan en los contratos. Se han presentado casos en los que las pruebas de laboratorio de la muestra tomada en planta cumplen con la calidad de la mezcla, pero la muestra tomada en planta presenta resultados distintos y un deterioro en la calidad; con esta investigación se podrá determinar si el tiempo es, en efecto, el factor que puede estar dañando la mezcla asfáltica.

Se contribuye a la posibilidad de generar conocimiento acerca de los efectos que atribuye el tiempo de transporte de una mezcla asfáltica para una mejor optimización del diseño y resultados en la calidad de la mezcla.

Alcance y Limitaciones

El alcance de esta investigación es demostrar el efecto que tiene el tiempo de transporte de una mezcla asfáltica producida en una única planta de mezclado, realizando diez muestras de mezcla asfáltica en un laboratorio, tanto la planta de mezclado como el laboratorio deben contar con su respectiva acreditación y cumplir con los parámetros establecidos en el CR-2010, en la división 400, sección 401 para mezclas de concreto asfáltico en caliente.

La mezcla asfáltica que se analizará es proveniente de una única planta de producción de asfalto, llamada PAVICEN, ubicada en la provincia de Alajuela. Se decide realizar los análisis de esta planta debido a que es considerada como una de las plantas asfálticas que produce una de las mejores mezclas asfálticas en Costa Rica.

Los muestreos se llevan a cabo en planta y, posteriormente, se procede a mantener una muestra durante seis horas en un horno a 150°C, como simulación del tiempo de traslado de la

mezcla asfáltica, es decir, simulando ser la muestra obtenida en campo. Una vez obtenidas las muestras, se realizan los siguientes ensayos: 1) análisis mecánico del agregado extraído de mezclas asfálticas, 2) determinar el contenido de asfalto de mezclas asfálticas en caliente mediante el método de ignición, 3) extracción cuantitativa del ligante asfáltico de mezclas asfálticas (Método de Reflux), 4) determinar el flujo plástico de mezclas asfálticas utilizando el aparato Marshall. Cada uno de los métodos de ensayo son realizados con el equipo y procedimiento pertinente para cada una de las pruebas, según las normas ASSHTO y ASTM.

Se analiza una mezcla asfáltica, limitándose a la producción de la planta (PAVICEN). Para efectos de esta investigación se realizarán ensayos únicamente a mezclas asfálticas con diseño y un tamaño máximo nominal de 12,5 mm, excluyendo especímenes de tamaños distintos a 12,5 mm. La calidad del agregado es distinta para cada planta, de acuerdo con su lugar de extracción, algunos pueden ser menos permeables que otros y, por ende, presentan una mayor absorción de líquido asfáltico. Esta investigación se realiza con agregado de una planta en específico; las muestras que sean analizadas están sujetas a la producción y proyectos vigentes en la planta.

El factor humano se presenta como una limitante para la investigación por la variación que pueda generar en la producción de las distintas mezclas en análisis.

La investigación se basa en el análisis de dos muestras por cada viaje de entrega a campo; el primero, de la muestra tomada en planta; y el segundo, de la muestra que simula ser tomada en campo con la finalidad de demostrar la calidad de la mezcla en el momento de colocación.

Se limita la investigación al análisis de diez mezclas asfálticas debido al tiempo que se posee para llevar a cabo la investigación.

Impacto

Los resultados de esta investigación consideran el factor tiempo de transporte de una mezcla asfáltica en el diseño y elaboración de la misma con el objetivo de obtener un mejor resultado en su calidad cuando sea colocada en campo, además de generar un estudio de factibilidad entre la elaboración de la mezcla en planta o en campo en proyectos a distancias considerables de las plantas de mezclado, asegurando la calidad de la muestra y que se cumplan los requerimientos para los cuales fue planificado el diseño y, también, asegurar el cumplimiento de la regulación

del CR-2010. Se brindará un mayor entendimiento en los análisis que presenten variaciones en los resultados de muestras asfálticas que simulan ser tomadas en campo.

Si en efecto el tiempo crea un deterioro en la mezcla para cuando la misma llega a campo, se puede analizar ese factor en el diseño de mezclas, evitando no solo la pérdida de calidad, sino también pérdidas económicas en un proyecto.

Si se logra demostrar que el tiempo genera un deterioro en la calidad se podría realizar, eventualmente, una corrección ante este factor, asegurando la calidad de la muestra asfáltica al ser colocada, lo que se refleja en mejores condiciones en las carreteras. Esto actúa como un impacto social positivo porque las carreteras estarían cumpliendo con las necesidades y condiciones a las que se van a enfrentar de forma satisfactoria, brindándoles mejores condiciones a los usuarios.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Marco Teórico

Las obras de infraestructura vial tienen un alto nivel de importancia para el desarrollo del país, por lo que es importante, para los profesionales y empresas que se desarrollan en este campo, mejorar el rendimiento y cumplir con la calidad de mezcla asfáltica al menor costo posible.

En una mezcla asfáltica la combinación del asfalto y el agregado debe ser en proporciones exactas. Las proporciones relativas de ambos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y el desempeño de esta cuando el pavimento sea terminado.

Se deben realizar análisis en el laboratorio para determinar si la mezcla asfáltica producida cumple con el desempeño en la estructura del pavimento, para lo que se obtiene una muestra de la mezcla a la cual se le realizan los ensayos correspondientes para determinar dicho desempeño.

El concepto del Método Marshall de diseño de mezclas de pavimento fue desarrollado por Bruce Marshall, ex-Ingeniero de Bitúmenes del Departamento de Carreteras del Estado de Mississippi.

El propósito del Método Marshall es el diseño de mezcla asfáltica, en el caso de Costa Rica, el método no se utiliza únicamente como método de diseño, sino que también es el que se utiliza en los laboratorios para realizar los distintos ensayos de calidad, una vez que la muestra sea producida.

Asphalt Institute:

El propósito del Método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento. El Método Marshall, como se presenta en esta

sección, solo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado con viscosidad o penetración, y que contienen agregados con tamaños máximos de 25.0 mm (1 pulgada) o menos. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación.

Las normas AASHTO y ASTM son las que definen cómo realizar los ensayos de calidad en el laboratorio y en las que se basa el CR-2010, que es el manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes de Costa Rica. Basada en ellas es que se realizan las distintas pruebas y que se regula el cumplimiento adecuado de los procesos por medio de agentes reguladores como el Ente Costarricense de Acreditación (ECA) y el Consejo nacional de Vialidad (CONAVI).

La prueba de contenido de asfalto se basa en la norma AASHTO T 164-14. El tamaño de la muestra debe ser de acuerdo con el tamaño máximo nominal del agregado de la MAC:

Fuente: propia

Tamaño Máximo Nominal del Agregado		Masa Mínima de Muestra, kg
mm	in.	
4.75	No. 4	0.5
9.5	3/8 in.	1
12.5	1/2 in.	1.5
19.0	3/4 in.	2
25.0	1 in.	3
37.5	1 1/2 in.	4

Tabla 1. Tamaño de Muestra para Contenido de Asfalto

La MAC es extraída con tricloroetileno con el equipo que aplica para el método en particular. El contenido de ligante asfáltico es calculado a diferencias respecto de la masa del agregado extraído, contenido de humedad, y material mineral en el extracto. El contenido de ligante asfáltico se expresa como el porcentaje de una masa de mezclas sin humedad.

La prueba puede ser utilizada para determinar cantidades de ligante asfáltico en MAC y en muestras de pavimento para especificaciones de aceptación, evaluación de servicio, control de calidad e investigación.

Fernández, Rondón y Reyes (2011) mencionan:

La temperatura es sin duda el primer agente externo al cual es sometida la mezcla asfáltica para su elaboración, el asfalto es elevado a temperaturas entre 150 y 170 grados centígrados, ambiente en el cual ocurre la volatilización del asfalto y en consecuencia ocurre alguna pérdida de masa, adicionalmente ocurre la polimerización de algunas moléculas pequeñas. La volatilización del asfalto inicia a los 150 °C y la cantidad de volátiles se puede incrementar al doble cada 10 o 12°C adicionales, este proceso ocurre por la evaporación de los componentes aromáticos del asfalto y en todos los casos la volatilización está acompañada de reacciones de oxidación lo que influye directamente en el incremento de la rigidez.

En 1961, Traxler listó cinco factores que influyen el endurecimiento de los asfaltos en orden de importancia, ubicándose la volatilización y el tiempo en el segundo y tercer lugar, respectivamente. Se puede aludir a este fenómeno como el causante de la disminución en el porcentaje de asfalto en mezclas con envejecimiento.

Fuente: propia.



Ilustración 1. Ceniza obtenida del REFLUX.

El análisis mecánico del agregado extraído de mezclas asfálticas se basa en la norma AASHTO T 30-15. Este método es utilizado para determinar la graduación de los agregados extraídos de la mezcla asfáltica. Los resultados son utilizados para determinar conformidad con la distribución del tamaño de la partícula con requerimiento aplicable y para proveer los datos necesarios para el control de producción de varios agregados que son utilizados en mezclas asfálticas.

Fuente: propia.



Ilustración 2. Agregado extraído de la mezcla asfáltica.

El tamaño de la muestra consistirá en todo el lote o una muestra representativa del agregado obtenido, de acuerdo con las normas AASHTO T 164 o T 308.

En Costa Rica, los agregados presentan propiedades de alta absorción de alrededor del 2 %, por lo que es importante considerar el efecto que genera esta condición en el asfalto efectivo de la mezcla, debido a que el asfalto que sea absorbido por el agregado no tendrá ningún tipo de función dentro de la mezcla asfáltica.

El método estándar de determinación de la gravedad máxima teórica se basa en la norma AASHTO T 209-12; una muestra pesada de MAC secada al horno en condiciones sueltas se coloca en un contenedor de vacío tarado. Se agrega suficiente agua a una temperatura de $25 \pm 0.05^\circ\text{C}$ para sumergir completamente la muestra. El vacío se aplica durante 15 ± 2 minutos para, gradualmente, reducir la presión residual en el contenedor de vacío hasta 3.7 ± 0.3 kPa. Al finalizar el periodo de vacíos, el vacío se libera gradualmente. El volumen de la muestra de MAC es obtenido llenando el contenedor de vacío totalmente de agua y se determina la masa en aire. En el momento de pesaje, la temperatura es medida, al igual que la masa. De las medidas de la masa y el volumen, se calcula la gravedad o densidad específica a 25°C .

Las gravedades específicas máximas teóricas y densidades de mezclas asfálticas para pavimentos son propiedades intrínsecas, cuyos valores están influenciados por la composición de la mezcla en términos de los tipos y cantidades de agregados y material asfáltico. Estas propiedades se utilizan para calcular los valores del porcentaje de vacíos de aire en la mezcla asfáltica compactada para pavimentos. Son esenciales para el cálculo de la cantidad de asfalto absorbido por los poros internos de las partículas de agregado individuales en las mezclas asfálticas para pavimentos.

La gravedad específica máxima teórica y la gravedad específica bruta seca parten del principio de flotación de Arquímedes, que indica que todo cuerpo sumergido dentro de un fluido experimenta una fuerza ascendente llamada empuje, equivalente al peso del fluido desalojado por el cuerpo; el objeto se hunde si su peso es mayor que el peso del fluido desalojado (desplazado). El objeto flota cuando su peso es menor o igual al peso del fluido desplazado.

La gravedad específica bruta seca está basada en la norma T 275-17, sigue el principio antes mencionado y está directamente relacionada con la gravedad específica máxima teórica. La densidad es una característica muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero. La densidad obtenida en el laboratorio se convierte en la densidad patrón y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones, usualmente, requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio. Esto se debe a que muy rara vez la compactación en sitio logra las densidades que se obtienen usando los métodos normalizados de compactación de laboratorio.

Para el porcentaje de vacíos se utilizan de referencia las normas AASHTO T 166-16 Y AASHTO T 269-14. Los vacíos se relacionan directamente con la gravedad específica máxima teórica y la gravedad específica bruta seca. Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire o bolsas de aire que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios a donde pueda fluir el asfalto durante esta compactación adicional. El porcentaje permitido de vacío (en muestra de laboratorio) está entre 3 y 5 por ciento, dependiendo del diseño específico.

La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire, y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto; una condición donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie.

El porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA) son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado de una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

El VMA representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (de todo el asfalto menos la porción que se pierde por absorción, en el agregado) y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Existen valores mínimos para VMA, los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla, en la imagen se ilustra el concepto de VMA.

Fuente: Asphalt Institute.

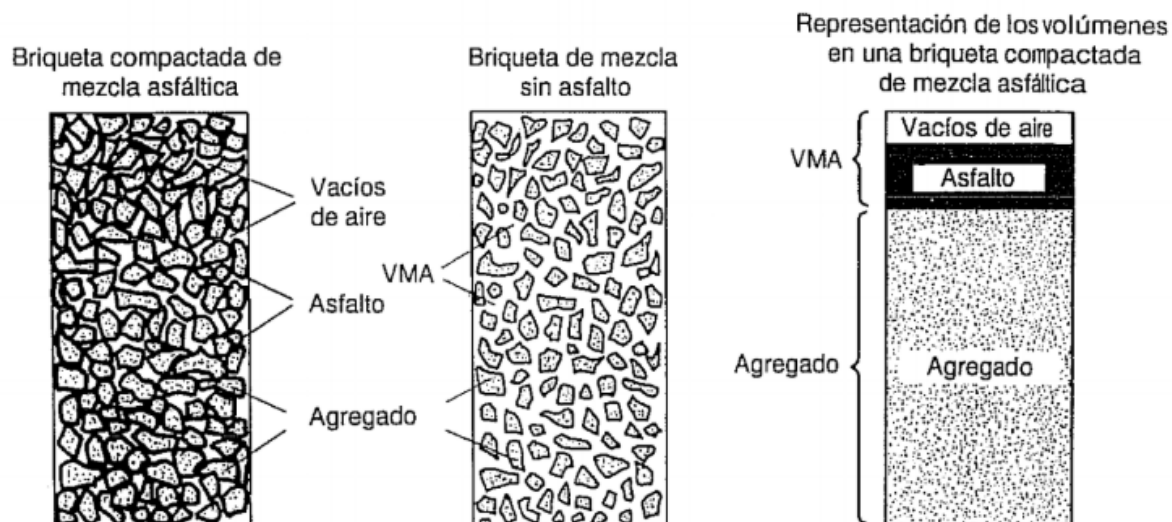


Ilustración 3. VMA en una probeta de Mezcla compactada

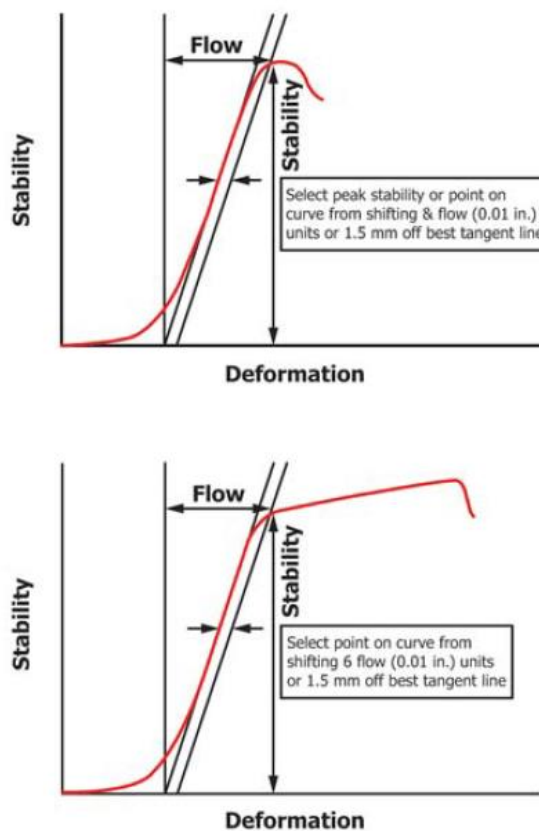
Los vacíos cubiertos de asfalto (VFA) son el porcentaje del espacio de vacíos intergranular entre las partículas de agregado (VMA) que están cubiertas de asfalto.

El flujo plástico de mezclas asfálticas mide la deformación bajo carga que ocurre en la mezcla asfáltica. Es la capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito vehicular. Esta capacidad es una función de la cohesión y la fricción interna del material. La norma que rige el ensayo de Fluido es la AASHTO T 245-15. Este método de ensayo cubre la medición de la resistencia al flujo plástico de especímenes cilíndricos de mezcla asfáltica para pavimento, cargados en su superficie lateral por medio del equipo Marshall. Este método de ensayo es utilizado con mezclas que contienen cemento asfáltico y agregado de un tamaño de 25,4 mm.

Tanto el flujo como la estabilidad se basan en la norma ASTM D6927-15. La estabilidad Marshall es la carga máxima de resistencia obtenida durante una tasa constante de deformación de la secuencia de carga. Sin embargo, dependiendo de la composición y el comportamiento de la mezcla, se ha observado un tipo de falla menos definido, como se ilustra en la Fig. 1. Como método alternativo, la estabilidad Marshall también se puede definir como la carga obtenida cuando la tasa de aumento de carga comienza a disminuir, de tal manera que la curva comienza a

volverse horizontal, como se muestra en la gráfica inferior de Fig. 1. La magnitud de la estabilidad Marshall varía con el tipo de agregado y tipo, grado y cantidad de betún.

Fuente: ASTM



2

Ilustración 4. Determinación del Flujo en especímenes para dos tipos de falla.

El flujo Marshall es una medida de deformación (elástica más plástica) de la mezcla de asfalto determinada durante la estabilidad prueba. En ambos tipos de fallas, el flujo Marshall es la deformación total de la muestra desde el punto donde se proyecta la tangente de la parte lineal de la curva; se interseca con el eje x (deformación) hasta el punto donde la curva comienza a volverse horizontal. Como se muestra en la Fig. 1, este último punto generalmente corresponde a la estabilidad máxima, sin embargo, como alternativa cuando la condición del fallo no está claramente definida, se puede seleccionar como el punto en la curva que es 0.01 pulg. (1.5 mm) hacia la derecha de la línea tangente. No hay un valor ideal, pero hay límites aceptables. Si el ligante asfáltico seleccionado como el óptimo fluye por encima del límite superior, la mezcla se

considera demasiado plástica o inestable y si está por debajo del límite inferior, se considera demasiado frágil.

1.2 Marco Situacional

En Costa Rica, la construcción de vías públicas le compete al Estado. Tiene la capacidad de ejecutar el desarrollo de vías de comunicación, así como la capacidad de concesionarlas y adjudicarlas. En el país, el MOPT es un ente desarrollador de obras de infraestructura vial por cuenta propia y mediante terceros; realiza subcontratos con empresas privadas que desarrollen la obra supervisadas por el MOPT.

Fuente: propia.



Ilustración 5. Colocación de mezcla asfáltica.

Para el caso de Costa Rica, existe una limitante en la oferta del ligante asfáltico que hay en el mercado, existiendo un único tipo (AC-30) disponible bajo el monopolio de RECOPE. La problemática de la situación es que se utiliza el mismo tipo para todas las mezclas asfálticas, a pesar de que las condiciones a las que van a estar expuestas son distintas para cada caso en

específico, por lo que lo más recomendable sería utilizar el que se adecue a las necesidades específicas de cada una.

Actualmente, las empresas privadas son quienes desarrollan la mayor parte de los proyectos de obra pública; la administración es más un agente de supervisión que de ejecución. El CR-2010 es la herramienta de referencia para ambas partes, que establece todas las directrices que se deben seguir durante la construcción de infraestructura vial, así como los parámetros de cumplimiento y aceptación de esta.

Las empresas encargadas del desarrollo de las distintas obras deben realizar todos los ensayos necesarios en laboratorio y deben, también, contar con bitácoras que respalden todos los resultados obtenidos en los distintos ensayos. El ente administrador puede tener acceso a dichos documentos cuando le parezca conveniente. La finalidad de los ensayos es demostrar las condiciones mecánicas y físicas en las que se encuentra la mezcla asfáltica colocada en campo, condiciones que deben cumplir con el diseño y la calidad óptima de la mezcla. Los contratos definen las penalizaciones que recibirá la empresa encargada en caso de que los resultados no sean los apropiados.

En Costa Rica, la metodología Marshall ha sido predominante para el diseño y control de pavimentos asfálticos. Las pruebas reportan resultados numéricos referentes a las propiedades que presentan las distintas mezclas asfálticas. Estas son: 1) análisis mecánico del agregado extraído de mezclas asfálticas, 2) contenido de asfalto, 3) gravedad específica, 4) gravedad máxima teórica, 5) estabilidad y flujo plástico y 6) contenido de vacíos. Adicionalmente, se desarrollan pruebas de durabilidad de la mezcla como la de resistencia retenida y de tensión diametral, estas últimas no son competentes para esta investigación.

Lannane (2014) afirma:

La metodología de diseño Marshall tiene como finalidad fundamental encontrar la combinación adecuada de agregados minerales y cemento asfáltico, que permita brindarle a la mezcla asfáltica resultante una serie de características físicas y de resistencia que se establecen tanto en los requisitos contractuales de calidad, como en el diseño de la mezcla asfáltica. Las Disposiciones Viales de Costa Rica definen los requisitos que cuantifican la calidad de la mezcla asfáltica a través de la definición de valores límites de algunos parámetros específicos para la mezcla

asfáltica, tanto de la metodología Marshall como de características volumétricas, a saber: contenido de vacíos de la mezcla, estabilidad, flujo, vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos llenos de asfalto (VFA), correspondientes de la metodología Marshall y el parámetro volumétrico de la relación polvo/asfalto.

Las pruebas mencionadas anteriormente se le realizan únicamente a una muestra tomada en planta, posteriormente, se le realizan los análisis de resistencia retenida y de tensión diametral a núcleos extraídos de la carpeta asfáltica ya colocada. En muchas ocasiones se obtienen resultados óptimos para las muestras de planta, sin embargo, los resultados de las pruebas a los núcleos extraídos cuando ya fue colocada la mezcla presenten resultados poco convenientes, lo que evidencia que el pavimento asfáltico no va a cumplir completamente con las necesidades para las que fue diseñado y genera una pérdida económica a la empresa encargada de su producción. La idea es tomar una segunda muestra en campo en el momento en que se esté colocando, para lo que se mantendrá una muestra durante seis horas en un horno a 150 °C, como simulación del tiempo de transporte, y se procederá a realizársele los ensayos correspondientes. La mezcla se puede tomar como comparación ante la muestra tomada en planta y analizar si existen variaciones entre los resultados y así poder definir si hay un factor externo que pueda ser el responsable del deterioro en la calidad de la mezcla.

En Costa Rica, las plantas que producen mezcla asfáltica generalmente se encuentran a largas distancias de los proyectos, adicionalmente, debe considerarse la situación de congestión vial existente en el país. Estas situaciones generan largos tiempos de viaje, haciendo que la mezcla asfáltica deba permanecer por largos periodos de tiempo en la vagoneta.

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 El paradigma, el enfoque metodológico y el método de investigación

El paradigma de la investigación está basado en la interpretación de los resultados y es crítico. El enfoque metodológico es cuantitativo, de datos exactos que son interpretados para el análisis de los resultados. Para lograr los resultados se deben implementar cálculos matemáticos, probabilísticos y estadísticos para desarrollar conclusiones teóricas. El método de investigación es experimental e hipotético, lo que le permite al autor realizar un análisis libre de la información recolectada durante el proceso de la investigación.

2.2 Definición de variables

2.2.1 Conceptual

La metodología Marshall es la que ha sido aplicada durante más tiempo en Costa Rica para el diseño de mezcla asfáltica. La finalidad de la metodología es alcanzar la combinación adecuada de los agregados minerales y el cemento asfáltico para obtener una serie de características físicas y de resistencia en la mezcla asfáltica, las cuales son establecidas en los requisitos contractuales de calidad como en el diseño de la mezcla asfáltica.

Con el adecuado acomodo entre las partículas de agregado y el asfalto, al conformar la mezcla asfáltica se garantiza que ésta pueda soportar cambios volumétricos debido a la compactación por el efecto de tráfico, buscando también la combinación óptima para su exposición a los efectos climáticos y el paso de las cargas de tránsito que circularán sobre la carpeta asfáltica.

Es importante que el contenido de asfalto sea el óptimo para una combinación específica de agregado, lo que es determinado bajo la metodología Marshall. La mezcla asfáltica en análisis es caliente, por lo que el método brinda información sobre las propiedades de la mezcla en esta condición y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

(Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales [Lanamme], 2014) afirma:

El diseño de la mezcla asfáltica seleccionado debe ser aquel que cumpla de la manera más económica con todos los parámetros de diseño establecidos en la metodología Marshall, cumpliendo con los siguientes aspectos:

- Asfalto suficiente para formar una película que cubra el agregado y lo mantenga unido y provea una capa a prueba de agua con el propósito de garantizar su durabilidad.
- Suficiente resistencia de la mezcla a la deformación permanente por la carga de tránsito a la que es sometida durante la operación de la carretera.
- Porcentaje de vacíos suficiente para permitir la compactación adicional como producto de las cargas de tránsito sin presentar deterioro, ni exudación de asfalto, ni comprometer la permeabilidad de la mezcla asfáltica.
- Trabajabilidad suficiente para permitir la colocación y compactación eficiente sin presentar segregación (p. 2).

Los ensayos de laboratorio bajo los parámetros Marshall consisten en el análisis de GBS, Máxima Teórica, Estabilidad y flujo plástico y Cálculo de vacíos para una muestra asfáltica; con estos análisis se determina si la calidad del material es la óptima, de acuerdo con el diseño de mezcla asfáltica realizado previamente, basado en las especificaciones del CR-2010. Los diseños de mezcla son específicos para cada proyecto, según a las condiciones a las que vaya a estar expuesto, además, la producción y materiales provienen de una única fuente.

Fuente: propia.



Ilustración 6. Laboratorio de CACISA.

Por su parte, el ensayo para contenido de asfalto Extracción Cuantitativa del Ligante Asfáltico de Mezclas Asfálticas (Método de REFLUX) determina la cantidad de contenido de ligante asfáltico en mezclas asfálticas y en muestras provenientes del pavimento colocado. Al realizar el proceso se genera la separación de los agregados y el ligante asfáltico; éstos agregados pueden utilizarse para análisis granulométrico, utilizando la Instrucción de Ensayo para el Análisis Mecánico del Agregado Extraído de Mezclas Asfálticas. Quedan exentas de este ensayo las mezclas asfálticas que contengan alquitrán de hulla.

2.2.2 Operativa

Las pruebas han sido desarrolladas bajo la normativa de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), la American Society for Testing and Materials (ASTM) y el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO).

Población y muestras (especímenes de prueba)

- i. Todos los especímenes son de una única planta de fabricación de mezcla asfáltica, PAVICEN.
- ii. Todos los especímenes fueron analizados bajo los parámetros Marshall y contenido de asfalto.
- iii. Todos los especímenes tienen un tamaño máximo de agregado de 12,5 mm.

- iv. Todos los especímenes están compuestos de materia prima (agregado y asfalto) proveniente de la misma fuente (Quebrador Piedra Grande en Guápiles).
- v. Todas las pruebas realizadas se hicieron bajo el mismo método de ensayo.
- vi. Todas las pruebas se realizaron con el mismo equipo, debidamente calibrado.
- vii. Se tomaron y compararon dos muestras (una en planta y una en campo) para todas las mezclas asfálticas analizadas.

Fuente: PAVICEN Ltda.



Ilustración 7. Planta de mezcla asfáltica PAVICEN.

Las mezclas asfálticas de las cuales se obtuvieron las muestras y, posteriormente, se realizaron las pruebas de laboratorio, fueron producidas en la planta de PAVICEN, con un tamaño máximo de 12,5 mm, proveniente del Quebrador Piedra Grande en Guápiles. El cemento asfáltico utilizado proviene de RECOPE, tipo AC 30. El diseño se conforma de un agregado fino y uno grueso.

Para las pruebas realizadas, según parámetros Marshall, se extrajo una muestra en forma aleatoria del lote sometido a inspección. Para la prueba de Gravedad Específica Máxima Teórica, desarrollada según la norma AASHTO T 209 (Theoretical Specific Gravity and Density of Hot-Mix Asphalt Paving Mixtures), se tomó una cuarta parte de la muestra cuarteada y, posteriormente, se dividió en dos partes con pesos entre 1500 – 1700 g, aproximadamente, y se realizó el análisis para ambas partes.

Para la prueba de Gravedad Específica de Mezcla, Cálculo de Vacíos y Resistencia al Flujo Plástico para especímenes realizados en laboratorio, según las normas AASHTO T 245 (Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus), la temperatura de compactación del cemento asfáltico tiene una viscosidad de (280 ± 30) cSt. Con el flujo plástico se midió la deformación de la mezcla asfáltica, de modo que se determinó la capacidad de resistencia ante desplazamiento y deformación bajo las cargas de tránsito vehicular. Esta capacidad es una función de la cohesión y la fricción interna del material.

Para la prueba de Extracción Cuantitativa del Ligante Asfáltico de Mezclas Asfálticas (Método de REFLUX), según a la norma AASHTO T 164, la extracción del asfalto se realizó con el equipo aplicable a este método en particular y con tricloroetileno (TCE). El cálculo de ligante asfáltico se obtiene por diferencias de la masa del agregado extraído, contenido de humedad y la parte mineral en efluente. El contenido de ligante asfáltico se expresa como el porcentaje de masa de la mezcla libre de humedad.

Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

2.3.1 Producción de la mezcla asfáltica en Planta

2.3.1.1 Origen de los materiales

Los materiales que componen las distintas muestras analizadas provienen de las mismas fuentes. La fuente de obtención, para el caso del agregado, es el quebrador Piedra Grande, en Guápiles, provincia de Limón. Para el caso del cemento asfáltico AC 30, la fuente es RECOPE. El proceso de producción de la mezcla asfáltica analizada se realizó en la planta de producción PAVICEN, ubicada en El Coyol, Alajuela. En la planta se cuenta con apilamientos principales para los agregados de piedra y polvo de piedra. El material utilizado para la producción de las mezclas asfálticas analizadas fue tomado de estos apilamientos.

2.3.1.2 Muestreo

El muestreo de las distintas muestras obtenidas se realizó aleatoriamente, de los distintos lotes de mezcla sometidos a inspección. Se realizó el procedimiento bajo las normas, para un total de diez mezclas asfálticas y veinte ensayos de laboratorio (dos análisis por cada mezcla).

2.3.2 Contenido de Asfalto

2.3.2.1 Equipo

- Horno: temperatura a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ para el calentamiento de la muestra.
- Horno: temperatura a $149\text{-}163\text{ }^{\circ}\text{C}$ para el secado de la muestra si el contenido de humedad no se determina.
- Bandeja lisa: suficientemente grande para que se pueda distribuir la mezcla asfáltica en forma de capa fina sobre su fondo.
- Balanza: con una resolución igual o mejor a 0,1% de la masa del espécimen de ensayo/prueba (0,1 g de división mínima).
- Plantilla eléctrica: con rango ajustable de calentamiento. Capacidad de calentamiento suficiente para permitir la evaporación o el reflujo del solvente.
- Recipiente graduado de boca estrecha de 1000 ml a 2000 ml de capacidad.
- Recipiente para ignición, cuya capacidad es mayor a 125 ml.
- Disecador.
- Mufla: capaz de mantener temperaturas entre $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $600\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Aparato de extracción.
- Frasco de vidrio: cilíndrico, plano, hecho de cristal resistente al calor.
- Dos conos cilíndricos de metal.
- Condensador.
- Papel filtro.
- Aislante térmico: de aproximadamente 3 mm de espesor.
- Plantilla eléctrica.

2.3.2.2 Reactivo

El tricloroetileno (TCE): grado reactivo.

2.3.2.3 Preparación de los especímenes de ensayo

Se separó la muestra manualmente, con una espátula o cuchara plana, luego se dividió y redujo al tamaño de ensayo adecuado. Se determinó la masa de la muestra, W1.

El tamaño de la muestra depende del tamaño máximo nominal del agregado de la mezcla, conforme a los requerimientos mostrados en la

Fuente: CACISA

Tamaño Máximo Nominal del agregado		Masa Mínima de Mezcla
mm	In.	Kg
4,75	(No. 4)	0,5
9,5	3/8	1
12,5	1/2	1,5
19,0	3/4	2
25,0	1	3
37,5	1 1/2	4

Tabla 2. Masa mínima de mezcla a utilizar para el espécimen de ensayo.

Se secó la muestra en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C, se determinó el contenido de humedad de la muestra, de manera que se pueda corregir la pérdida de la masa medida para la

humedad. Se registra la pérdida de masa como W2. La masa constante se define como una pérdida menor a 0,05% de la masa, de intervalos consecutivos de 15 minutos.

Fuente: CACISA

Mm	in.	mm	in.	mm	in.
0,8	1/32	42,9	1 11/16	155,6	6 1/8
1,6	1/16	44,5	1 3/4	157,2	6 3/16
2	5/64	47,6	1 7/8	158,8	6 1/4
3,2	1/8	50,8	2	163,5	1/5
4	5/32	55,6	2 3/16	165,1	6 1/2
4,8	3/16	56,4	2 7/32	187,3	7 3/8
5,6	7/32	57,2	2 1/4	203,2	8
6,4	1/4	58,7	2 5/16	247,7	9 3/4
7,9	5/16	63,5	2 1/2	254	10
9,5	3/8	66,7	2 5/8	257,2	10 1/8
12,7	1/2	71,4	2 13/16	260,4	10 1/4
15,9	5/8	76,2	3	279,4	11

19,1	3/4	88,9	3 1/2	304,8	12
25,4	1	95,3	3 3/4	320,7	12 5/8
28,6	1 1/8	101,6	4	330,2	13
30,2	1 3/16	108	4 1/4	342,9	13 1/2
35,7	1 13/32	127	5	355,6	14
38,1	1 1/2	138	5 7/16	368,3	14 1/2
40,5	1 19/32	149,2	5 7/8	384,2	15 1/8
41,3	1 5/8	152,4	6	393,7	15 1/2
47,6	1 7/8	154,8	6 3/32	406,4	16
0,9 mm	20 calibre	3,2 mm	#8 B&S	26 qt	24,6 L
1,2 mm	18 calibre	4,75 mm	No. mesh		

Tabla 3. Equivalentes Dimensionales.

2.3.2.4 Contenido de humedad

Se preparó una porción de ensayo para la determinación del contenido de humedad y la extracción y se realizó el cálculo de la masa de agua.

2.3.2.5 Procedimiento

2.3.2.5.1 Humedad

Se toma una muestra adicional con un peso inicial (M_i), la muestra debe ser secada en un horno a una temperatura entre $163\text{ °C} \pm (14\text{ °C})$; la primera medición se realiza a los noventa minutos (90 min) de haber ingresado la mezcla al horno, posteriormente, se toman mediciones cada treinta minutos (30 min) hasta alcanzar un porcentaje de variación $\geq 0,05\%$.

% de Variación de Masa =

$$\frac{100 \times (M_p - M_n)}{M_n}$$

Ecuación 1

donde,

M_p = Masa previa (g)

M_n = Masa nueva (g)

% de Humedad =

$$\left(\frac{M_i - M_f}{M_f}\right) \times 100$$

Ecuación 2

donde,

M_i = Peso de la masa inicial antes de iniciar el proceso de secado

M_f = Peso de la masa al alcanzar el porcentaje de variación adecuado

Fuente: propia.



Ilustración 8. Muestra para la prueba de Humedad.

2.3.2.5.2 Extracción

Se secan dos hojas de papel filtro, una para cada uno de los conos metálicos utilizados, hasta lograr una masa constante, en un horno a temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. De acuerdo con CACISA (2017), es necesario secar los filtros durante una hora para alcanzar una masa constante.

Fuente: propia.

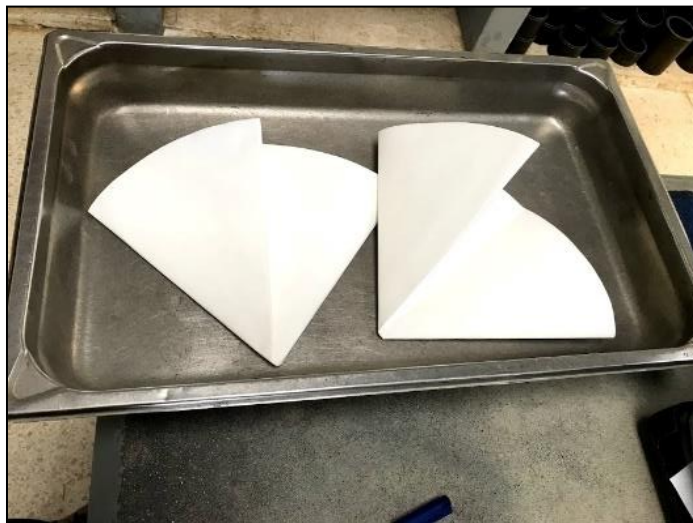


Ilustración 9. Filtros de papel.

Se determina la masa de cada marco junto con el revestimiento de papel de filtro, con una aproximación de 0,5 g. Se registra la masa y se identifica cada marco con un número. Se procede a determinar la masa del espécimen de ensayo y se coloca al espécimen de ensayo en los conos, distribuyéndose en partes iguales entre los dos conos. Se pone el tricloroetileno dentro del frasco de vidrio y se coloca el cono inferior dentro del mismo.

Fuente: propia.



Ilustración 10. Tricloroetileno.

Se coloca el aislante térmico sobre la plantilla y luego el frasco de vidrio. Se cubre con el condensador. Se hace circular el flujo suave de agua fresca a través del condensador. Se ajusta la temperatura en la plantilla hasta que el solvente comience a ebulir suavemente y se vea un flujo continuo de tricloroetileno. Es importante realizar revisiones constantes para verificar que el tricloroetileno está fluyendo correctamente. El proceso se lleva a cabo hasta alcanzar un color claro en el solvente que fluye de los conos, cuando esto pasa se apaga la plantilla y se espera a que el sistema se enfríe para poder manipularlo; se cierra el flujo de agua sobre el condensador y se retira del frasco.

Fuente: propia.



Ilustración 11. Extracción del ligante asfáltico.

Se remueven los conos del frasco. Se secan al aire y luego se secan hasta lograr una masa constante en un horno o en un calentador eléctrico a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se realizan mediciones de masa cada dos horas hasta que el porcentaje de variación no sea mayor al 0,01%.

2.3.2.5.3 Material Mineral

Método de la Ceniza

Se determina el volumen de extracto total.

Fuente: propia.



Ilustración 12. Volumen del líquido.

Fuente: propia.



Ilustración 13. Volumen total del líquido extraído.

Se condiciona el contenedor a utilizar en el horno, es decir, se elimina la humedad del contenedor. Inmediatamente se vierten 100 ml del extracto total en el contenedor. Se evapora hasta secar en una plantilla (o cocina de gas), este proceso debe realizarse hasta alcanzar una consistencia tipo ceniza.

Fuente: propia.



Ilustración 14. Proceso de la ceniza

Se procede a calentar la ceniza obtenida en el proceso anterior en una mufla, a una temperatura de 500 °C y 600 °C, hasta que alcance un color rojizo, y se enfría. Se determina la masa de la ceniza. Secar en un horno a temperatura de 110 °C ± 5 °C, durante una hora, se enfría en un disecador y se determina la masa en una balanza. Se realiza el cálculo del material mineral:

$$W4 \text{ (Masa del material mineral)} = G \times (V1 / V2)$$

Ecuación 3

donde,

G = Masa de la ceniza

V1 = Volumen total del líquido

V2 = Volumen de la alícuota (100 ml)

2.3.2.5.4 Contenido del Ligante Asfáltico

Porcentaje de asfalto sobre la mezcla

$$\frac{(W1 - W2) - (W3 + W4)}{W1 - W2} \times 100$$

Ecuación 4

donde,

W1 = Masa del espécimen de ensayo

W2 = Masa de Agua

W3 = Masa del agregado

W4 = Masa del material mineral

Porcentaje de asfalto sobre el agregado

$$\frac{(W1 - W2) - (W3 + W4)}{W3 + W4} \times 100$$

Ecuación 5

donde,

W1 = Masa del espécimen de ensayo

W2 = Masa de Agua

W3 = Masa del agregado

W4 = Masa del material mineral

2.3.3 Parámetros Marshall

2.3.3.1 Equipo

- Extractor de especímenes: de acero, en forma de disco con un diámetro menor a 100 mm y 12,7 mm de grosor.
- Moldes de especímenes: moldes cilíndricos con un diámetro de 101,6 mm ± 0,127 mm y 76,2 mm de altura.

Fuente: CACISA

milímetros	pulgadas	milímetros	pulgadas	milímetros	pulgadas	milímetros	pulgadas
1,11	0,005	17,5	11/16	58,7	2 5/16	104,8	4 1/8
0,8	1/32	19,0	3/4	63,5	2 1/2	108,7	4 9/32
1,6	1/16	22,2	7/8	69,8	2 3/4	109,1	4 19/32

3,2	1/8	23,8	15/16	73,0	2 7/8	114,3	4 ½
4,8	3/16	25,4	1	76,2	3	117,5	4 5/8
6,4	¼	28,6	1 1/8	82,6	3 ¼	120,6	4 ¾
7,1	9/32	31,8	1 ¼	87,3	3 7/16	128,6	5 1/16
9,5	3/8	34,9	1 3/8	98,4	3 7/8	130,2	5 1/8
12,6	0,496	38,1	1 ½	101,2	3 63/64	146,0	5 ¾
12,67	0,499	41,3	1 5/8	101,35	3,990	152,4	6
12,7	½	44,4	1 ¾	101,47	3,995	158,8	6 ¼
14,3	9/16	50,8	2	101,6	4	193,7	7 5/8
15,9	5/8	57,2	2 ¼	101,73	4,005	685,8	27

Tabla 4. Tabla de equivalencias.

- Martillo manual.
- Martillo Automático.
- Pedestal de compactación.
- Sujetador de los moldes.
- Mueles de falla.
- Dispositivo de carga: capaz de producir un movimiento vertical uniforme de 50,8 mm/min.
- Anillo de carga: capacidad mínima 22,5 kN y una división de escala de 44,5 N hasta 4,45 kN y 111,2 N entre 4,45 y 22,2 kN y esté equipado con micrómetro y éste debe estar graduado en 0,0025.
- Medidor de Flujo: Las graduaciones del medidor de flujo deben tener una división mínima de 0,25 mm.
- Horno.
- Dispositivo para calentar: plantilla pequeña con una tasa de calentamiento variable.
- Aparato de mezclado.
- Baño de agua: al menos 152,4 mm de profundidad y se encuentra controlado para mantener el agua a $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Termómetro.

- Balanza.
- Guantes (equipo caliente).
- Guantes de hule.
- Crayones.
- Cucharon.
- Cuchara.

2.3.3.2 Especímenes de Ensayo

2.3.3.2.1 Pastillas Marshall

Para efectos de esta investigación se le realizan las pruebas a una mezcla producida en planta, por lo que no se produce la mezcla en el laboratorio, se analiza la muestra obtenida de un lote de mezcla asfáltica. Tras la obtención de la mezcla se procede a calentar la muestra, moldes y collarín en el horno hasta que alcanzan una temperatura de 150°C; deben prepararse al menos 4 especímenes por cada muestra tomada.

Fuente: propia.



Ilustración 15. Preparación de la mezcla para el moldeo de las patillas.

Al alcanzar la temperatura deseada se deben limpiar los moldes, el collarín y la cara del martillo de compactación. Inmediatamente se coloca el molde y collarín, además de colocar una pieza de papel cortado al tamaño del fondo del molde; teniendo esto preparado, se coloca el bache en el molde, se deben dar quince introducciones de la espátula alrededor del perímetro y diez sobre el interior. Es importante que la espátula esté también caliente. Al tener la muestra adecuadamente colocada, se coloca otra pieza de papel de la misma dimensión que la anterior sobre la muestra y, por último, se coloca el pedestal de compactación. Una vez que todo esté listo, se aplican 75 golpes con el martillo de compactación que tiene una caída libre de 457,2 mm para cada una de las caras de la muestra. Es importante que al colocar y remover el martillo sea de manera cuidadosa porque si se deja caer sobre la muestra es considerado como un golpe de más, que puede influir en los resultados del ensayo.

Después del proceso de compactación se retira el collarín y las piezas de papel, dejando la muestra en el molde hasta que se enfríe al aire. Se colocan los moldes frente a un abanico eléctrico para acelerar el proceso de enfriamiento. Al estar las pastillas frías al tacto, deben desmoldarse utilizando el extractor de especímenes respectivo. Luego, se colocan en una superficie plana, lisa, por un periodo de veinticuatro horas a temperatura ambiente.

2.3.3.2.2 Gravedad Específica Máxima Teórica

Se realiza el ensayo de dos especímenes para la misma mezcla asfáltica. Para este ensayo la muestra no requiere altas temperaturas, por lo que la mezcla va a estar compactada y unificada, se inicia soltando la muestra.

Fuente: propia.



Ilustración 16. Muestra de ensayo.

Se toma el peso de los recipientes, después se colocan dentro de estos las muestras y se toma el peso del recipiente con la muestra, al tener ese peso se cubre totalmente el material con agua del grifo y se colocan ambos recipientes en el equipo de vibración durante diecisiete minutos.

Al concluir el tiempo de vibración se toma la temperatura del agua, que debe estar a $25^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Con la temperatura adecuada se cubre totalmente el recipiente de agua, es importante agregar el agua adecuadamente para evitar la entrada de aire. Se toma el peso de la masa del recipiente, la muestra y el agua.

Se extrae el agua de los recipientes para realizar el procedimiento de secado, colocando la muestra húmeda sobre una bandeja con papel periódico, el secado se debe dar en ambiente, para acelerar el proceso de secado, se puede colocar un abanico eléctrico frente a la muestra. El

primer tiempo de secado es de una hora (1 h) y, posteriormente, se realizan mediciones en intervalos de quince minutos (15 min) hasta que el porcentaje de variación sea $\geq 0,05\%$.

Fuente: propia.



Ilustración 17. Proceso de vacíos.

Fuente: propia.



Ilustración 18. Secado al ambiente.

Cálculo de la Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción:

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

Ecuación 6

donde,

A = Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)

D = Masa del Recipiente + Agua (g)

E = Masa del Recipiente + Agua + Muestra (después de aplicar vacíos) (g)

Cálculo de la Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) con absorción:

$$\frac{A}{(A' + D - E)}$$

Ecuación 7

donde,

A = Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)

A' = Masa de la Muestra SSS (g)

D = Masa del Recipiente + Agua (g)

E = Masa del Recipiente + Agua + Muestra (después de aplicar vacíos) (g)

2.3.3.2.3 Gravedad Específica Bruta Seca y Porcentaje de Vacíos

Se inicia tomando el peso seco de las cuatro pastillas al finalizar las veinticuatro horas, luego se sumergen una por una en agua a temperatura ambiente (25 °C) durante cinco minutos, al finalizar ese tiempo se toma el peso de la masa sumergida, después de esto se saca la pastilla y se eliminan los restos de agua en las partes externas con un paño humedecido, porque de lo contrario absorbería agua saturada en la pastilla, generando efectos en los resultados. El secado debe realizarse sin generar mucha presión sobre la pastilla, entonces se toma el peso de la Masa S.S.S. (masa saturada de superficie seca). Con estos pesos se realizan los cálculos necesarios para la obtención del Gbs y porcentaje de Vacíos.

Cálculo del porcentaje de Agua Absorbida:

$$\frac{(B - A) \times 100}{(B - C)}$$

Ecuación 8

donde,

A = Masa seca (g)

B = Masa S.S.S. (g)

C = Masa sumergida (g)

Cálculo de la Gravedad Específica Bruta de Mezcla Asfáltica:

$$Gbs = \frac{A}{(B-C)}$$

Ecuación 9

donde,

A = Masa seca (g)

B = Masa S.S.S. (g)

C = Masa sumergida (g)

Cálculo del Porcentaje de Vacíos

$$\frac{100 \times (D - E)}{D}$$

Ecuación 10

donde,

D = Máxima Teórica

E = Gbs

Al tener los resultados para las cuatro pastillas se obtiene un promedio del Gbs, de la Máxima Teórica, y del Porcentaje de Vacíos.

2.3.3.2.4 Resistencia al Flujo Plástico

Se deben sumergir las cuatro pastillas en un baño de agua durante un tiempo de treinta a cuarenta minutos, a una temperatura de $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Antes de realizar el ensayo debe asegurarse la limpieza de las guías y superficie interna de las muelas de falla y que estas últimas se encuentren a temperatura entre $21,1^{\circ}\text{C}$ y $37,8^{\circ}\text{C}$ (temperatura ambiente).

Se debe sacar la pastilla a fallar del baño y colocarla en la muela de falla inferior, con la óptima colocación de la pastilla se aplica la carga a una tasa de movimiento constante de la máquina de la prueba igual a 50,8 mm por minuto aproximadamente, hasta que se alcance la carga máxima que se indica con la disminución de esta en el gráfico del software.

El tiempo transcurrido desde que se extrae la pastilla del baño de agua hasta la determinación de la carga máxima no debe exceder los 30 segundos.

Se debe determinar el promedio de la estabilidad en kg, de al menos cuatro especímenes, corregida cuando sea necesario, Asimismo, determinar el promedio de flujo de al menos cuatro especímenes.

Fuente: CACISA

Volumen del espécimen en cm ³ b	Espesor aproximado del espécimen en mm	Factor de corrección
200 a 213	25,4	5,56
214 a 225	27,0	5,00
226 a 237	28,6	4,55
238 a 250	30,2	4,17
251 a 264	31,8	3,85
265 a 276	33,3	3,57
277 a 289	34,9	3,33
290 a 301	36,5	3,03
302 a 316	38,1	2,78
317 a 328	39,7	2,50
329 a 340	41,3	2,27
341 a 353	42,9	2,08
354 a 367	44,4	1,92
368 a 379	46,0	1,79
380 a 392	47,6	1,67
393 a 405	49,2	1,56
406 a 420	50,8	1,47
421 a 431	52,4	1,39
432 a 443	54,0	1,32
444 a 456	55,6	1,25
457 a 470	57,2	1,19
471 a 482	58,7	1,14
483 a 495	60,3	1,09
496 a 508	61,9	1,04
509 a 522	63,5	1,00
523 a 535	65,1	0,96
536 a 546	66,7	0,93
547 a 559	68,3	0,89
560 a 573	69,9	0,86
574 a 585	71,4	0,83
586 a 598	73,0	0,81
599 a 610	74,6	0,78
611 a 625	76,2	0,76

Tabla 5. Factores de Corrección de la Estabilidad.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos de las diferentes pruebas de control de calidad que les fueron realizadas a los especímenes en estudio. Inicialmente, se muestran los resultados obtenidos en tablas comparativas entre los especímenes de Planta y los simulados en Campo. Posteriormente, se realiza el análisis estadístico mediante el software Minitab, por medio del cual se analiza la comparación entre las dos variables expuestas en esta investigación (v_1 = Planta (Sin Curar) y v_2 = Campo (Curada)). A través de lo reflejado en las gráficas, se puede tener una visión más clara de los efectos que se generaron a raíz del tiempo en los distintos especímenes y, por ende, verificar si la hipótesis propuesta al inicio es o no correcta.

Fuente: propia.

Análisis Estadístico (Hipótesis Nula)		
Parámetro	Valor "P"	Aceptación de H0
%PTA	0.016	SE RECHAZA
%PTM	0.016	SE RECHAZA
Gmt	0.044	SE RECHAZA
Gbs	0.631	SE ACEPTA
% Vacíos	0.002	SE RECHAZA
%VMA	0.359	SE ACEPTA
%VFA	0.002	SE RECHAZA
Flujo	0.928	SE ACEPTA
Estabilidad	0.000	SE RECHAZA

Tabla 6. Análisis estadístico.

En la Tabla 6 se muestra el estudio estadístico, el que se basa en que el Nivel de Significancia (P) es el valor que conduce al rechazo de la hipótesis nula (H0); en caso de que se cumpla H0 (SE ACEPTA) significa que todas las varianzas son iguales, es decir, no se cumple la hipótesis estipulada al inicio, la cual determina que habrá una diferencia entre los resultados Sin Curar contra los Curados; en caso contrario (SE RECHAZA), las varianzas son distintas, por lo que sí se cumple la hipótesis inicial. Para que H0 sea aceptada, "P" debe ser mayor a 0,05. (Ver Anexo 3)

3.1 Porcentaje de Asfalto sobre la Mezcla y sobre el Agregado

Fuente: propia.

Especimen No. 4			
Método de la Ceniza			
		SC	C
A	Masa del crisol (g)	133.122	135.086
A + G	Masa del crisol + masa de la ceniza (g)	133.257	135.298
V2	Volumen de la alícuota (ml)	100.0	100.0
V1	Volumen total del líquido (ml)	910.0	900.0
%C	Porcentaje de ceniza $100 \cdot W4/W5$ (%)	0.09	0.11
W4	Masa del material mineral $G \cdot V1/V2$ (g)	1.228	1.910
Extracción de ligante asfáltico por reflujo (Método de REFLUX)			
		Planta	Campo
C	Porcentaje de Humedad (%)	0.03	0.1
MC1	Masa de la mezcla en cono superior (g)	440.0	799.5
MC2	Masa de la mezcla en cono inferior (g)	1000.0	1001.6
W1	Masa del espécimen de ensayo (g)	1440.0	1801.1
W2	Masa de agua $C \cdot W1/100$ (g)	0.5	1.7
F	Masa de filtros (g)	19.8	19.1
W3 + F	Masa del agregado + filtros (g)	1370.6	1710.1
W3	Masa del agregado (g)	1350.8	1691.0
W5	Masa del agregado + Ceniza $W3 + W4$ (g)	1352	1692.9
Contenido de asfalto			
		Planta	Campo
%Asf./M.	Porcentaje de asfalto sobre la mezcla $[(W1-W2) - (W3+W4)/W1 - W2] \cdot 100$	6.08	5.92
%Asf./A.	Porcentaje de asfalto sobre el agregado $[(W1-W2) - (W3+W4)/W3 + W4] \cdot 10$	6.47	6.29

Tabla 7. Cuadro de informe de ensayo de contenido de asfalto para el espécimen No. 4

(Ver Anexo 4)

Fuente: propia.

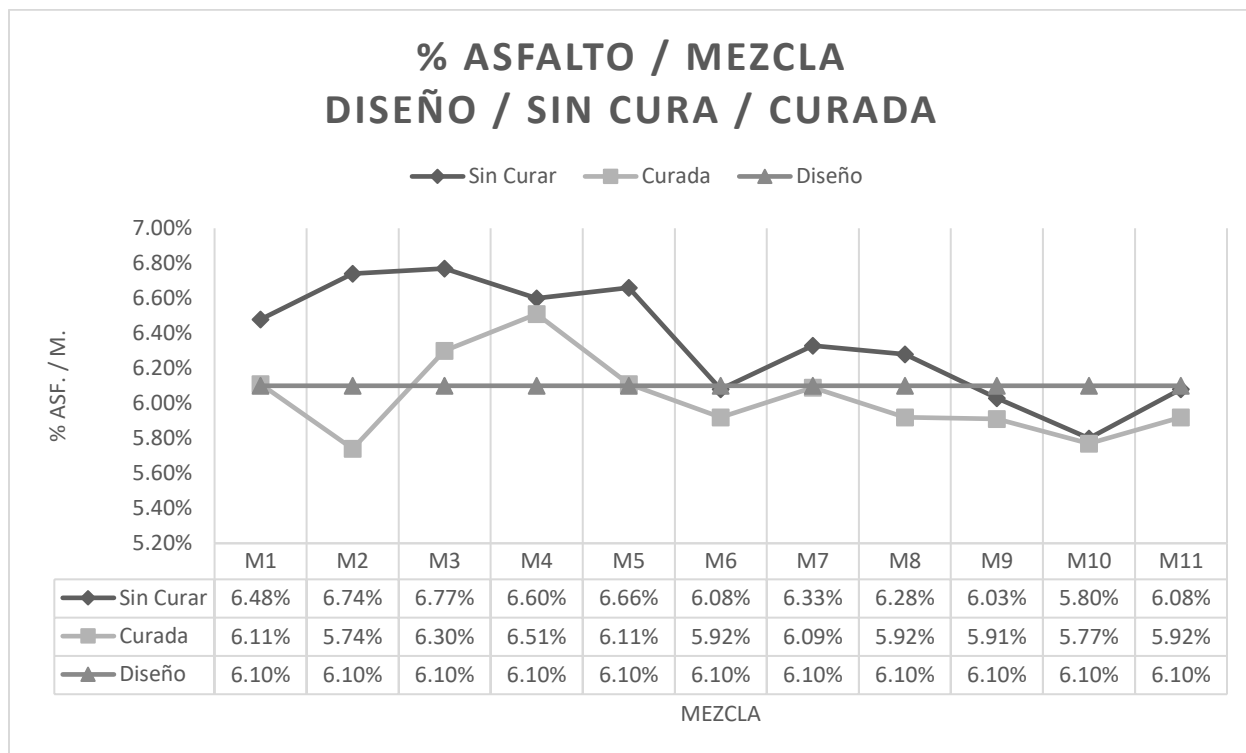


Ilustración 19. Porcentaje de Asfalto sobre la mezcla

Como se aprecia en la Ilustración 14, se presenta una disminución en el porcentaje de asfalto sobre la mezcla en todos los especímenes Curados, comparados contra los No Curados, por lo que se considera la volatilización del asfalto como la posible causa.

La disminución en el porcentaje de asfalto sobre la mezcla puede que se vea afectada por la volatilización del material, efecto que sucede a partir de los 150 °C, que es la temperatura a la que se realiza el Curado de la mezcla durante seis horas.

Otra posible causa de la disminución del porcentaje de asfalto puede ser atribuida a los agregados que se utilizan en la mezcla; en Costa Rica, los agregados poseen propiedades de absorción de alrededor del 2 %, lo que es un porcentaje alto; esta condición genera que el agregado absorba el asfalto, disminuyendo el porcentaje de asfalto efectivo en la mezcla.

Es notable cómo únicamente los especímenes M6 y M11 No Curados y los M5 y M7 Curados son los que más se aproximan al valor de diseño (6,10 %), siendo 6,08 %, 6,08 %, 6,11 % y 6,09 % los valores, respectivamente.

La diferencia entre los resultados de No Curado y Curado puede verse afectada por la recolección (Muestreo) de la muestra y su posterior manipulación (Cuarteo) en el laboratorio.

El espécimen M2 es el que presenta mayor diferencia entre los resultados de No Curado y Curado, debe considerarse que el técnico encargado de realizar el ensayo se encontraba en proceso de capacitación, lo que puede generar variaciones en los resultados.

En el análisis estadístico se determina un valor “P” de 0.016, por lo que se rechaza la hipótesis nula ($0.05 > 0.016$) y se determina que las varianzas no son iguales (ver referencia en al Anexo 3).

Fuente: propia.

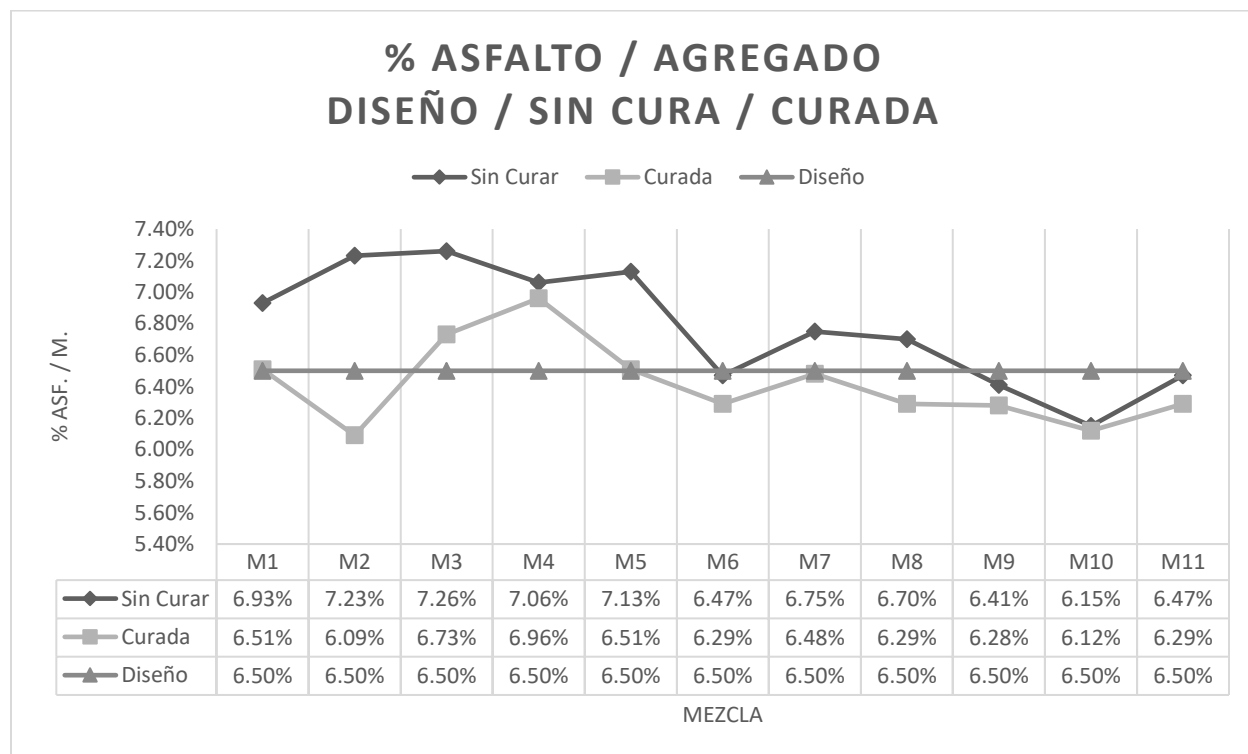


Ilustración 20. Porcentaje de Asfalto sobre el Agregado.

En el caso del porcentaje de asfalto sobre los agregados (% PTA), es notable que se mantiene la misma tendencia del porcentaje de asfalto sobre la mezcla (% PTM), es decir, una disminución en el porcentaje de asfalto en los especímenes con Curado. Se puede atribuir al efecto de la

volatilización y las propiedades del agregado explicado anteriormente como el causante de dicha condición.

Ambas variables % PTM y % PTA presentan una misma tendencia en todas las mezclas analizadas debido a que son dependientes, como se observa en las Ecuaciones 11 y 12

$$\% PTM = \frac{W_M - W_A}{W_M} \times 100$$

Ecuación 11

$$\% PTA = \frac{W_M - W_A}{W_A} \times 100$$

Ecuación 12

$W_M =$ *Peso de la mezcla (g)*

$W_A =$ *Peso del agregado (g)*

Para % PTA, el valor de diseño es de 6,50 %, al igual que en el caso anterior, los especímenes M6 y M11 No Curados y los M5 y M7 Curados arrojan los valores que se acercan más al valor de diseño, con 6,47 %, 6,47 %, 6,51 % y 6,48 %, respectivamente.

El valor “P” en el análisis estadístico corresponde a 0.016, por lo que se rechaza la hipótesis nula ($0.05 > 0.016$) y se determina que las varianzas son distintas (Ver anexo 3).

3.2 Granulometría

Fuente: PAVICEN

Tamiz	% Pasando	Rango de Aceptación
19.0 mm	100	100
12.7 mm	95	90-100
9.50 mm	83	79-89
Nº 4	54	51-59
Nº 8	35	31-39
Nº 16	22	18-26
Nº 30	15	11-19
Nº 50	12	8-16
Nº 200	5,5	3,7-7,7

Ilustración 21. Fórmula de trabajo para producir mezcla asfáltica en la planta de Pavicen con los agregados provenientes del Quebrador Piedra Grande.

Fuente: propia.

M5 SC

Graduación del Agregado Extraído

Masa seca inicial (g) 1795.2
Masa lavada seca (g) 1690.8

Malla	Malla (mm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasando
1"	25,4				
3/4"	19,0	0	0	0	100
1/2"	12,7	53.1	3.0	3	97
3/8"	9,5	250.9	14.0	17	83
Nº 4	4,75	494.6	27.6	44	56
Nº 8	2,0	336.8	18.8	63	37
Nº 16	1,18	228.3	12.7	76	24
Nº 30	0,6	120.0	6.7	83	17
Nº 50	0,3	91.1	5.1	88	12.3
Nº 200	0,075	115.2	6.4	94	5.8
Charola		0.4	0.0		

Suma total masa (g) 1690.4
% de variación de masa 0.02 (no debe ser mayor a 0,3%)

Tabla 8. Graduación del agregado de la M5 (Sin Curar).

Fuente: propia.

M5 C

Graduación del Agregado Extraído

Masa seca inicial (g) 1701.9
Masa lavada seca (g) 1601.1

Malla	Malla (mm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasando
1"	25,4				
3/4"	19,0	0	0	0	100
1/2"	12,7	55.6	3.3	3	97
3/8"	9,5	255.9	15.0	18	82
Nº 4	4,75	466.9	27.4	46	54
Nº 8	2,0	293.9	17.3	63	37
Nº 16	1,18	199.8	11.7	75	25
Nº 30	0,6	120.3	7.1	82	18
Nº 50	0,3	94.7	5.6	87	13
Nº 200	0,075	112.5	6.6	94	6.0
Charola		1.0	0.1		

Suma total masa (g) 1600.6
% de variación de masa 0.03 (no debe ser mayor a 0,3%)

Tabla 9. Graduación del agregado de la M5 (Curada).

Fuente: propia.

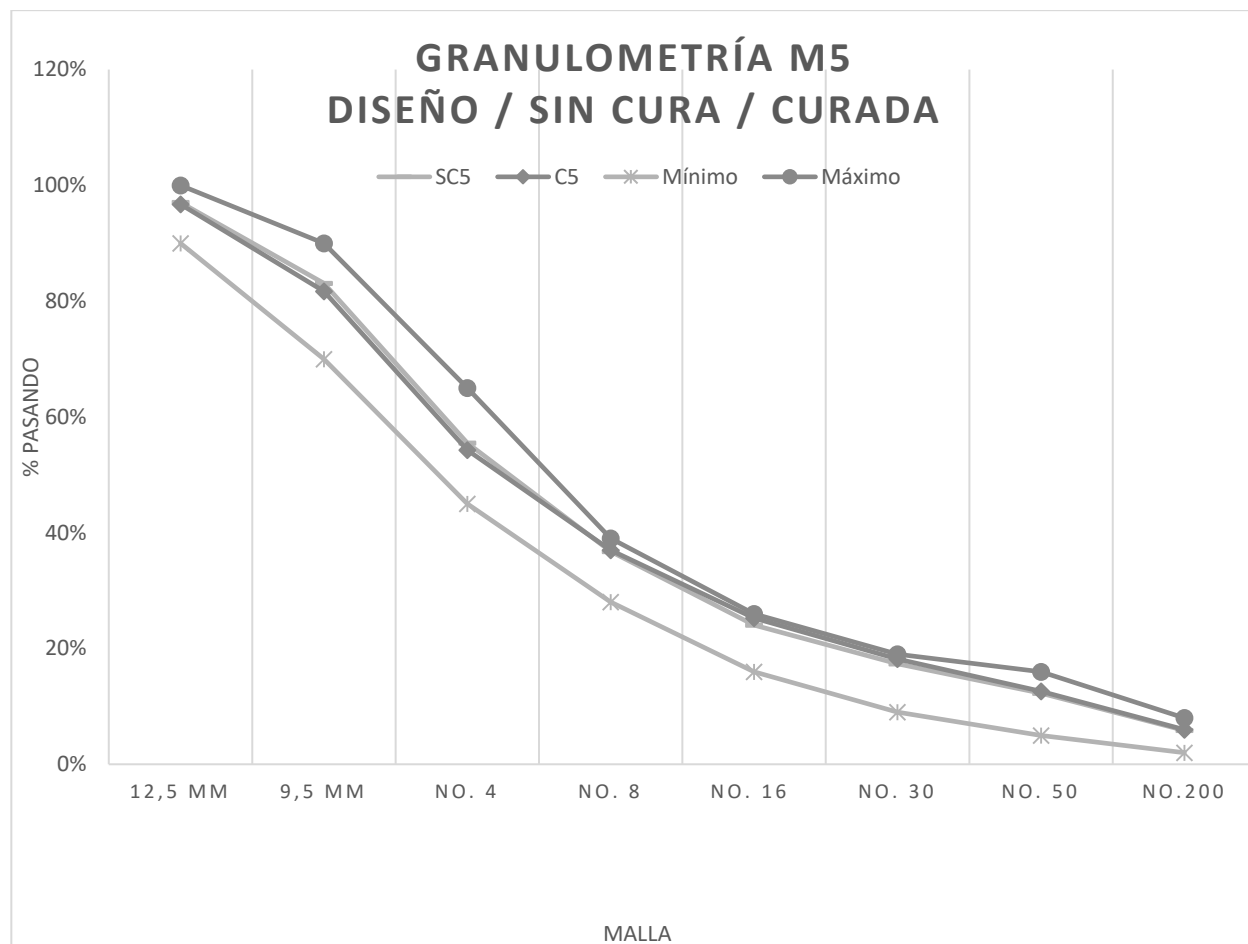


Ilustración 22. Granulometría en la Mezcla 5.

Como se puede observar en la Ilustración 22, para el caso de la M5 los porcentajes pasando en cada una de las mallas no presentan una diferencia apreciable. Adicionalmente, ambas graduaciones se encuentran dentro de los límites mínimo y máximo.

El comportamiento de la M5 es el típico de las mezclas analizadas (Ver anexo 5). Este parámetro era de esperar que se mantuviera constante, debido a que la granulometría está ligada directamente a las propiedades del agregado; únicamente las variables que dependen de las propiedades del ligante asfáltico se espera que sean las que varíen. Se excluyen la M2 y la M7, que por sus condiciones son analizadas por aparte.

Fuente: propia.

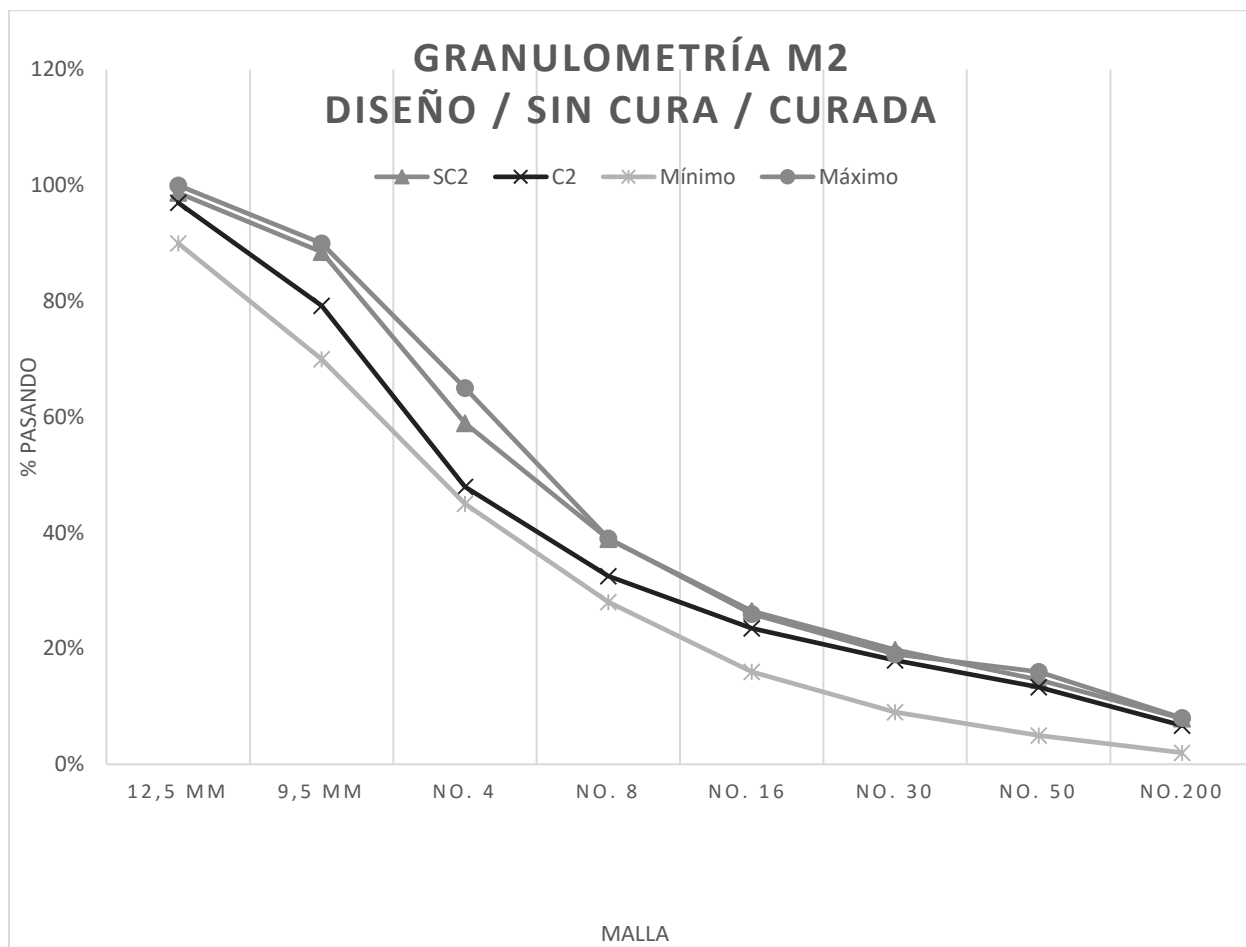


Ilustración 23. Granulometría de la Mezcla 2,

Según la Ilustración 23, ambas graduaciones se mantienen dentro de los límites superior e inferior, lo que demuestra que el material cumple con las especificaciones de la mezcla.

Sin embargo, se puede ver cómo en las mallas de 9,5 mm, No. 4 y No. 8 se genera una separación entre las curvas granulométricas. Para dos muestras de la misma mezcla asfáltica no debería de variar la graduación después de que una de las dos haya sido Curada. Esta variación puede ser consecuencia de realizar una inadecuada recolección de la muestra (en este caso en particular la muestra fue tomada directamente en campo, previo a la compactación, a diferencia de las demás muestras).

Fuente: propia.



Ilustración 24. Recolección de muestra asfáltica.

Otro posible factor que pudo haber influenciado a este comportamiento es la segregación de la mezcla, provocando que una de las dos muestras tuviera una graduación más gruesa.

Por su parte, el investigador es quien realiza los ensayos de laboratorio. En el momento de la realización de las pruebas de la mezcla dos, el mismo se encuentra en capacitación y preparación de los distintos procesos.

Fuente: propia.

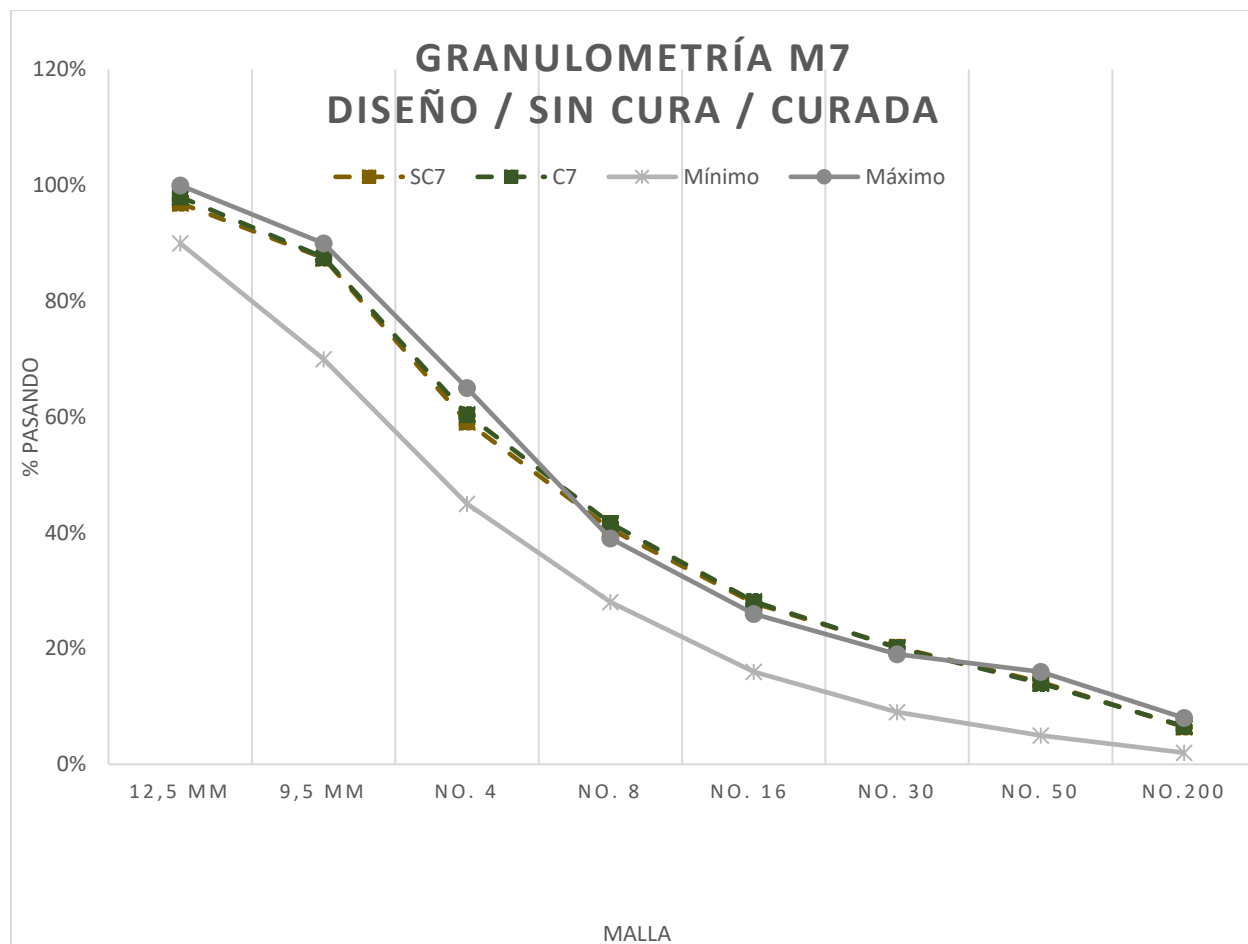


Ilustración 25. Granulometría en Mezcla 7.

En la gráfica mostrada en la Ilustración 25 se puede observar cómo las mallas No. 8, No. 16 y No. 30 sobrepasan el límite superior en un 3 %, 2 % y 1 %, respectivamente. Normalmente, las plantas de producción de mezcla asfáltica se basan en el límite superior e inferior para el agregado que se utiliza en la elaboración de la mezcla, por un factor económico. Puede notarse que las demás muestras se encuentran dentro de los límites, pero manteniéndose siempre cerca del límite en las mallas de menor tamaño (Ver Ilustración 20).

Fuente: propia.

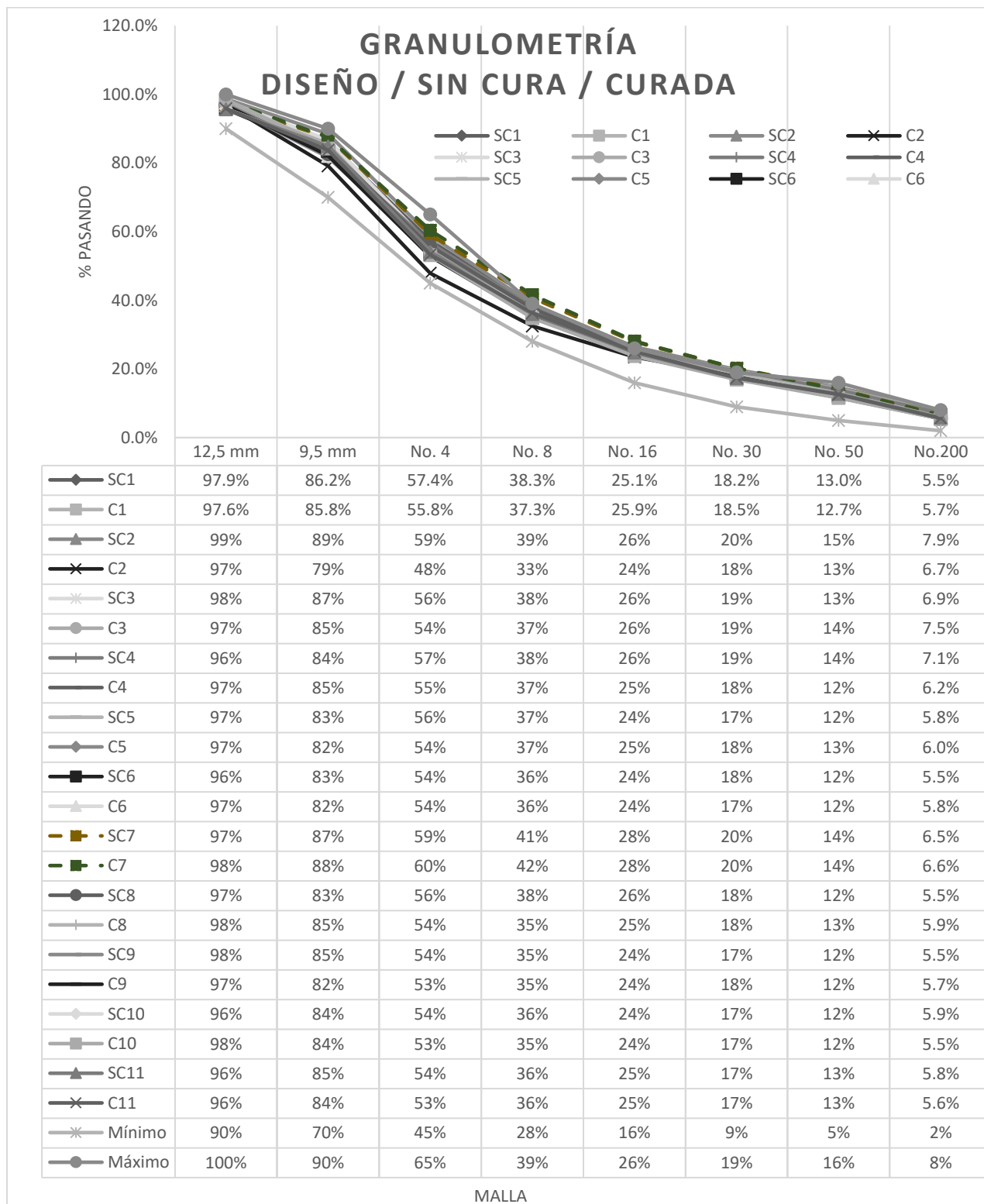


Ilustración 26. Granulometría de todas las Mezclas analizadas.

3.3 Gravedad Específica Máxima Teórica

Fuente: propia.

		Espécimen No. 6			
		Máxima Teórica			
		Planta		Campo	
H	Contenido de Agua (%)	0.03	0.03	0.1	0.1
R	Masa del Recipiente (g)	1041.2	1270.8	1039	1266.8
RM	Masa del Recipiente + Muestra (g)	2570.7	2851.0	2640.6	2867
M	Masa de la Muestra (g) RM - M	1529.5	1580.2	1601.6	1600.2
A	Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g) $M - (M \cdot H / 100)$	1529.0	1579.7	1600	1598.7
D	Masa del Recipiente + Agua	3335.7	3475.0	3335.7	3475
E	Masa del Recipiente + Agua + Muestra (después de aplicar vacíos) (g)	4246.0	4414.5	4292.3	4429.9
A'	Masa de la Muestra SSS (g)	1530.5	1581.2	1602.6	1601.2
GMT	Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción $A / (A + D - E)$	2.471	2.468	2.487	2.483
GMT (A)	Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) con absorción $A / (A' + D - E)$	2.465	2.462	2.477	2.474
PROMEDIO		2.463		2.475	

Tabla 10. Cuadro de informe de ensayo de la gravedad específica máxima teórica para el espécimen No. 6.

(Ver Anexo 4)

Fuente: propia.

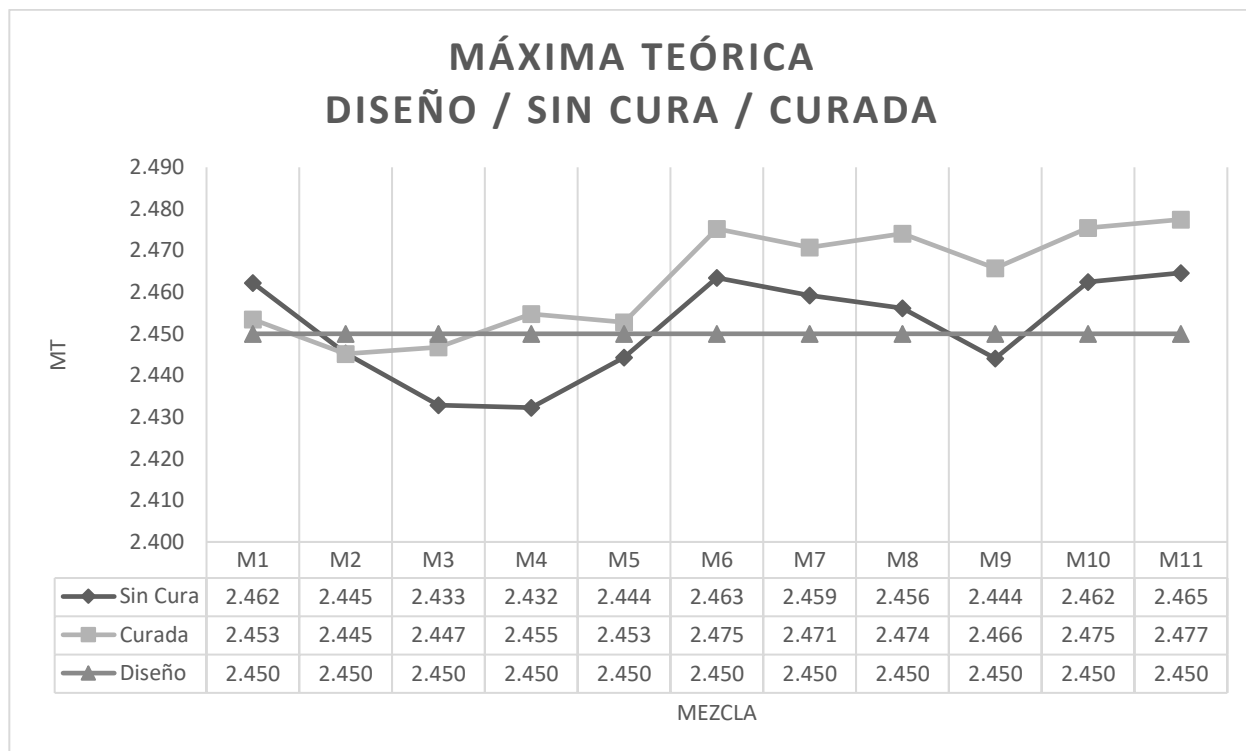


Ilustración 27. Gravedad Específica Máxima Teórica.

En el gráfico mostrado en la Ilustración 27 se observa cómo a partir de la M3 se genera un incremento en la gravedad específica máxima teórica (Gmt) en los especímenes Curados.

Según lo evidenciado en la gráfica de la Ilustración 19, hay una disminución en la cantidad de asfalto sobre la mezcla, lo cual puede explicar el aumento de Gmt; al haber una disminución del material menos denso de la mezcla asfáltica (ligante asfáltico) inevitablemente habrá un incremento en la Gmt. La Gmt depende de las gravedades específicas de los materiales que componen la mezcla y de la proporción que hay de cada uno de ellos en la misma; al haber una disminución en la cantidad de ligante asfáltico (material menos denso), la mezcla pasa a ser un material más denso debido a que la proporción de agregado (material más denso) aumenta.

Los puntos M1 Curado, M2 Sin Curado y Curado, M3 Curado, M5 Sin Curado y Curado y la M9 Sin Curado son los que más se acercan al valor de Diseño.

En el análisis estadístico se determina un valor “P” de 0.044 ($0.05 > 0.044$), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se determina que las varianzas no son iguales (Ver Anexo 3).

Fuente: propia.

M8 Sin Curar

Masa Seca (g)	Masa SSS (g)	Masa Sumerg. (g)	B-C (g)	% Agua Absorb.	Gbs	Máxima Teórica	% de Vacíos
1192.0	1193.0	688.4	504.6	0.20	2.362	2.456	3.8
1190.0	1191.1	687.9	503.2	0.22	2.365	2.456	3.7
1185.7	1186.9	685.2	501.7	0.24	2.363	2.456	3.8
1189.1	1191.8	688.1	503.7	0.54	2.361	2.456	3.9
Promedio					2.363	2.456	3.8

M8 Curada

Masa Seca (g)	Masa SSS (g)	Masa Sumerg. (g)	B-C (g)	% Agua Absorb.	Gbs	Máxima Teórica	% de Vacíos
1183.1	1185.5	683.8	501.7	0.48	2.358	2.474	4.7
1183.4	1184.7	681.6	503.1	0.26	2.352	2.474	4.9
1186.4	1188.0	687.3	500.7	0.32	2.369	2.474	4.2
1183.1	1185.4	684.2	501.2	0.46	2.361	2.474	4.6
Promedio					2.36	2.474	4.6

Tabla 11. Gravedad Específica Bruta Seca y % de Vacíos en la Mezcla 8.

(Ver Anexo 4)

3.4 Gravedad Específica Bruta Seca

Fuente: propia.

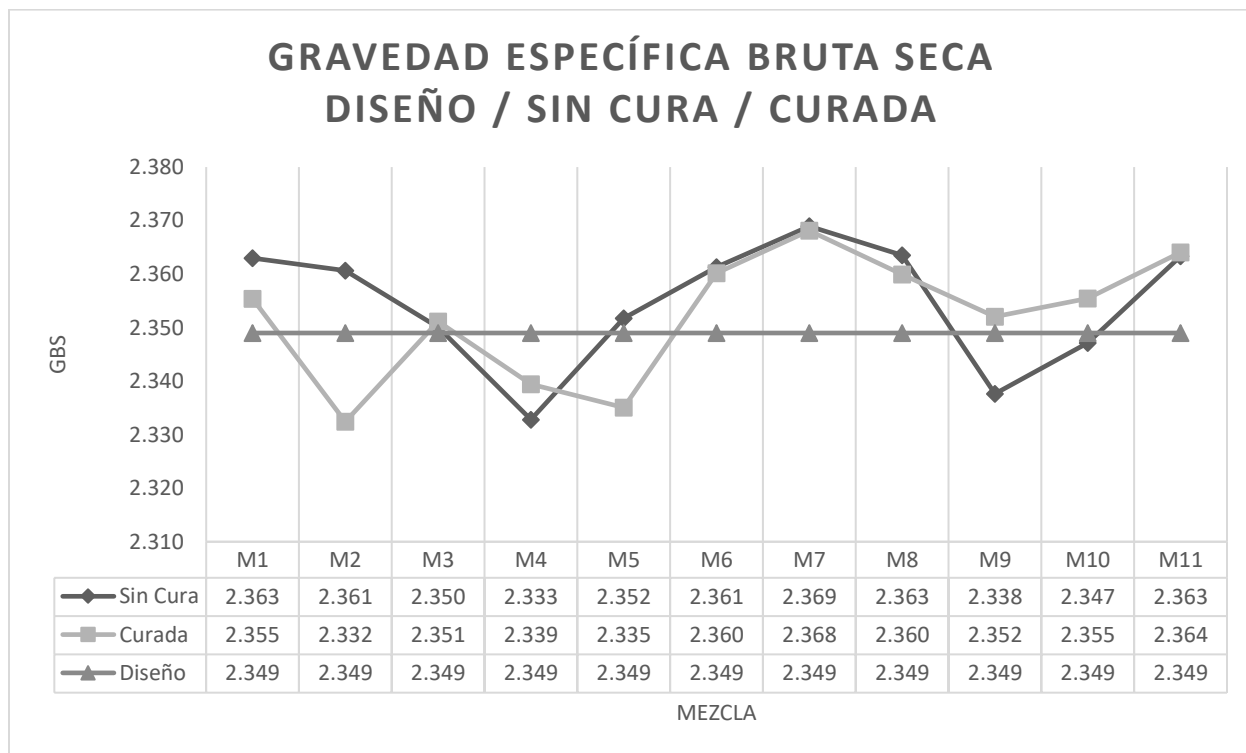


Ilustración 28. Gravedad Específica Bruta Seca.

Fuente: propia.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
Sin Cura	2.363	2.361	2.350	2.333	2.352	2.361	2.369	2.363	2.338	2.347	2.363
Curada	2.355	2.332	2.351	2.339	2.335	2.360	2.368	2.360	2.352	2.355	2.364
Diferencia	0.008	0.028	0.001	0.007	0.017	0.001	0.001	0.004	0.014	0.008	0.001

% Disminución Curada	54.5%
% Aumento Curada	45.5%

Tabla 12. Tabla de comparación de Densidades en Mezclas Sin Curar y Curadas.

Puede notarse en la ilustración 28 que no existe un patrón definido para gravedad específica bruta seca (Gbs), pero sí una trayectoria similar entre las muestras Curadas y Sin Curar; no se puede decir que el Curado produzca una disminución o un incremento en esta propiedad.

El Gbs es una propiedad que está estrechamente ligada al agregado de la mezcla, por lo que no se esperaba que hubiera una variación significativa.

Nótese que en seis de los especímenes que tienen condición de Curado hubo una disminución en sus resultados, mientras que en el resto hubo un aumento. Los puntos M2, M5 y M9 son los especímenes en los que se presenta una mayor variación entre los resultados. Por otra parte, los puntos M3, M5 y M10 (Sin Cura) son los que se acercan más al valor de Diseño.

En el caso de la Densidad, el análisis estadístico determina un valor “P” de 0.631 ($0.05 < 0.631$), por lo que se acepta la hipótesis nula y se determina que las varianzas son iguales (Ver Anexo 3).

3.4 Porcentaje de Vacíos

Fuente: propia.

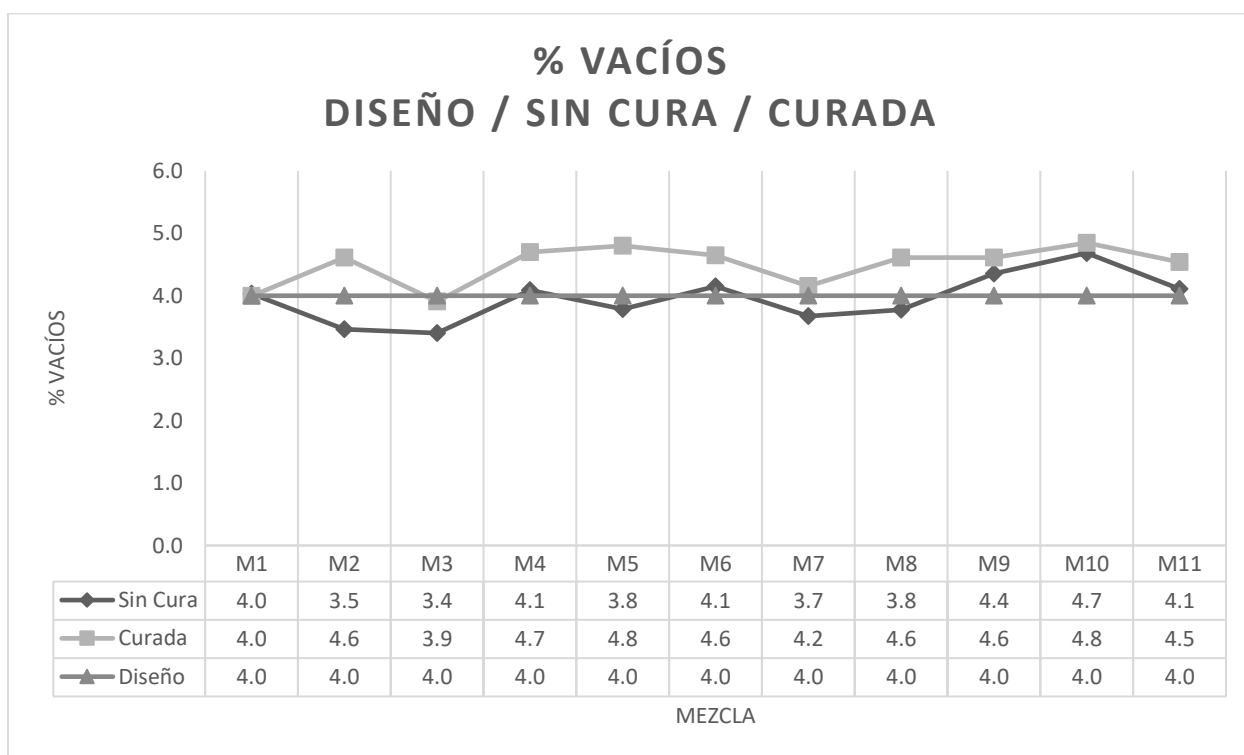


Ilustración 29. Porcentaje de Vacíos.

Según el gráfico, se presenta un aumento en el porcentaje de vacíos en los resultados de los especímenes Curados. Debido a que la Gmt aumenta (ver Ilustración 27), ocurre lo mismo con el

porcentaje de vacíos por ser una función ascendente con respecto a la G_{mt} , de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\%V = \frac{G_{mt} - G_{bs}}{G_{mt}} \times 100$$

Ecuación 13

$$\frac{d\%V}{dG_{mt}} = 100 \times \frac{G_{bs}}{G_{mt}^2}$$

Ecuación 14

Según la Ecuación 14, la derivada (pendiente de la función) va a ser siempre positiva, esto provoca un aumento en el porcentaje de Vacíos siempre que se dé un aumento en la G_{mt} .

El envejecimiento de la mezcla (Curado) está ligado directamente a los vacíos, por lo que ese aumento en los vacíos se atribuye al Curado de las distintas mezclas asfálticas.

Los puntos más cercanos al valor de Diseño son M1, M4, M5, M6 y M8 Sin Curado y M1, M3 y M7 Curados.

Todos los puntos Curados, exceptuando el M3, se encuentran por encima del valor de Diseño; en el caso de los especímenes Sin Cura, solo los puntos M4, M6, M9, M10 Y M11 son los que están por encima del valor de diseño.

Se rechaza la hipótesis nula y se determina que las varianzas son distintas debido a que el valor "P" obtenido del análisis estadístico es de 0.002 ($0.005 > 0.002$), lo que es notable en la gráfica x (Ver Anexo 3).

Fuente: propia.

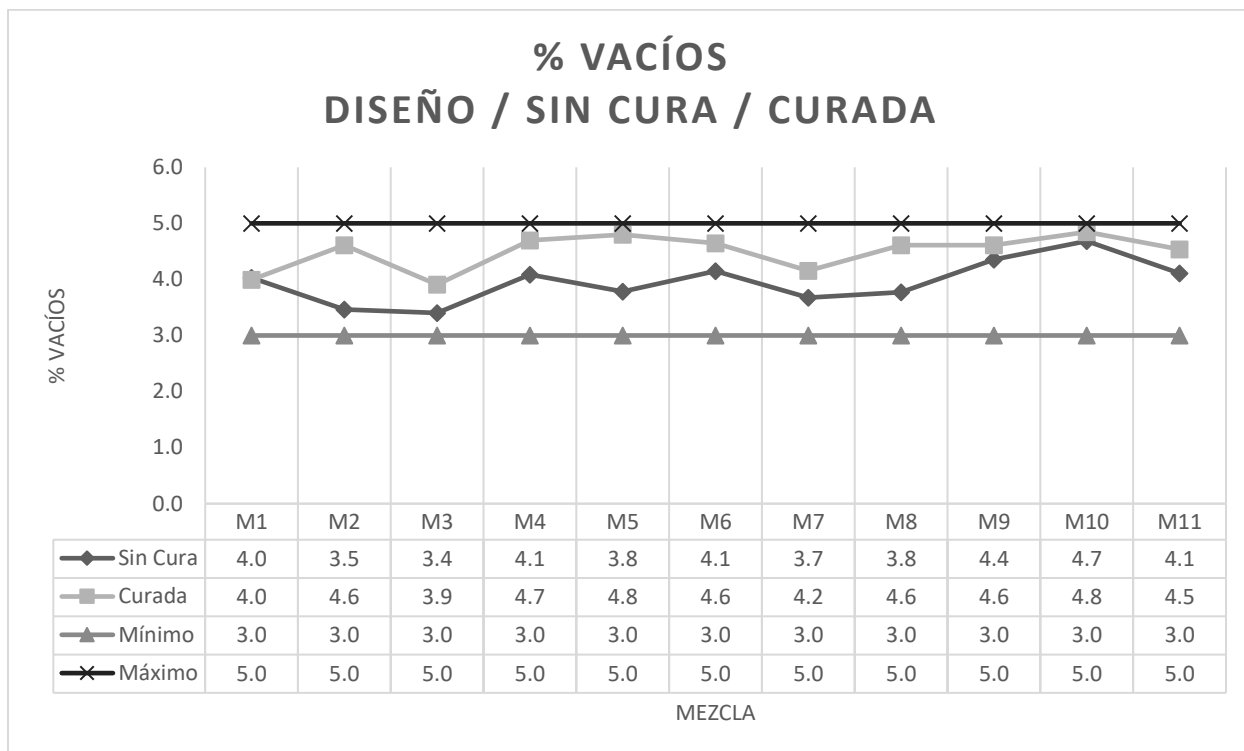


Ilustración 30. Límites inferior y superior de Vacíos.

A pesar de que se genera un aumento en los vacíos para los especímenes Curados, se puede notar cómo en ambas condiciones todos los puntos se mantienen dentro del rango admisible (3.0% – 5.0%) de vacíos.

3.6 Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral

Fuente: propia.

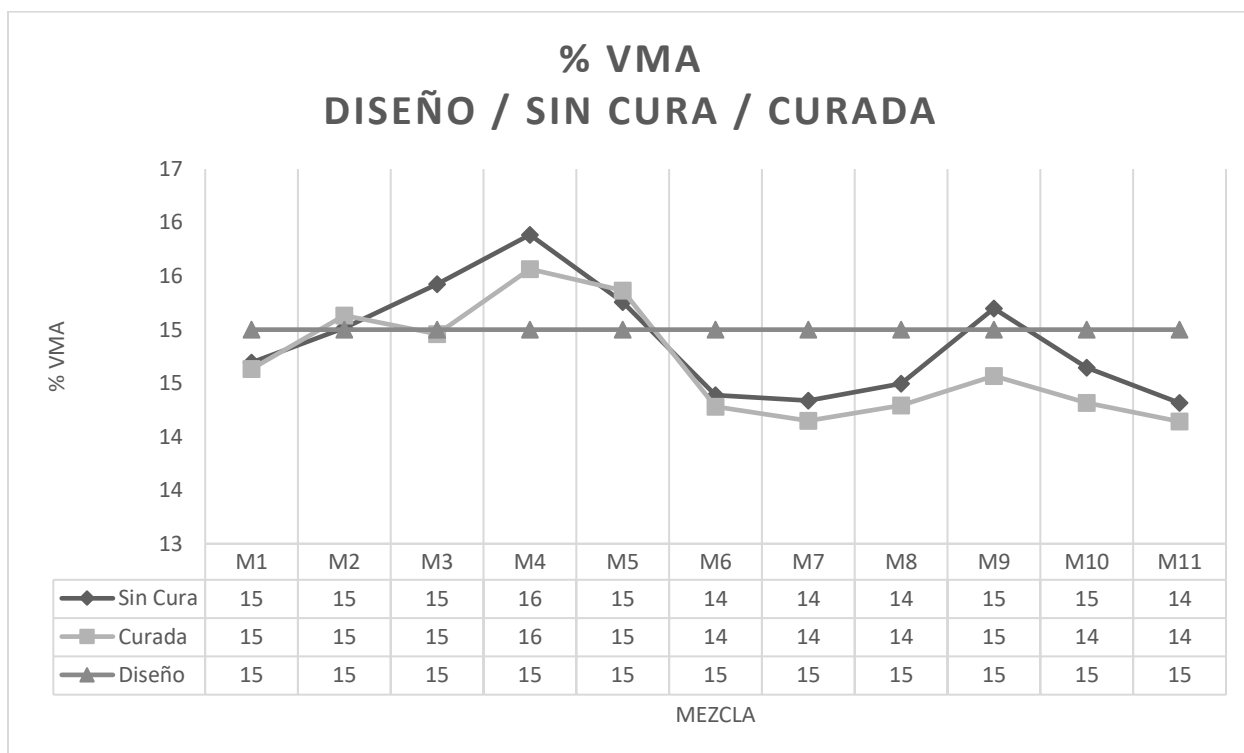


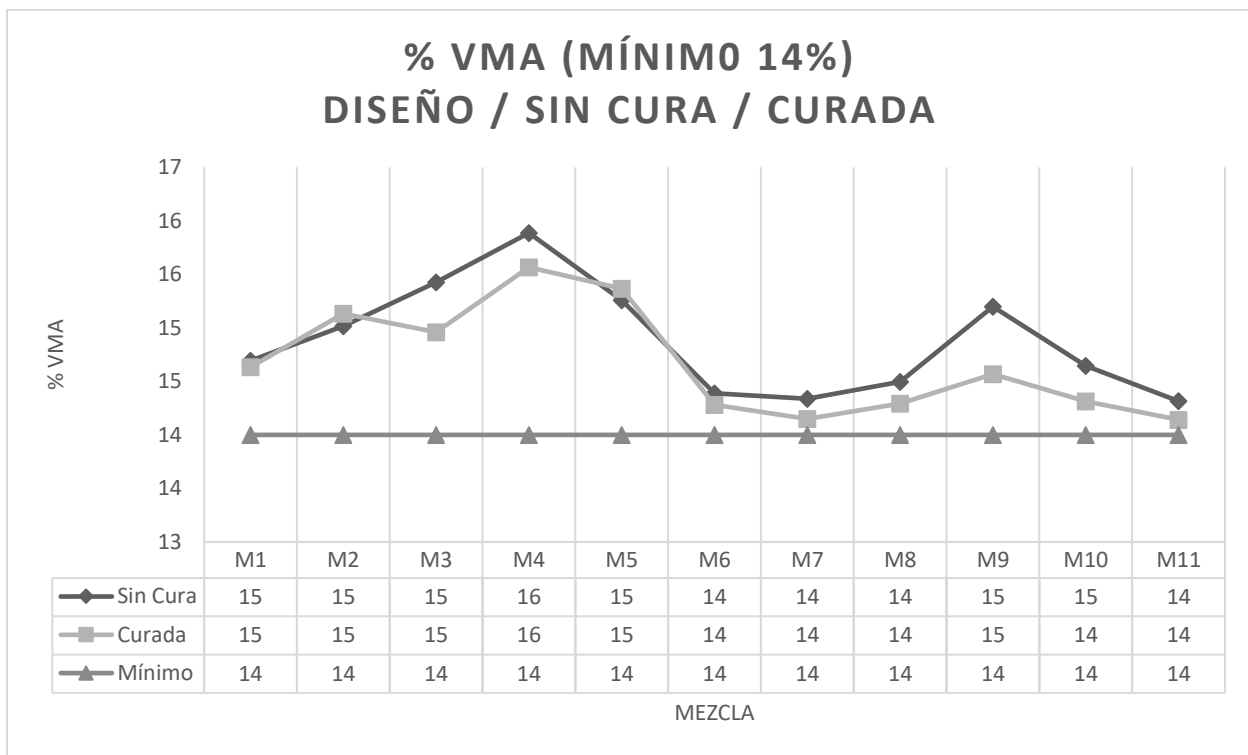
Ilustración 31. % Vacíos en el Agregado Mineral.

Se puede ver que la mezcla Curada tiende a disminuir con respecto a la No Curada, excepto en los puntos M2 y M5.

El % VMA está relacionado directamente al Gbs y al Gbs del agregado, en la gráfica que se muestra en la Ilustración 25 se nota cómo no hubo una variación importante entre los resultados, por lo que no se espera una variación importante entre los resultados del % VMA, nótese en el gráfico.

El valor “P” del análisis estadístico es de 0.359 ($0.05 < 0.359$), por lo que se acepta la hipótesis nula y se determina que las varianzas son iguales, lo que se refleja en los resultados al ser constantes (Ver Anexo 3).

Fuente: propia.



4.

Ilustración 32. Límite Mínimo Aceptable de % VMA.

Todos los puntos se encuentran por encima del valor mínimo de Diseño, por lo que cumple con los parámetros de Diseño.

3.7 Vacíos cubiertos de Asfalto

Fuente: propia.

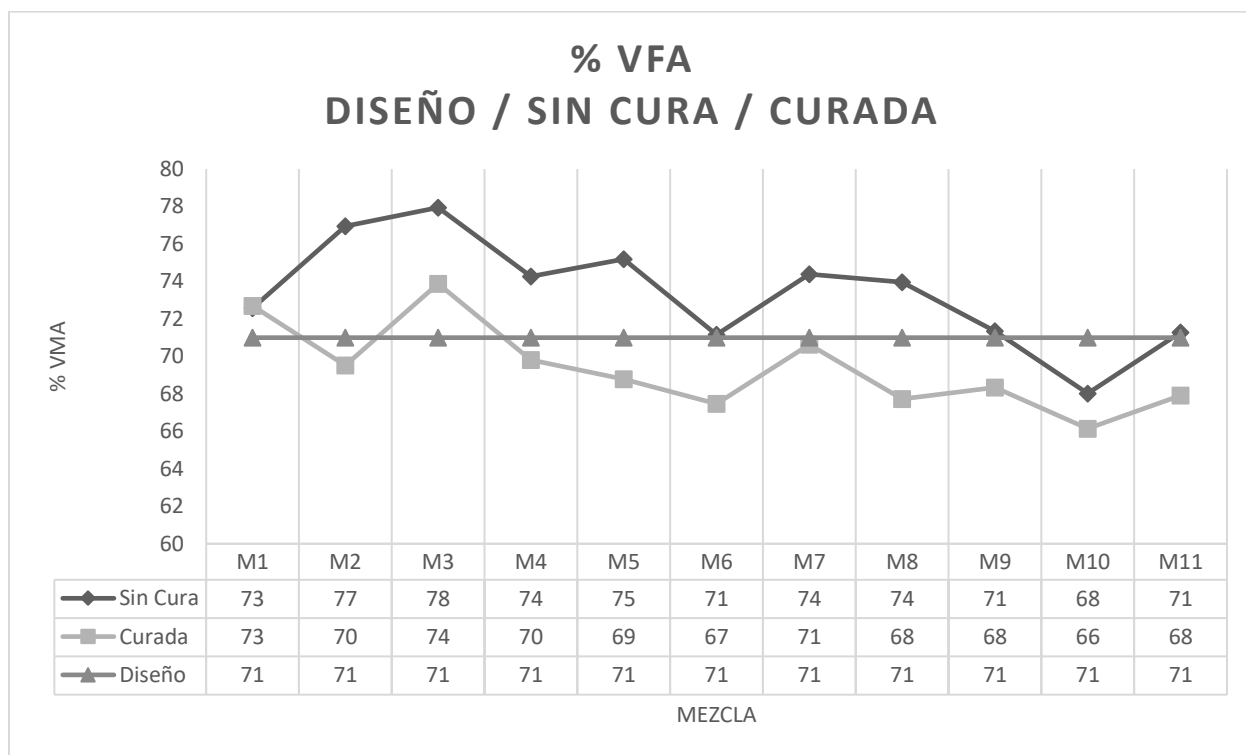


Ilustración 33. Vacíos Cubiertos de Asfalto para Mezclas Curadas y No Curadas.

Fuente: propia.

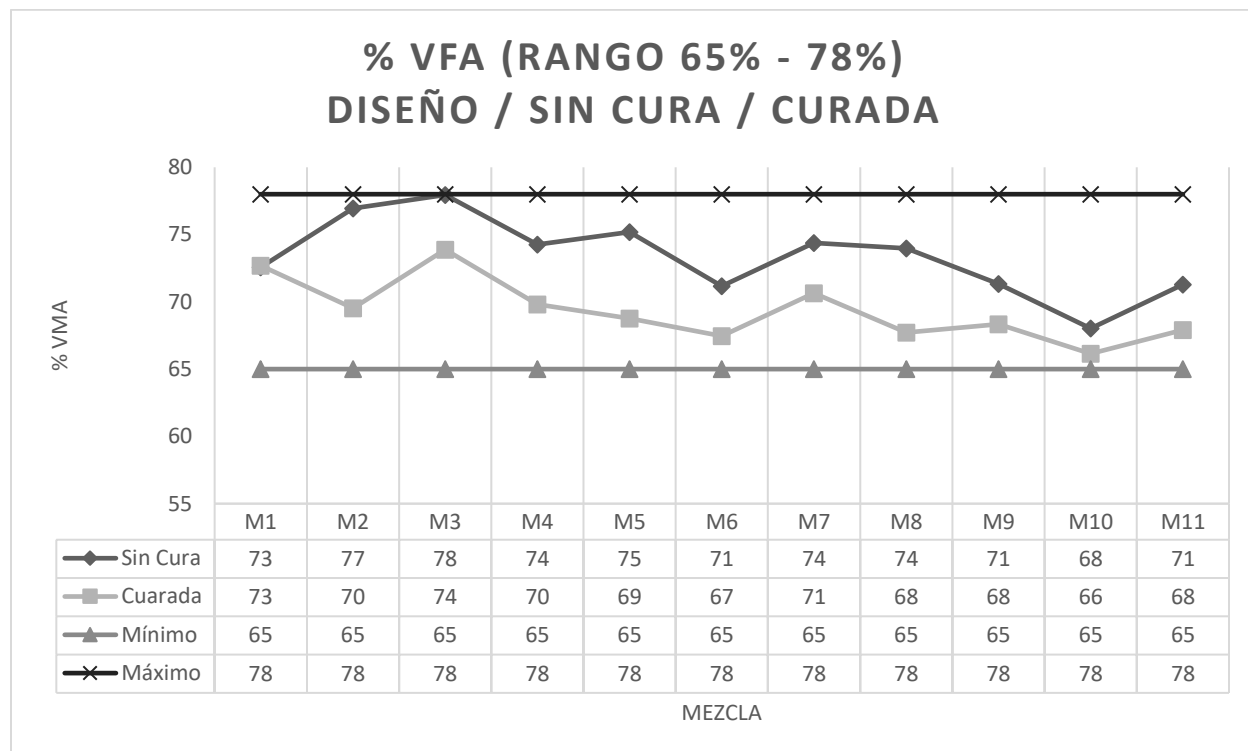


Ilustración 34. Límites inferior y superior de %VFA.

El % VFA está relacionado directamente con el % VMA y el porcentaje de Vacíos, en la ilustración 29 puede notarse cómo se genera un aumento en el porcentaje de Vacíos con respecto a la mezcla Curada, esto implica una disminución en el % VFA de la mezcla Curada, véase en la siguiente ecuación:

$$\frac{d\%VFA}{d\%V} = \frac{-100}{\%VMA}$$

Ecuación 15

Nótese que la ecuación siempre es negativa, lo que implica que un aumento en el porcentaje de vacíos siempre dará como resultado una disminución del % VFA.

Todos los puntos se encuentran dentro de los límites inferior y superior de aceptación.

El valor “P” del análisis estadístico es de 0.02 ($0.05 > 0.02$), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se determina que las varianzas son iguales (Ver Anexo 3).

3.8 Flujo y Estabilidad

Fuente: propia.

M8 SC

Resistencia al Flujo Plástico (IE-002) para Especímenes Elaborados en Laboratorio

# Pastilla	Altura (cm)	Volumen cm ³	Factor de corrección	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100 cm)
1	6.47	506.1	1.00	1358	27.2
2	6.45	504.7	1.00	1508	28.6
3	6.46	503.2	1.00	1358	31.7
4	6.43	505.2	1.00	1437	31.0
PROMEDIO			1.00	1415	29.6

Tabla 13. Resistencia de Flujo y Estabilidad (Sin Curar).

Fuente: propia.

M8 C

Resistencia al Flujo Plástico (IE-002) para Especímenes Elaborados en Laboratorio

# Pastilla	Altura (cm)	Volumen cm ³	Factor de corrección	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100 cm)
1	6.46	503.2	1.00	1712	31.5
2	6.42	504.6	1.00	1586	28.9
3	6.44	502.2	1.00	1600	32.4
4	6.45	502.7	1.00	1715	30.4
PROMEDIO			1.00	1653	30.8

Tabla 14. Resistencia de Flujo y Estabilidad (Curada).

Fuente: propia.

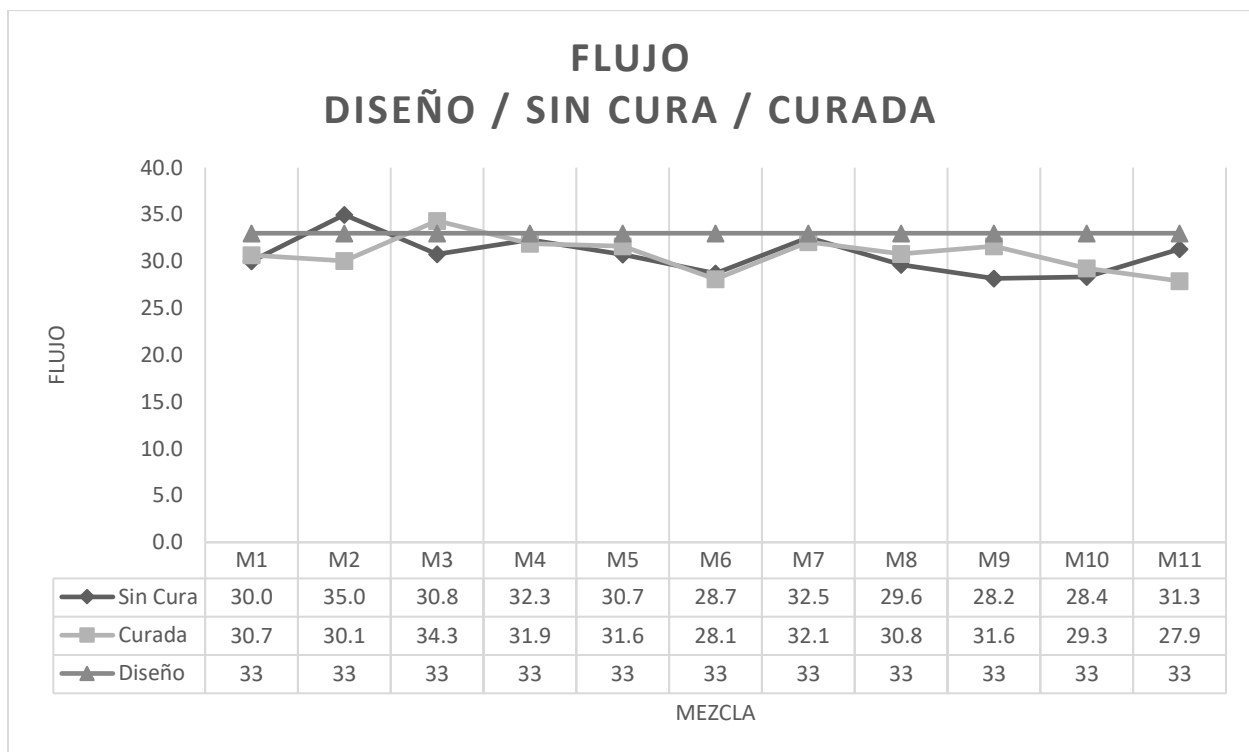


Ilustración 35. Flujo de Mezclas Sin Curado y Con Curado

Fuente: propia.

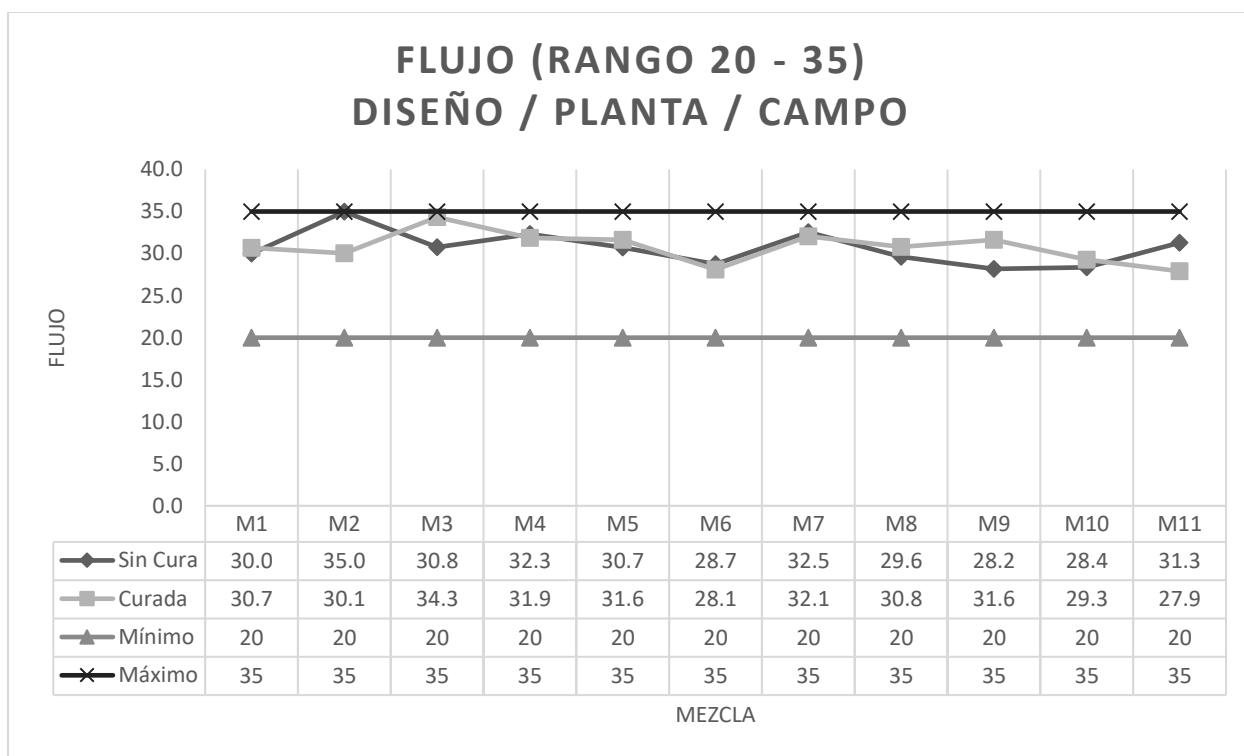


Ilustración 36. Rango de aceptación del Flujo.

En el caso del Flujo, los puntos se mantienen constantes, a pesar de la disminución en el contenido de asfalto de la mezcla, no se genera una variación apreciable en el Flujo.

La mayoría de los puntos se encuentran por debajo del valor de Diseño, a excepción del punto M2 Sin Curado y el M3 Curado.

Todos los puntos se encuentran dentro de los límites máximo y mínimo aceptable.

El análisis estadístico determina un valor “P” de 0.928 ($0.05 < 0.928$) porque se acepta la hipótesis nula y se determina que las varianzas son iguales (Ver Anexo 3).

Fuente: propia.

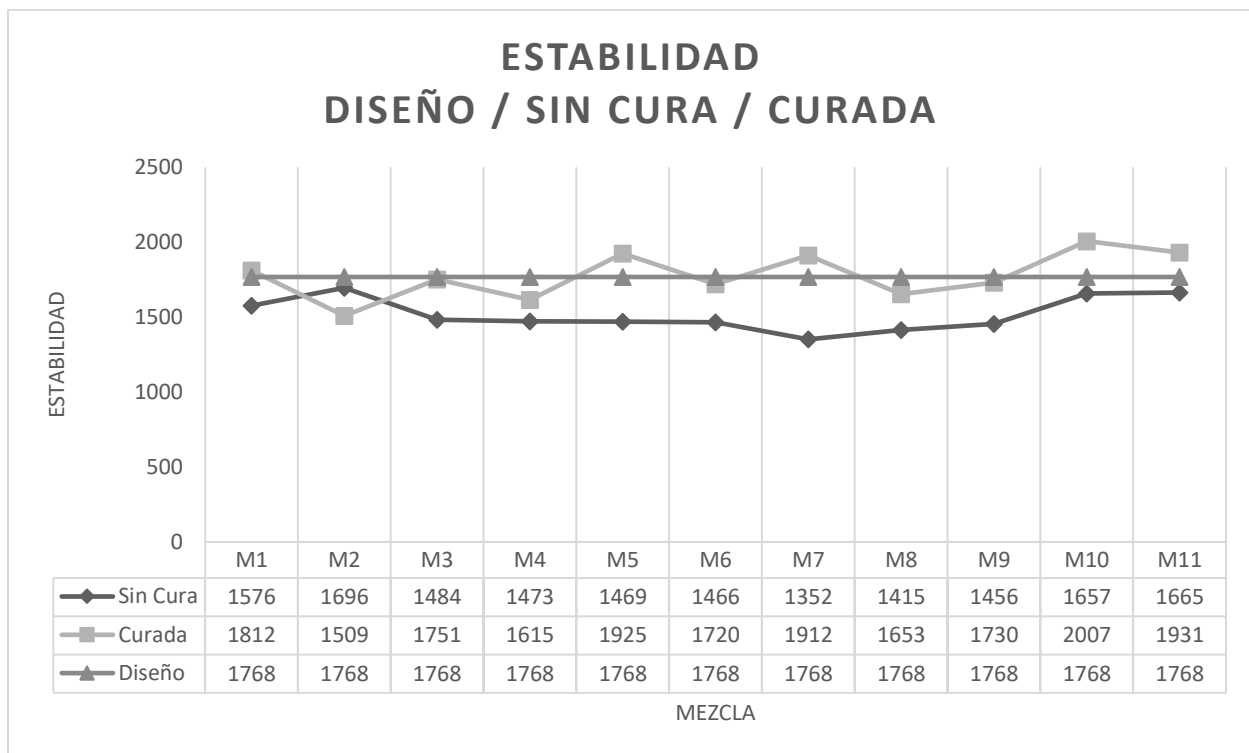


Ilustración 37. Estabilidad de Mezclas Sin Curado y Con Curado.

Fuente: propia.

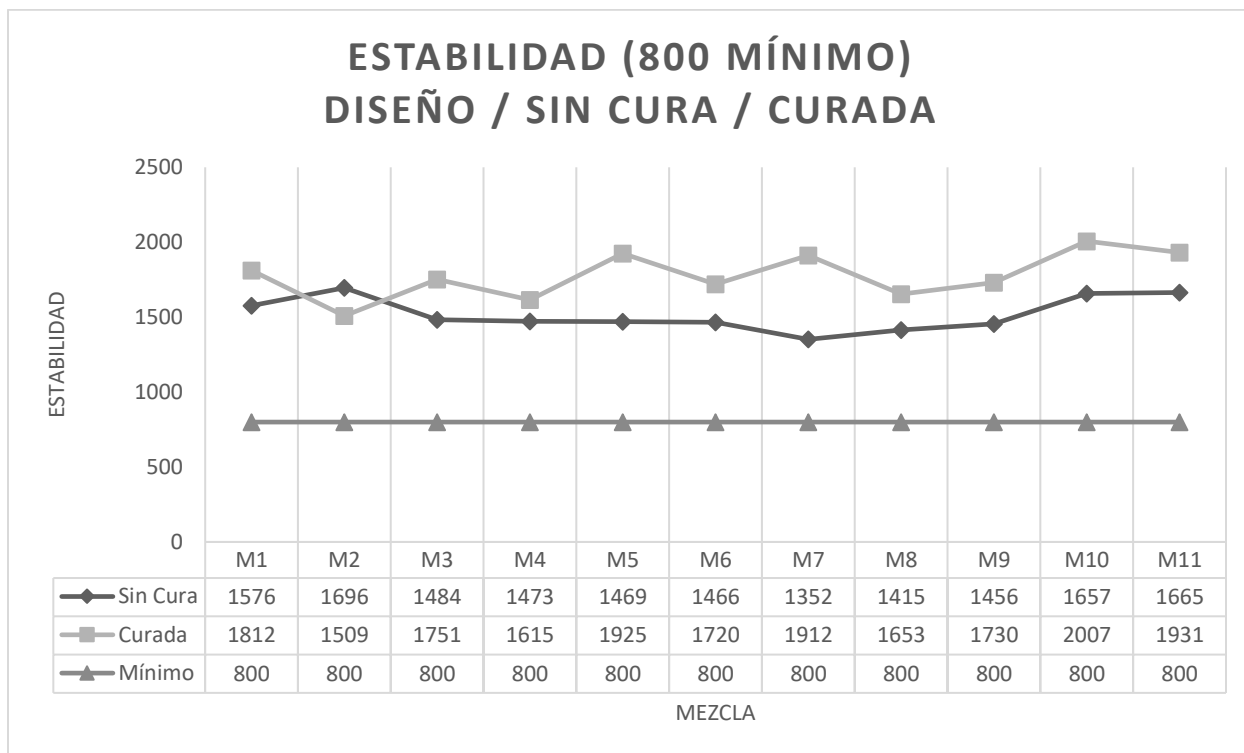


Ilustración 38. Revisión de cumplimiento de Estabilidad Mínima.

Se genera un aumento en los especímenes Curados (excepto en el punto M2), debido a que la mezcla se rigidiza al curarse, esto se relaciona con la disminución en el porcentaje de asfalto sobre la mezcla.

El punto M2 Curado puede que se comporte de manera diferente debido a que la recolección de la muestra fue tomada previo a la compactación.

Todos los puntos están por encima del límite mínimo.

El valor “P” obtenido del análisis estadístico es de 0.000 ($0.005 > 0.000$), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se determina que las varianzas no son iguales (Ver Anexo 3).

Fuente: propia.

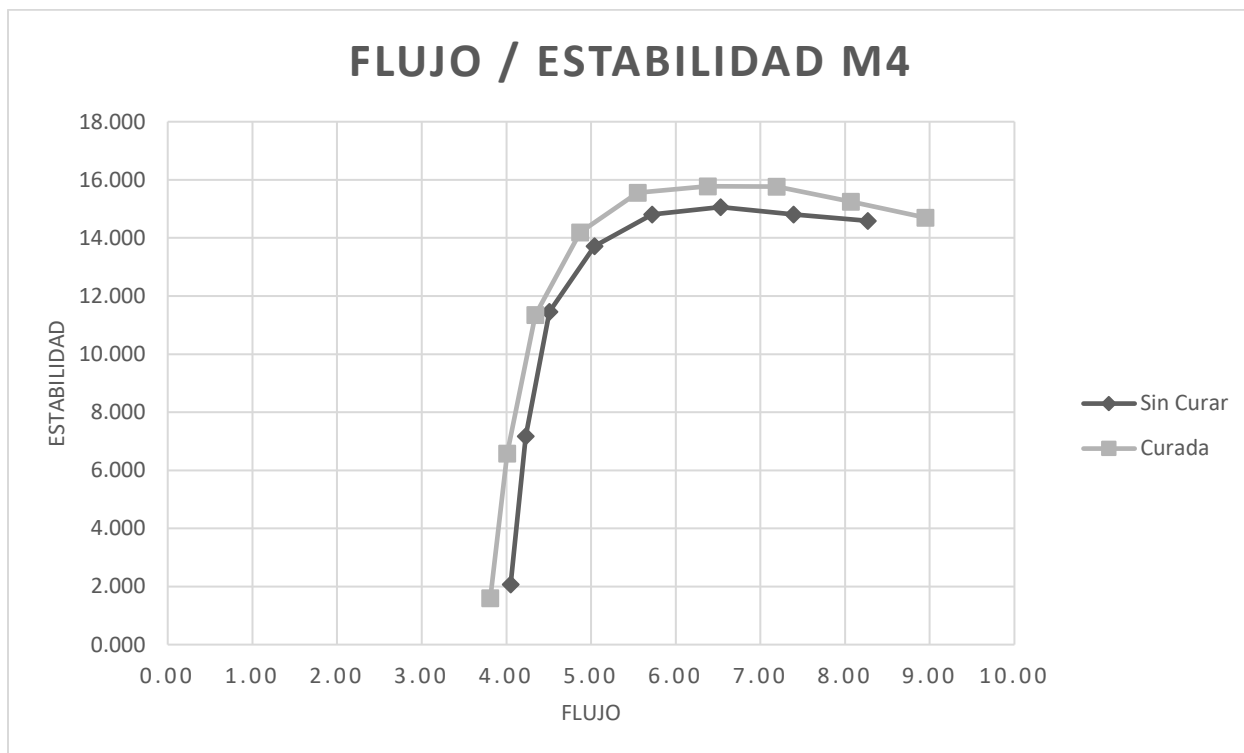


Ilustración 39. Curva de Falla.

A partir de la Ilustración 39, se puede ver cómo hubo un aumento en la rigidez del espécimen en condiciones de Curado, debido al aumento de la Estabilidad y que el valor de Fluencia se mantiene constante. Esta misma tendencia se mantiene para el resto de los especímenes (Ver anexo 2).

CONCLUSIONES

Se genera una disminución en el porcentaje de asfalto sobre la mezcla en los especímenes con condición de Curado en un promedio de 0,32 %, debido a la volatilización del ligante asfáltico que inicia al ser envejecido a partir de temperaturas de 150 °C, que fue la misma temperatura que se utilizó en esta investigación durante el tiempo de Curado. Además, los agregados utilizados en Costa Rica presentan porcentajes altos de absorción, por lo que se genera una disminución en el porcentaje de asfalto efectivo de la mezcla.

Se genera una disminución en el porcentaje de asfalto sobre el agregado en los especímenes con condición de Curado en un promedio de 0,36 %, debido a la volatilización del ligante asfáltico que inicia al ser envejecido a partir de temperaturas de 150 °C, que fue la misma temperatura que se utilizó en esta investigación durante el tiempo de Curado.

El 82 % de las muestras no presenta diferencia apreciable entre los porcentajes, pasando en cada una de las mallas, y el 91 % de los especímenes se encuentra dentro de los límites máximo y mínimo aceptable. Los resultados son aceptables debido a que el agregado no debe presentar ningún tipo de variación por el proceso de Curado, en los casos en los que se presenta una variación es debido a temas económicos y factor humano.

La gravedad específica máxima teórica presenta un incremento en los resultados del 91 % de los especímenes Curados, debido a que está directamente relacionada con la gravedad específica de los materiales que componen la mezcla, por lo que al presentarse una disminución en el ligante asfáltico (material menos denso) la mezcla asfáltica pasa a ser más densa por la densidad del agregado (material más denso).

El proceso de Curado no define una tendencia en los resultados de la gravedad específica bruta seca, pero sí una trayectoria similar entre las muestras Sin Curar y Curadas. Realmente no se esperaba una variación en los resultados, debido a que está estrechamente relacionado con el agregado de la mezcla, material que no debe presentar mayor variación.

Se presenta un aumento en el porcentaje de vacíos, esta condición contribuye a un deterioro en la durabilidad de la mezcla. Los vacíos están relacionados directamente con la gravedad específica máxima teórica y la gravedad específica bruta seca, por ende, al generarse un incremento en los

resultados de la gravedad específica máxima teórica aumenta simultáneamente el porcentaje de vacíos.

El porcentaje de vacíos en el material mineral se mantuvo relativamente constante en el 100 % de los especímenes Curados, estos resultados se presentan debido a que este porcentaje está relacionado directamente con la gravedad específica bruta seca y la gravedad específica del agregado, las cuales no presentan variaciones importantes.

El porcentaje de vacíos llenos de asfalto presentan una disminución en el 100 % de los especímenes Curados, este porcentaje se encuentra relacionado con el porcentaje de vacíos en el material mineral y el porcentaje de vacíos, debido a esta relación, el aumento en el porcentaje de vacíos significa una disminución en el porcentaje de vacíos llenos de asfalto.

El flujo de deformación se mantiene constante en los resultados de los especímenes Curados, la disminución del porcentaje de asfalto en la mezcla no genera consecuencias importantes en los resultados de la prueba.

La estabilidad aumenta para los especímenes Curados debido al aumento de rigidez en la mezcla asfáltica que se da por el efecto de volatilización y la absorción del agregado que afecta el porcentaje de asfalto sobre la mezcla, este efecto genera reacciones de oxidación, lo que influye directamente en el incremento de la rigidez.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar la investigación nuevamente, con la diferencia de que la mezcla asfáltica sea producida en el laboratorio para así tener un mayor control de la mezcla y conseguir resultados más fiables. En esta investigación la mezcla asfáltica fue obtenida de la planta de producción de asfalto Pavicen, por lo que a pesar de que existe un diseño que se debe seguir para asegurar que la producción en las distintas mezclas asfálticas es la misma, hay muchos factores que pueden generar varianzas en la producción de cada una de las mezclas asfálticas diariamente.

Las pruebas realizadas en esta investigación se basan únicamente en un mismo tamaño de agregado y ligante asfáltico, por lo que se recomienda realizar el estudio a otros tamaños de agregado y ligantes asfálticos para poder apreciar si se genera una misma tendencia en los resultados, aunque exista una varianza en los materiales que componen la mezcla asfáltica.

Para el caso de esta investigación, se realizó el estudio a once distintas mezclas asfálticas, se recomienda aumentar el número de especímenes en estudio para tener una tendencia más apreciable en los resultados.

Se recomienda realizar los dos métodos estipulados en la norma T 308-16, que está relacionado con el contenido de asfalto en la mezcla. La finalidad de realizar ambos métodos es para así poder realizar una comparación entre sus resultados y tener una mayor seguridad de estos.

El tiempo de envejecimiento estipulado en esta investigación fue de seis horas, con lo que se logra demostrar una variación en las condiciones de la mezcla asfáltica, pero no se sabe a ciencia cierta en cuánto tiempo exactamente es que se empieza a generar ese cambio, por lo que es recomendable realizar las pruebas en distintos tiempos de envejecimiento, para así tener un dato más preciso, donde se evidencien los cambios de las condiciones de la mezcla en un tiempo específico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, A.R. (2011). *Análisis de métodos para el estudio granulométrico de áridos de mezclas asfálticas*. Tesis inédita. Licenciatura en Ingeniería Civil. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2015). *AASHTO T 30 Standard Method of Test for Mechanical Analysis of Extracted Aggregate*.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2014). *AASHTO T 164-14 Quantitative Extraction of Asphalt Binder from Hot Mix Asphalt (HMA)*
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2016). *AASHTO T 166-16, Standard Method of Test for Bulk Specific Gravity (Gmb) of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) Using Saturated Surface-Dry Specimens*.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2012). *AASHTO T 209 Standard method of test for theoretical maximum specific gravity (gmm) and density of hot-mix asphalt (hma) paving mixtures*.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2015). *AASHTO T 245 Standard method of test for resistance to plastic flow of bituminous mixtures using Marshall apparatus*.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2017). *AASHTO T 275-17 Bulk Specific Gravity (Gmb) of Compacted Asphalt Mixtures Using Paraffin-Coated Specimens*.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2016). *AASHTO T 308-16 Determining the Asphalt Binder Content of Hot Mix Asphalt (HMA) by the Ignition Method*.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2015). *AASHTO T329 Moisture content of asphalt mixtures by oven method*.

American Association of State Highway and Transportation Officials. (2014). *AASHTO T 269, Standard method of test for percent air voids in compacted dense and open asphalt mixtures.*

American Society for Testing and Materials. (2011). *ASTM D2041M Standard test method for theoretical maximum specific gravity and density of bituminous paving mixtures.*

American Society for Testing and Materials. (2016). *ASTM D6926 Standard practice for preparation of bituminous specimens using Marshall apparatus.*

American Society for Testing and Materials. (2017). *ASTM D2172 Standard Test Methods for Quantitative Extraction of Asphalt Binder from Asphalt Mixtures.*

American Society for Testing and Materials. (2015). *ASTM D6927 Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures.*

Asphalt Institute. (1993). *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-mix Types, Manual Series No. 2 (MS-2).*

CACISA (2016): *IE-005 MÉTODO ESTÁNDAR DE DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD MÁXIMA TEÓRICA*

CACISA (2016): *IE-002 DETERMINAR EL FLUJO PLÁSTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO EL APARATO MARSHALL.*

CACISA (2017): *IE-004 ANÁLISIS DEL AGREGADO EXTRAÍDO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.*

CACISA (2017): *IE-003 EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL LIGANTE ASFÁLTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS (MÉTODO REFLUX).*

Fernández, W.D., Rondón, H., Reyes, F (2011): *Envejecimiento de Asfaltos y Mezclas Asfálticas: Estado del conocimiento.*

Lanamme (2014): *Consistencia de Los Diseños de Mezcla Según La Metodología Marshall.*
Recuperado de,

<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/889/CONSISTENCIA-DISE%20OS-MEZCLA-METOD.MARSHALL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Lanamme (2009): *Análisis de los porcentajes de vacíos de la mezcla asfáltica para la concesión de la Carretera San José-Caldera.*
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes (2017): *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes CR-2010.*
- Mohammad, L. (2006): *Performance Tests for Hot Mix Asphalt (HMA) Including Fundamental and Empirical Procedures.* U.S.A.: West Conshocken.
- Moreno, M.A. (2011). *Efecto de la presencia de humedad en el comportamiento de mezclas asfálticas sometidas a ensayo de rueda de carga (Norma NLT-173/84).* Tesis inédita. Licenciatura en Ingeniería Civil. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Sarmiento, M.A. (2012). *Estudio del comportamiento de una mezcla asfáltica con emulsión.* Tesis inédita. Maestría en Ingeniería - Geotécnica. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Transportation Research Board (2011): *A Manual for Design of Hot Mix Asphalt with Commentary.*
- Vargas, X., Reyes, F. (2010): *El fenómeno de envejecimiento de los asfaltos.*

ANEXOS

Anexo 1 Certificación del Diseño de Mezcla de la Planta Pavien



INFORME DE ENSAYO

INF. 348-2018
27 de Febrero del 2018

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

Empresa:	Constructora Pavicen	Dirigido a:	Ing. Javier Apestegui
Dirección:	San Antonio, Alajuela	Proyecto:	Control de Calidad de Mezcla Asfáltica

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y DATOS DE CONTROL

Fecha de Recolección de muestra:	29 de Enero del 2018
Contenido:	Diseño de Mezcla Asfáltica (tamaño máximo nominal 12,7 mm)
Método de Muestreo Utilizado:	PT-LAB-07
Descripción de la Muestra:	Agregado y Cemento Asfáltico
Procedencia de la Muestra:	Agregado del Quebrador Piedra Grande y asfalto de la Planta de Pavicen
Lugar de realización de los ensayos:	Laboratorio Central
Fecha Recepción de la Muestra:	30 de Enero del 2018
Fecha de Realización del Ensayo:	Enero-Febrero del 2018

Aclaración: Los resultados que se presentan a continuación se refieren solo a las muestras ensayadas y/o pruebas de campo realizadas y al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. No se permite la reproducción parcial del Informe de Ensayo sin previa autorización escrita de CACISA. Este Informe de Ensayo no es válido sin la firma de aprobación respectiva.



CACISA cuenta con Ensayos acreditados por el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), según los requerimientos de la Norma **INTE-ISO/IEC 17025:2005**. También tiene Actividades de Inspección acreditadas por el ECA según los requerimientos de la Norma **INTE-ISO/IEC 17020:2000**.

Cualquier comentario acerca de nuestros servicios, favor enviarlo a info@cacisa.cr

INF. 348-2018

Pág. 1 de 10

Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A. Tel: (506) 2244-0548 Fax: (506) 2244-1385
Santa Rosa de Santo Domingo de Heredia, de la Iglesia Católica 100 metros Oeste y 500 metros Norte
E-mail: info@cacisa.co.cr Página web: www.cacisa.co.cr Apartado: 1621-1100



F-PG-03-1 F.E 05/10/16 Rev. 14

RESULTADOS

1- INFORMACIÓN GENERAL

1.1- NOMBRE DEL LABORATORIO RESPONSABLE

El diseño presentado fue elaborado por el Laboratorio de la Compañía Asesora en Construcción e Ingeniería, denominada CACISA.

1.2- FECHA DEL INFORME DE LABORATORIO

El presente informe de laboratorio tiene como fecha de elaboración 27 de Febrero del 2018.

1.3- PROFESIONAL QUE CERTIFICA EL INFORME DE LABORATORIO

El profesional que certifica este informe es el Ing. Carlos Solís Molina.

1.4- PROFESIONAL RESPONSABLE DEL CONTRATISTA QUE HA REMITIDO EL INFORME PARA REVISIÓN

El profesional que remite este informe para su revisión es el Ing. Javier Apestegui.

1.5- INDICACIÓN DE CADA UNA DE LAS FUENTES DE AGREGADO CON LAS QUE SE VA A PRODUCIR LA MEZCLA QUE CORRESPONDE AL DISEÑO:

La fuente de agregados se conoce como Quebrador Piedra Grande (Guápiles), expediente minero número: 22-90.

1.6- FECHA DE MUESTREO DE LOS AGREGADOS:

Los agregados se muestrearon el 29 de Enero del 2018.

1.7- TÉCNICA DE MUESTREO UTILIZADA:

El muestreo se llevó a cabo en los apilamientos producto del triturado del material de acuerdo con la normativa AASHTO T 2 (PT-LAB-07). El nombre del técnico que realizó el muestreo es Eric Mairena.

1.8- INDICAR SI LOS AGREGADOS MUESTREADOS HAN SIDO LAVADOS:

Los agregados muestreados procedentes del quebrador se lavan durante el proceso de extracción.

1.9- INDICAR EL TIPO DE RELLENO MINERAL A UTILIZAR, SUS CARACTERÍSTICAS Y SU FORMA DE INCORPORACIÓN A LA MEZCLA:

No aplica.

1.10- TIPO DE PLANTA Y UBICACIÓN

La planta es continua, marca Hotmix de 70 TPH y se encuentra ubicada en el distrito cuarto de San Antonio, de la provincia de Alajuela.

1.11- TIPO Y USO DE LA MEZCLA

La mezcla a producir se realizará con agregado de tamaño máximo nominal igual a 12,7 mm y será utilizada en la colocación de carpeta y bacheo para proyectos varios.

2- LIGANTE ASFÁLTICO (AC-30)**2.1- FECHA DE MUESTREO DEL LIGANTE ASFÁLTICO:**

El ligante asfáltico se muestreó directamente del tanque de almacenamiento, el día 29 de Enero del 2018, de acuerdo con la normativa AASHTO T 140. El nombre del técnico que realizó el muestreo es Eric Mairena.

2.2- CERTIFICADO DE CALIDAD DEL ASFALTO UTILIZADO EN EL DISEÑO DE MEZCLA:

El Certificado de Calidad del asfalto utilizado en el diseño se encuentra anexado a este documento. Los datos del mismo se aceptan como válidos.

2.3- ADITIVO

No se utilizó aditivo.

2.4- TEMPERATURAS DE MEZCLADO Y COMPACTACIÓN EN EL DISEÑO DE LA MEZCLA:

La temperatura de mezclado recomendada en el certificado de asfalto se encuentra entre 156 °C y 162 °C; y la de compactación es entre 144 °C y 149 °C.

3- PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS DE APILAMIENTO:

3.1 PROPORCIONES EN QUE SE MEZCLAN LOS AGREGADOS DE APILAMIENTO PARA OBTENER LA GRANULOMETRÍA DE DISEÑO:

Los agregados se han mezclado en una proporción de 38 % material de grueso, y un 62 % de material fino.

3.2 GRANULOMETRÍA DE GRUESOS* (Piedra Quinta), AASHTO T-27/11:

Tamiz	% Pasando
19.0 mm	100
12.7 mm	88
9.5 mm	56
N. 4	7
N. 8	2
N. 16	1
N. 30	1
N. 50	1
N. 200	1.0

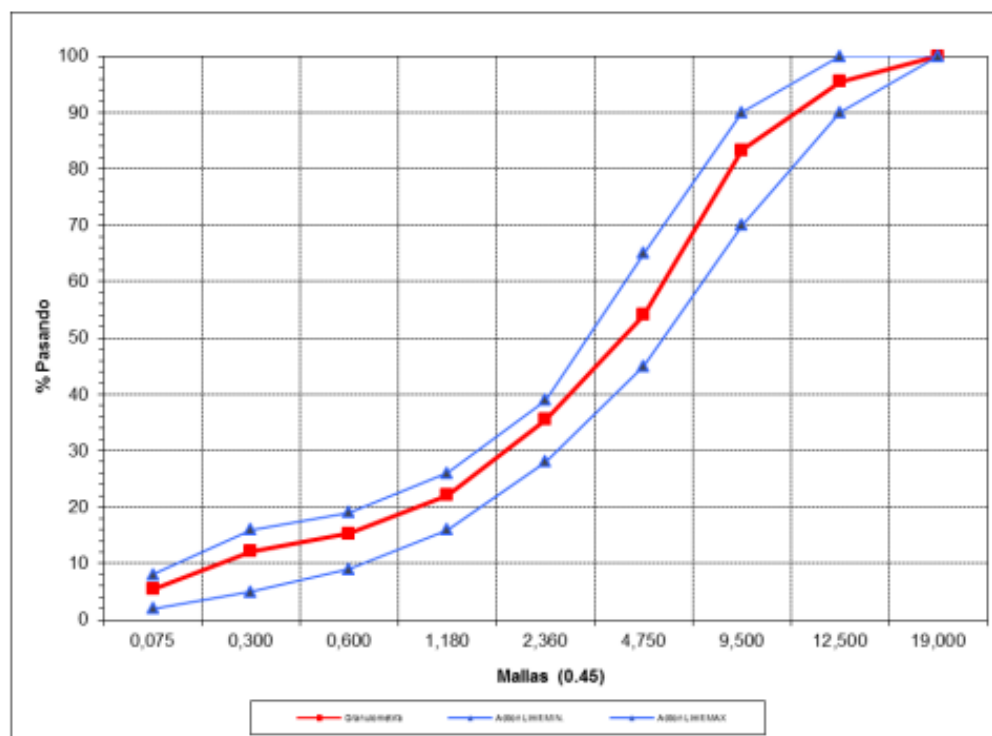
3.3 GRANULOMETRÍA DE FINOS* (Polvo de Piedra), AASHTO T-27/11:

Tamiz	% Pasando
9.5 mm	100
N. 4	83
N. 8	56
N. 16	35
N. 30	24
N. 50	19
N. 200	8.2

***Ensayo Acreditado**

3.4 GRANULOMETRÍA DE DISEÑO:

Tamiz	% Pasando	Tolerancias y Especificaciones para Tamaño Máx. Nominal 12,7 mm	Rangos para la Fórmula de Trabajo
19.0 mm	100	100	100
12.7 mm	95	90-100 (± 5)	90-100
9.50 mm	83	70-90 (± 5)	78-88
Nº 4	54	45-65 (± 4)	50-58
Nº 8	35	28-39 (± 4)	31-39
Nº 16	22	16-26 (± 4)	18-26
Nº 30	15	9-19 (± 4)	11-19
Nº 50	12	5-16 (± 4)	8-16
Nº 200	5,5	2-8 (± 2)	3,5-7,5



3.5 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS DE DISEÑO

AGREGADO GRUESO:

GRAVEDAD ESPECÍFICA BRUTA, AASHTO T-85*: 2,622

% DE ABSORCIÓN, AASHTO T-85*: 2,2

AGREGADO FINO:

GRAVEDAD ESPECÍFICA BRUTA, AASHTO T-84**: 2,559

% DE ABSORCIÓN, AASHTO T-84**: 3,4

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN PONDERADAS:

GRAVEDAD ESPECÍFICA BRUTA: 2,583

% DE ABSORCIÓN: 2,9

3.6 RESUMEN DE LAS PRUEBAS DEL AGREGADO:

AGREGADO GRUESO	RESULTADO	Especificación
Pérdida por abrasión (AASHTO T 96)**	20.3 %	40 % máximo
Pérdida por sanidad con sulfato de sodio (AASHTO T 104)*	2 %	15 % máximo
Índice de durabilidad (AASHTO T 210)**	88,0 %	35 % mínimo
Partículas Planas o Alargadas (ASTM C 119)*	0 %	10 % máximo
Partículas Friables (AASHTO T 112)**	0,2 %	Menor o igual a 2%
Residuo insoluble (ASTM D 3042)**	95,4 %	Mayor o igual a 25 %
Una o más caras fracturadas (ASTM D 5821)*	100 %	95 % mínimo
Dos o más caras fracturadas (ASTM D 5821)*	100 %	90 % mínimo
AGREGADO FINO		
Pérdida por abrasión (AASHTO T 96)**	26.8%	40 % máximo
Pérdida por sanidad (AASHTO T 104)*	4 %	15% máximo
Índice de durabilidad (AASHTO T 210)**	80,0 %	35% mínimo
Equivalente de arena (AASHTO T 176*)	70%	50 % mínimo
Límites de Atterberg (AASHTO T 89/90)*	NP	NP

*Ensayo Acreditado

**Ensayo No Acreditado

INF. 348-2018

Pág. 6 de 10

4- PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA:

En el anexo de este documento se encuentran, tal como se solicita, los datos correspondientes a:

- Densidad
- Estabilidad
- Flujo
- V.M.A
- V.F.A
- Porcentaje de vacíos en la mezcla
- Gráficas de mejor ajuste para cada parámetro Marshall

5- PARÁMETROS MARSHALL PARA EL PORCENTAJE ÓPTIMO DE DISEÑO:

De acuerdo con el Método de Diseño Marshall y analizando los diferentes parámetros y sus rangos de aceptación, se ha encontrado que la mezcla debe diseñarse a 4.0 % de vacíos, para lo que se recomienda un 6,10 % de asfalto sobre el peso de la mezcla (6,50 % sobre el peso de los agregados). Para este porcentaje óptimo de asfalto la mezcla presenta los siguientes parámetros:

PARÁMETROS MARSHALL	VALORES	ESPECIFICACIÓN
Estabilidad (kg)	1768	800 mínimo
Flujo (1/100 cm)	33	20 - 35
Densidad	2,349	-
Máxima Teórica	2,450	-
% vacíos	4,0	3,0 % - 5,0 %
% VMA	15	14,0 mínimo
% VFA	71	65 -78
Relación Polvo / Asfalto	1,2	0,6 - 1,3

6- RESISTENCIA AL DAÑO INDUCIDO POR LA HUMEDAD EN MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS (TENSIÓN DIAMETRAL) AASHTO T 283*.

Para realizar el ensayo de Resistencia a la Tensión Diametral, se procedió a moldear las probetas según la granulometría propuesta, con los agregados sin pasar por el quemador y mezcla fabricada en laboratorio con 5,60 % de asfalto sobre el peso de la mezcla (0,5 % de asfalto menos del porcentaje óptimo indicado en el Apartado 5).

La Razón de Tensión Diametral dio como resultado 81,9 %. Este resultado cumple con lo especificado (mayor a 75 %).

Los resultados se pueden observar en el anexo.

7-RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS (RESISTENCIA RETENIDA) AASHTO T 165, T167*.

Para realizar la prueba de Resistencia a la Compresión, se procedió a moldear las probetas según la granulometría propuesta, con los agregados muestreados y mezcla fabricada en laboratorio con 5,60 % de asfalto sobre el peso la mezcla (0,5 % de asfalto menos del porcentaje óptimo indicado en el Apartado 5).

La Razón de la Resistencia Retenida dio como resultado 78,8 %. Este resultado cumple con lo especificado (mayor a 75%).

Los resultados se pueden observar en el anexo.

8- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Según el análisis realizado, se establece la siguiente fórmula de trabajo para producir mezcla asfáltica en la planta de Pavicen con los agregados provenientes del Quebrador Piedra Grande.

Los agregados utilizados son piedra quinta y polvo de piedra, los cuales al combinarlos en una proporción de 38 % y 62% respectivamente, se obtiene la siguiente graduación de diseño:

Tamiz	% Pasando	Rango de Aceptación
19.0 mm	100	100
12.7 mm	95	90-100
9.50 mm	83	79-89
Nº 4	54	51-59
Nº 8	35	31-39
Nº 16	22	18-26
Nº 30	15	11-19
Nº 50	12	8-16
Nº 200	5,5	3,7-7,7

El porcentaje óptimo de asfalto que satisface todos los requerimientos establecidos en las especificaciones del proyecto es de 6,10 % por peso de la mezcla (6,50 % por peso del agregado).

Una vez que la planta comience la producción de mezcla asfáltica, se recomienda realizar los ensayos correspondientes para analizar los parámetros Marshall y determinar los ajustes necesarios en la fórmula de trabajo, de tal manera que todos los parámetros se encuentren dentro de las tolerancias del diseño propuesto.

APROBACIÓN DE INFORME DE ENSAYO

 Ing. Carlos Solís Molina
 Gerente Técnico de Laboratorio

cc: Archivo

INF. 348-2018

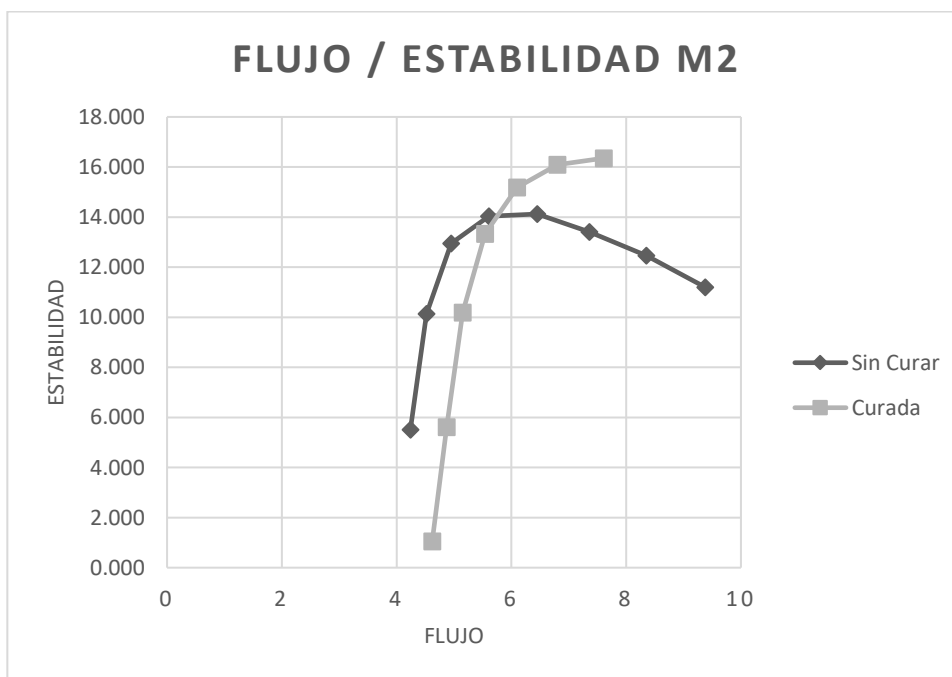
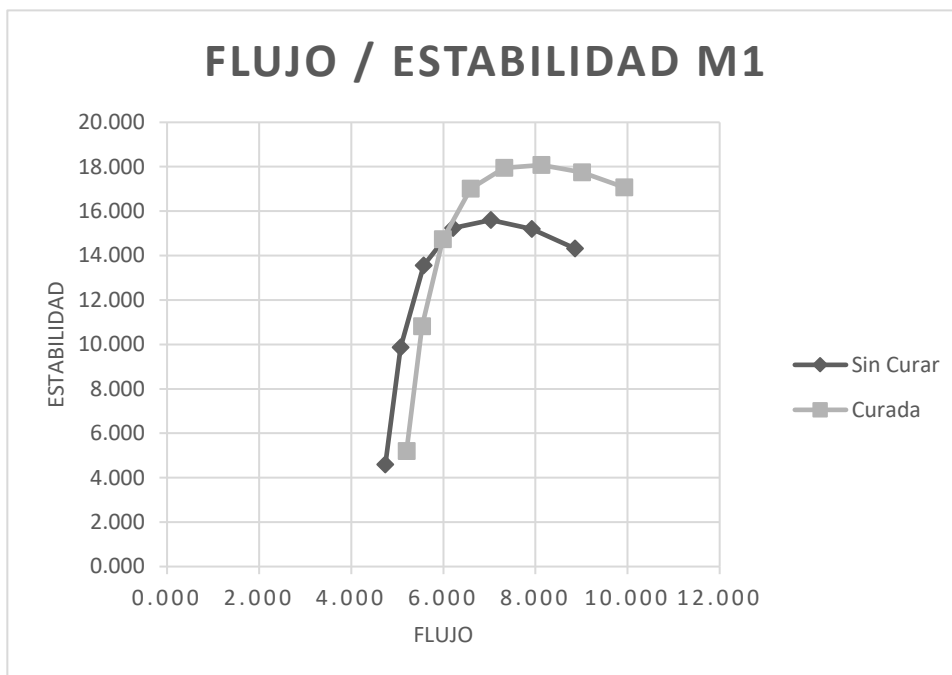
Pág. 9 de 10

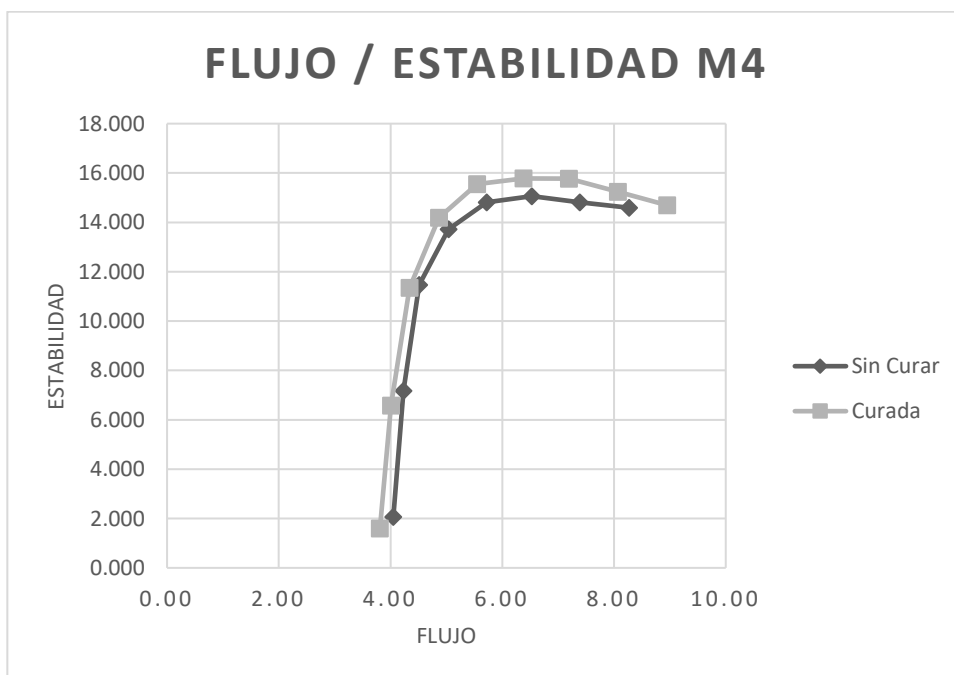
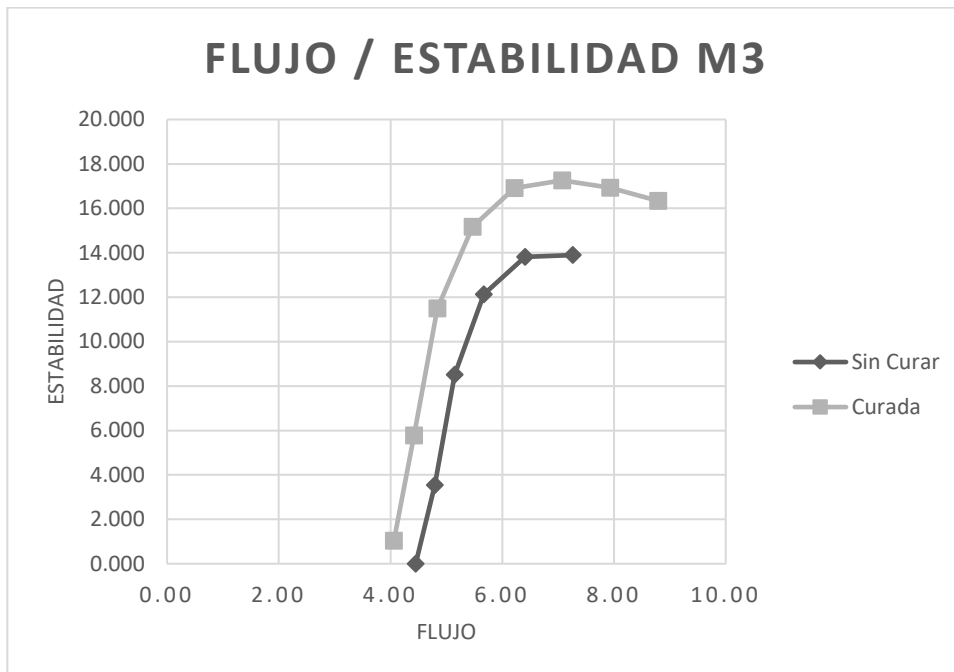
Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A. Tel: (506) 2244-0548 Fax: (506) 2244-1385
 Santa Rosa de Santo Domingo de Heredia, de la Iglesia Católica 100 metros Oeste y 500 metros Norte
 E-mail: info@cacisa.co.cr Página web: www.cacisa.co.cr Apartado: 1621-1100

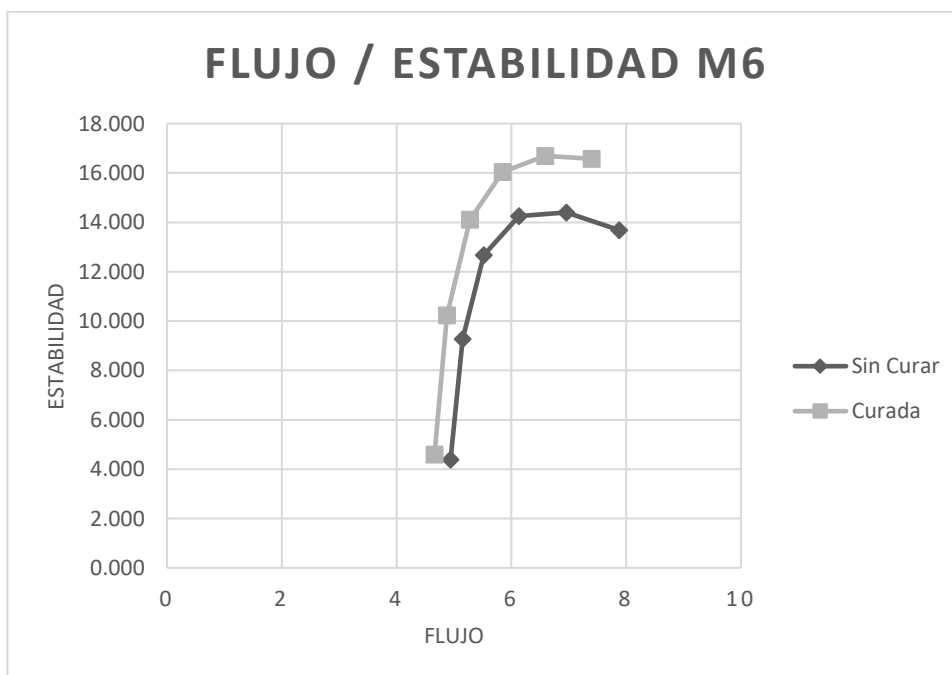
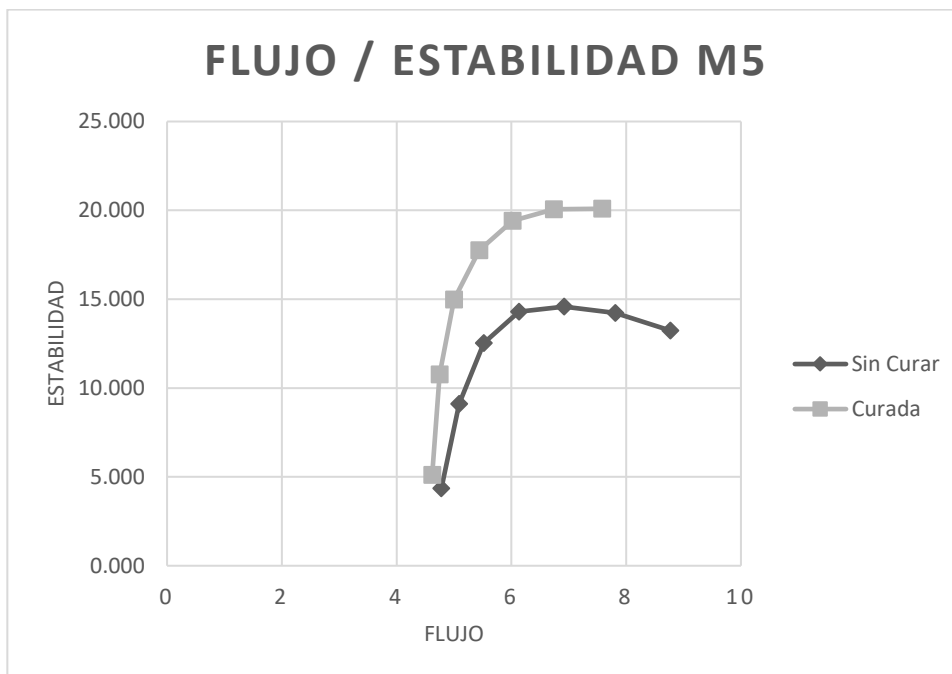


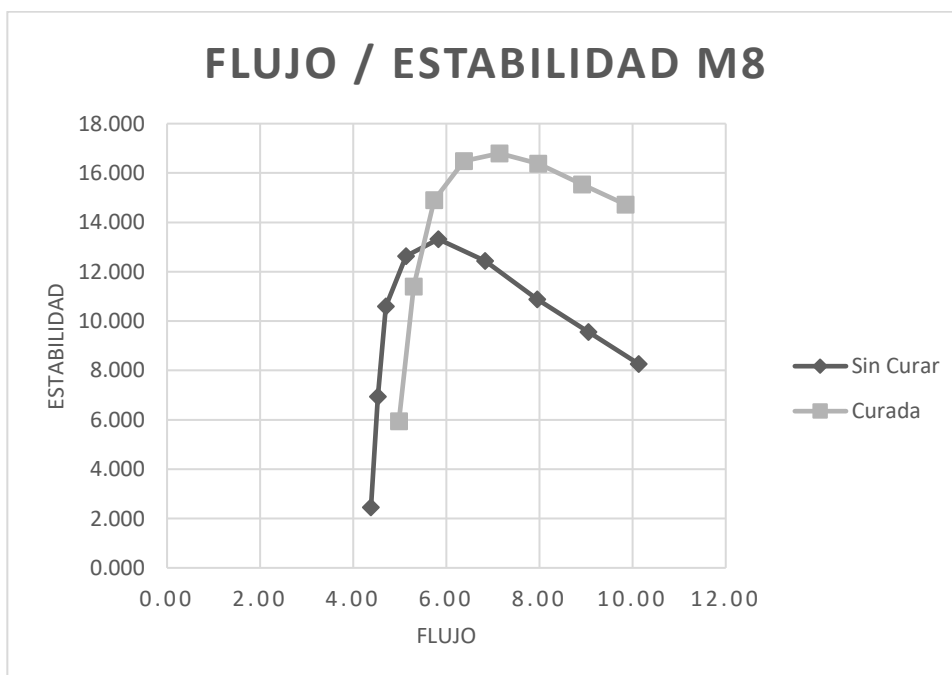
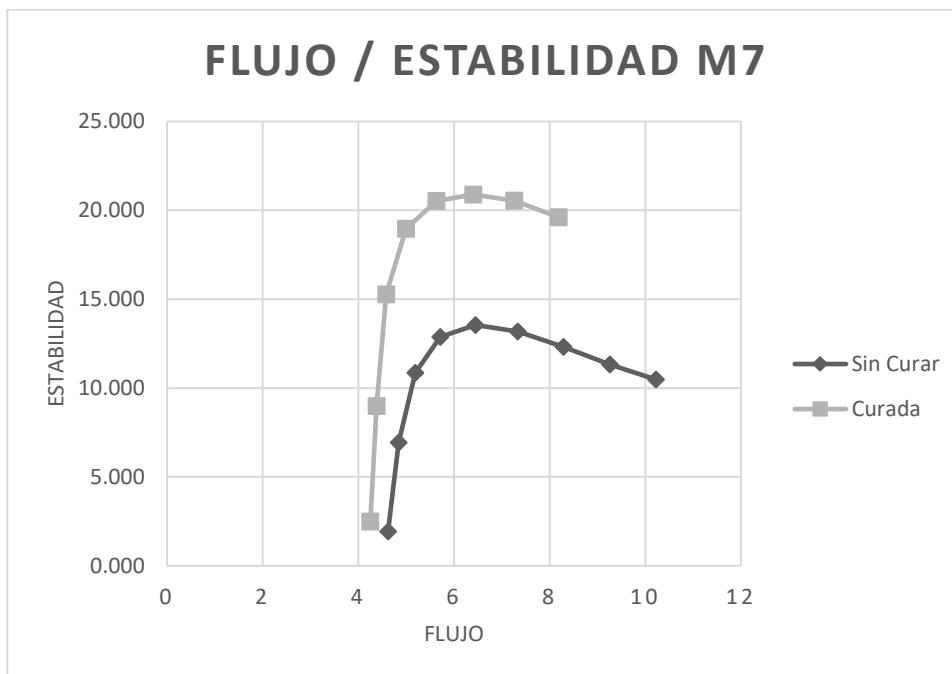
F-PG-03-1 F.E 05/10/16 Rev. 14

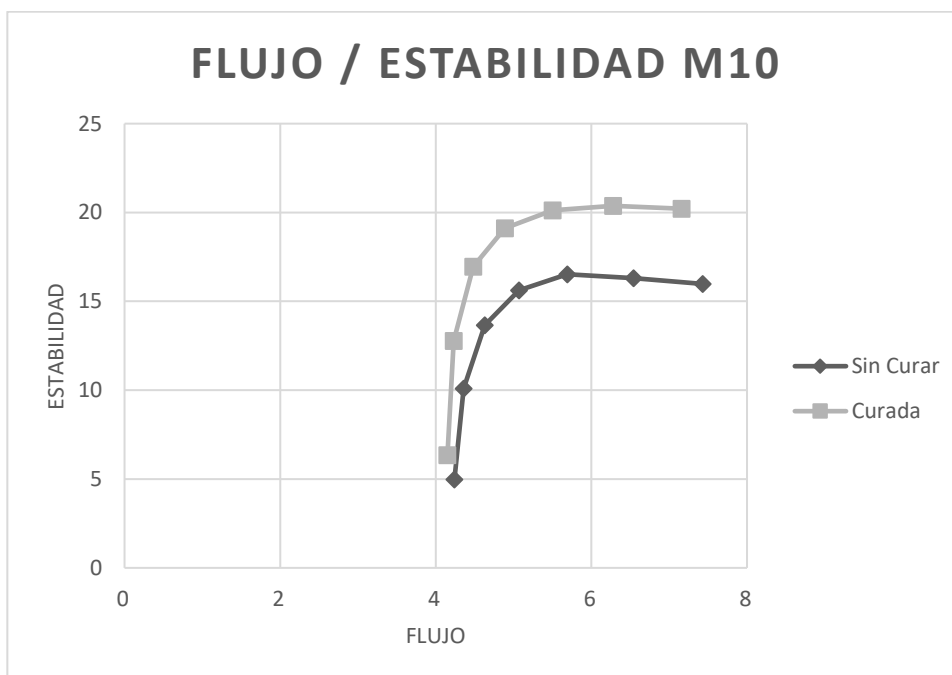
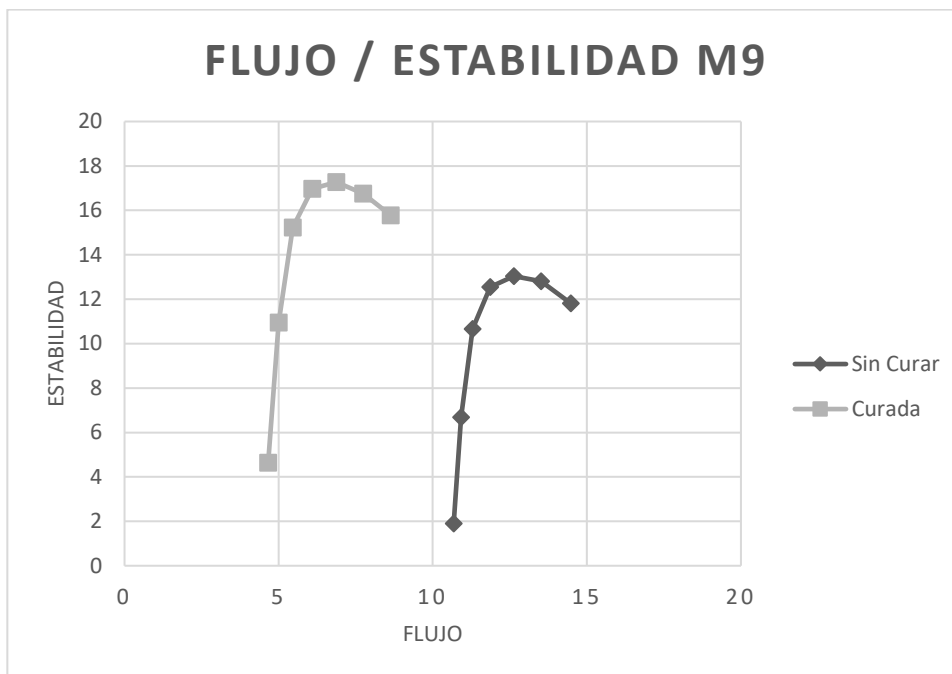
ANEXOS

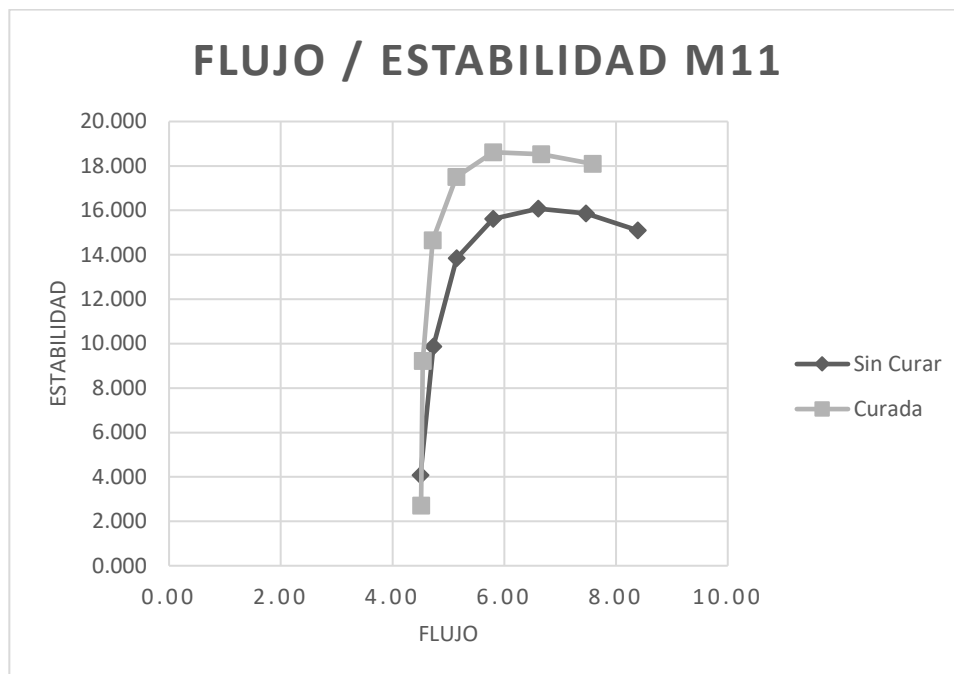
Anexo 2 Flujo y Estabilidad





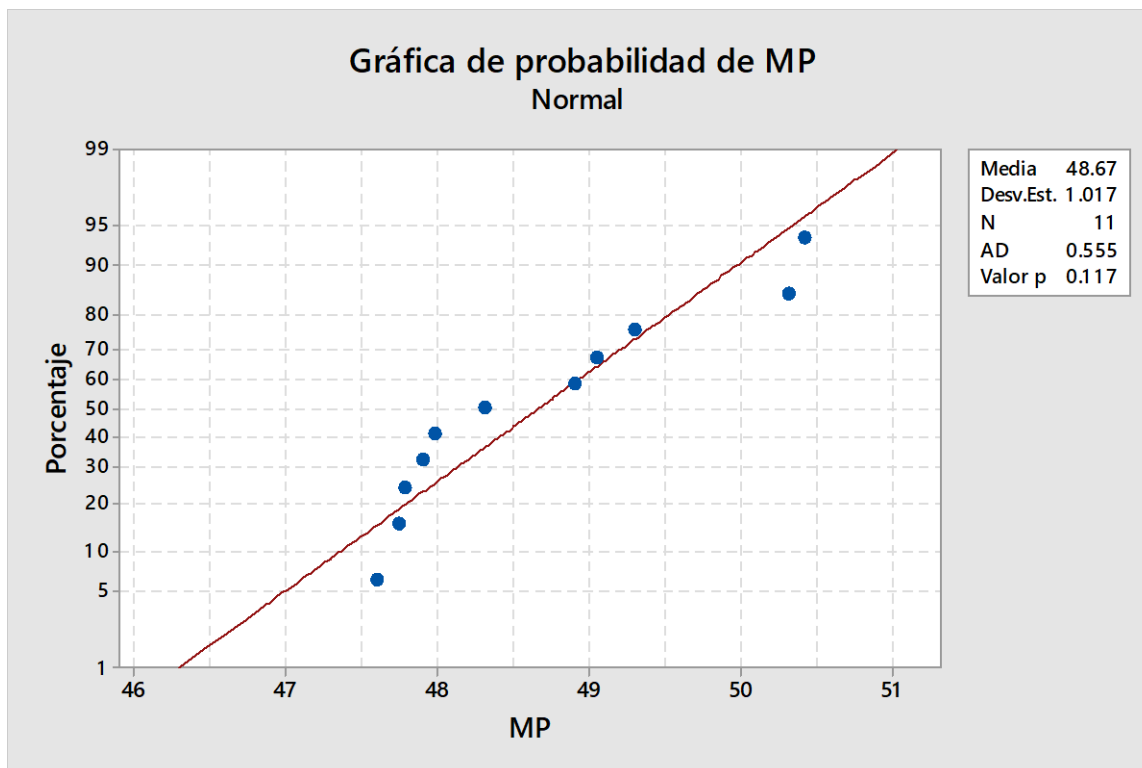






Anexo 3 Análisis Estadístico

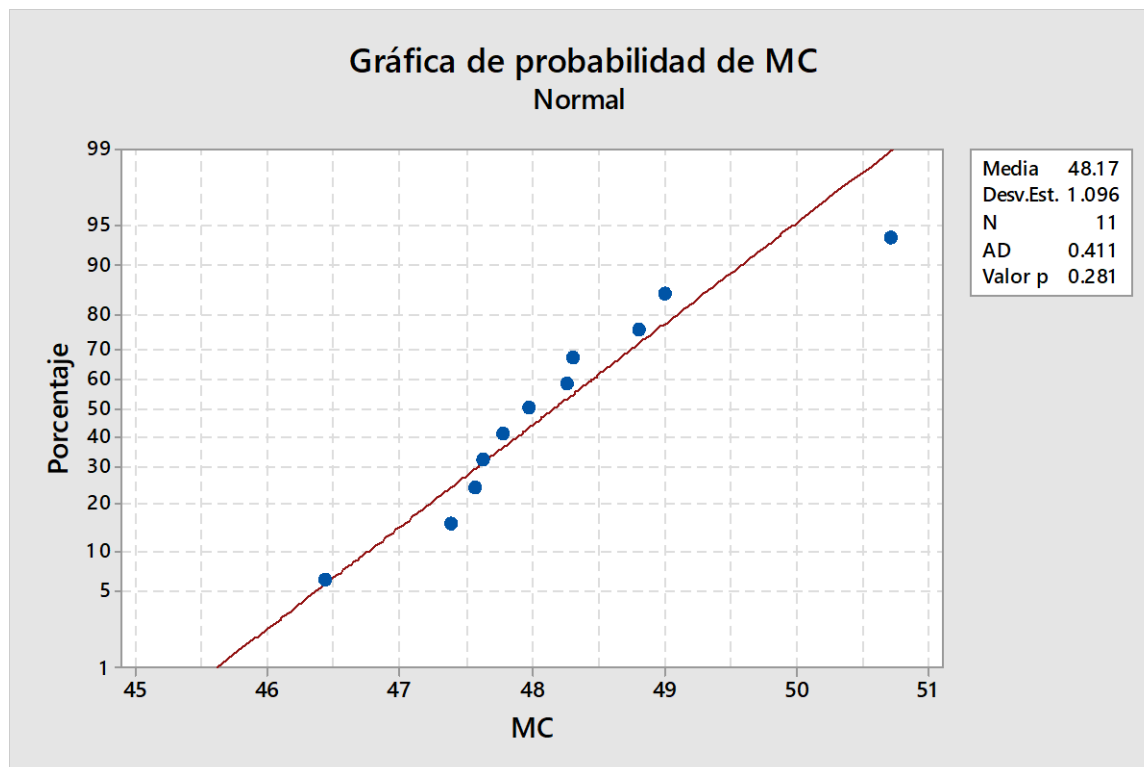
Prueba de Normalidad para pruebas MP:



Valor $P > 0,05$

Los datos se comportan de manera normal

Prueba de normalidad para pruebas en planta MC:

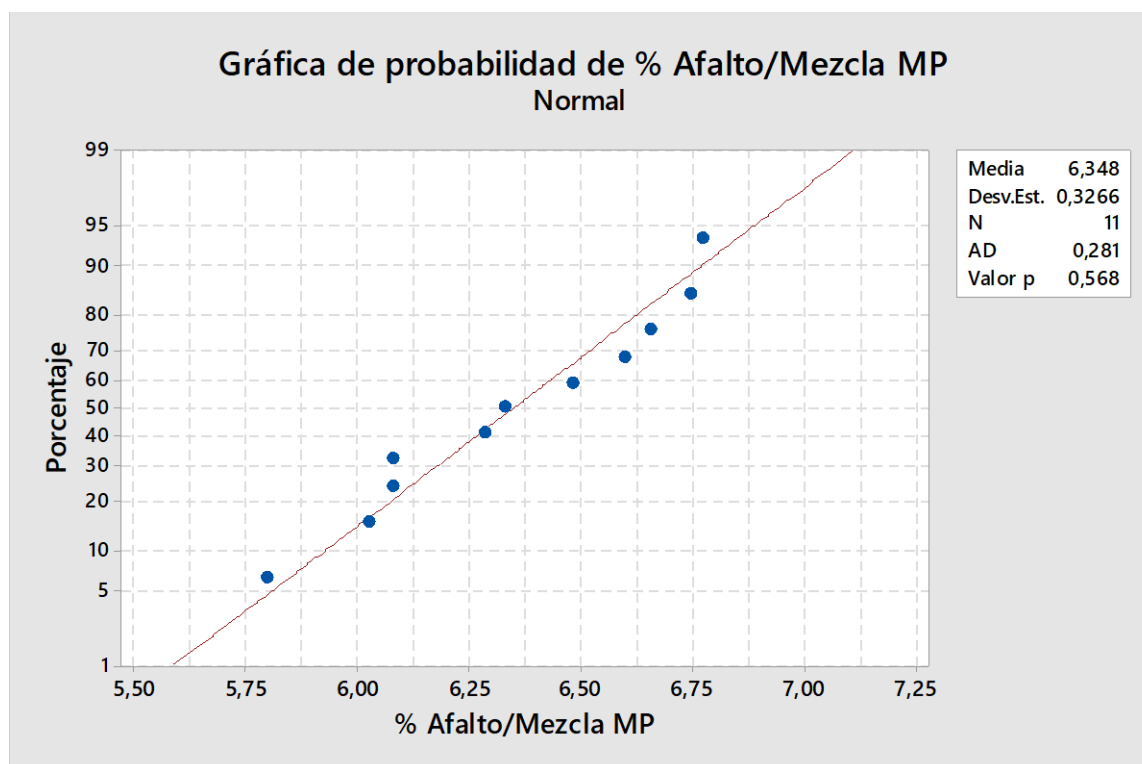


Valor $P > 0,05$

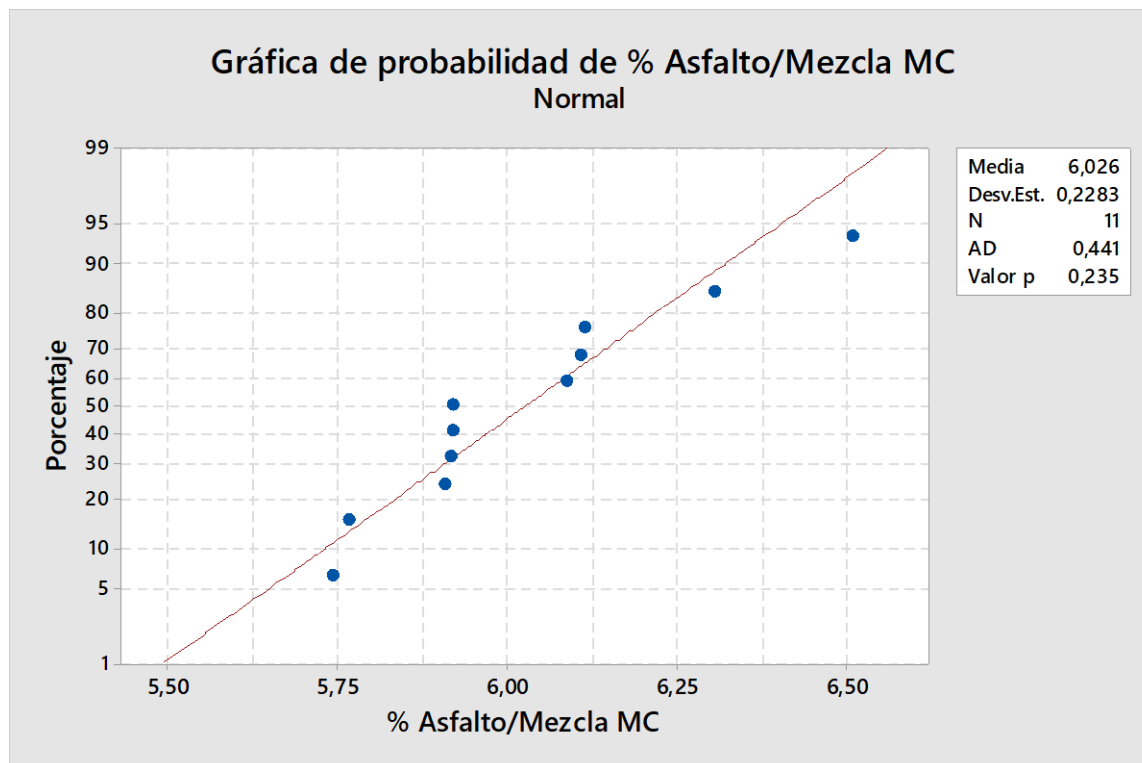
Los datos se comportan de manera normal

% Asfalto/ mezcla

Normalidad % Asfalto/Mezcla MP



Normalidad % Asfalto/Mezcla MC



Prueba de igualdad de varianzas: % Asfalto/Mezcla MSC; % Asfalto/Mezcla MCC

Método

Hipótesis nula Todas las varianzas son iguales

Hipótesis alterna Por lo menos una varianza es diferente

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar

Muestra	N	Desv. Est.	IC
% Asfalto/Mezcla MP	11	0,326625	(0,231171; 0,579594)
% Asfalto/Mezcla MC	11	0,228330	(0,123524; 0,530068)

Nivel de confianza individual = 97,5%

Pruebas

Método	Estadística	
	de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	1,58	0,209
Levene	1,93	0,180

Prueba de igualdad de varianzas: % Asfalto/Mez.; % Asfalto/Mez.

% Asfalto Mezcla

Prueba T e IC de dos muestras: % mezcla MP, % Mezcla MC

Método

μ_1 : media de % mezcla MP

μ_2 : media de % Mezcla MC

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
% mezcla MP	11	6.348	0.327	0.098
% Mezcla MC	11	6.026	0.228	0.069

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
0.323	(0.069, 0.576)

Prueba

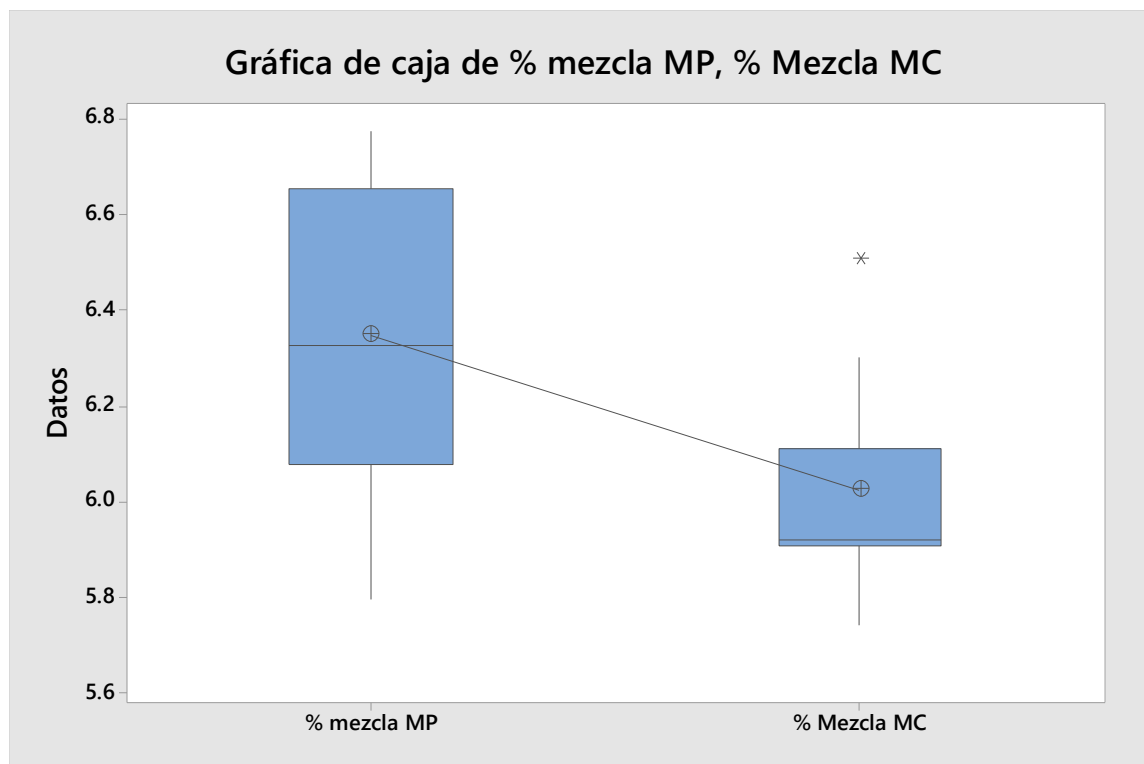
Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

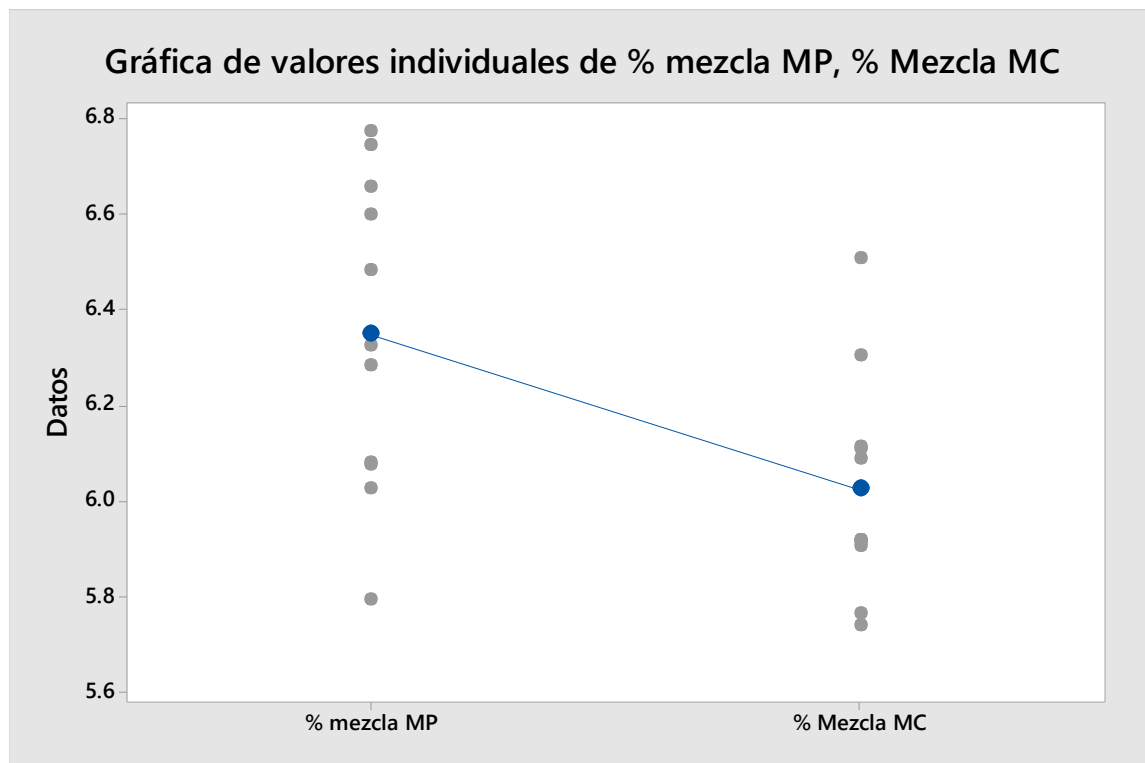
Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
2.69	17	0.016

Gráfica de valores individuales de % mezcla MP, % Mezcla MC

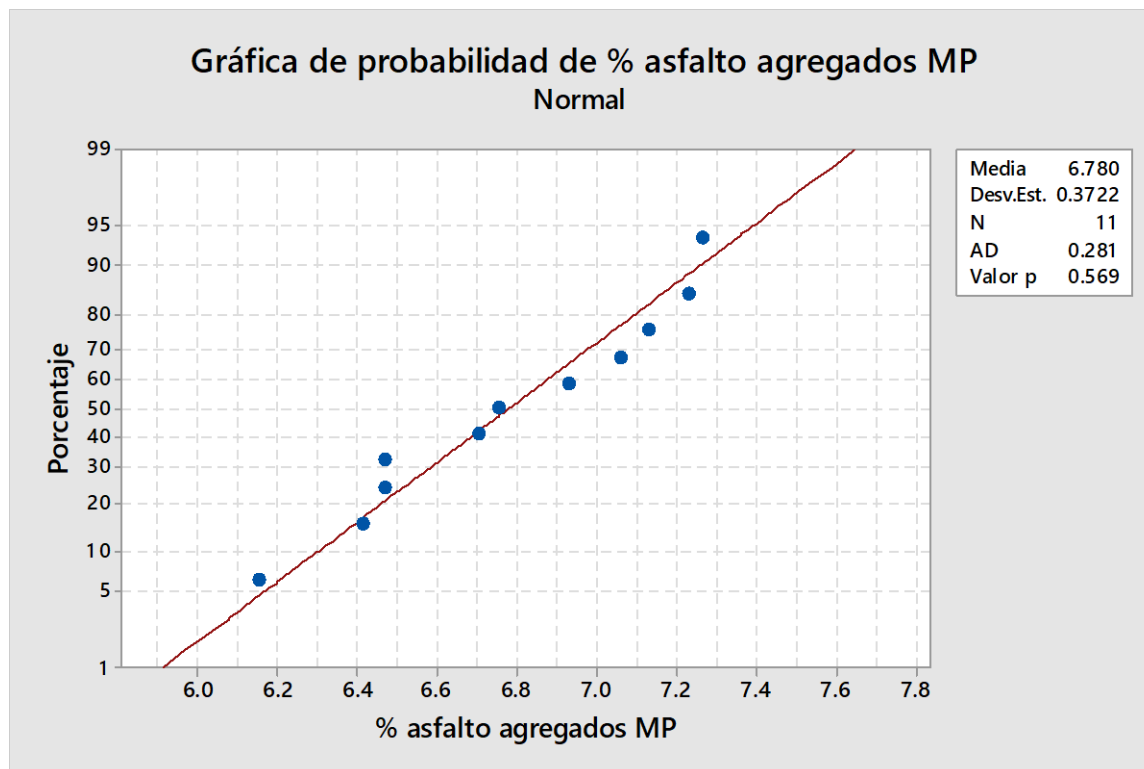
Gráfica de caja de % mezcla MP, % Mezcla MC





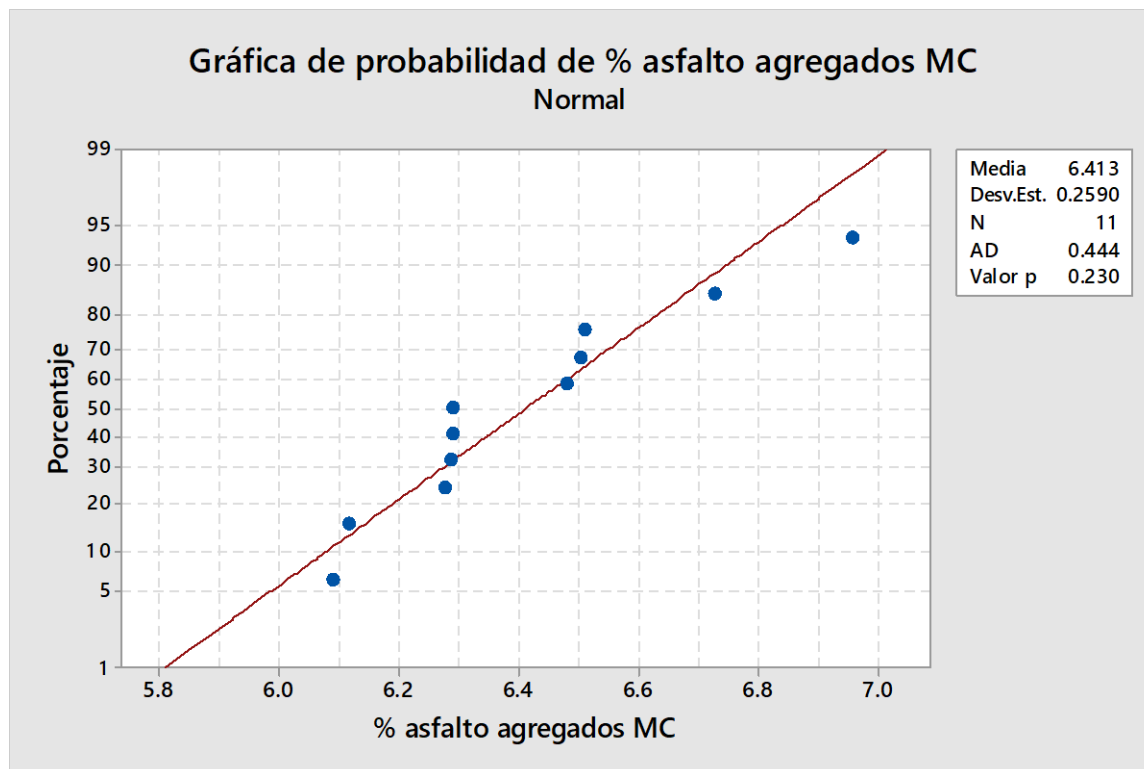
% Asfalto agregados

Prueba de normalidad muestras en Planta



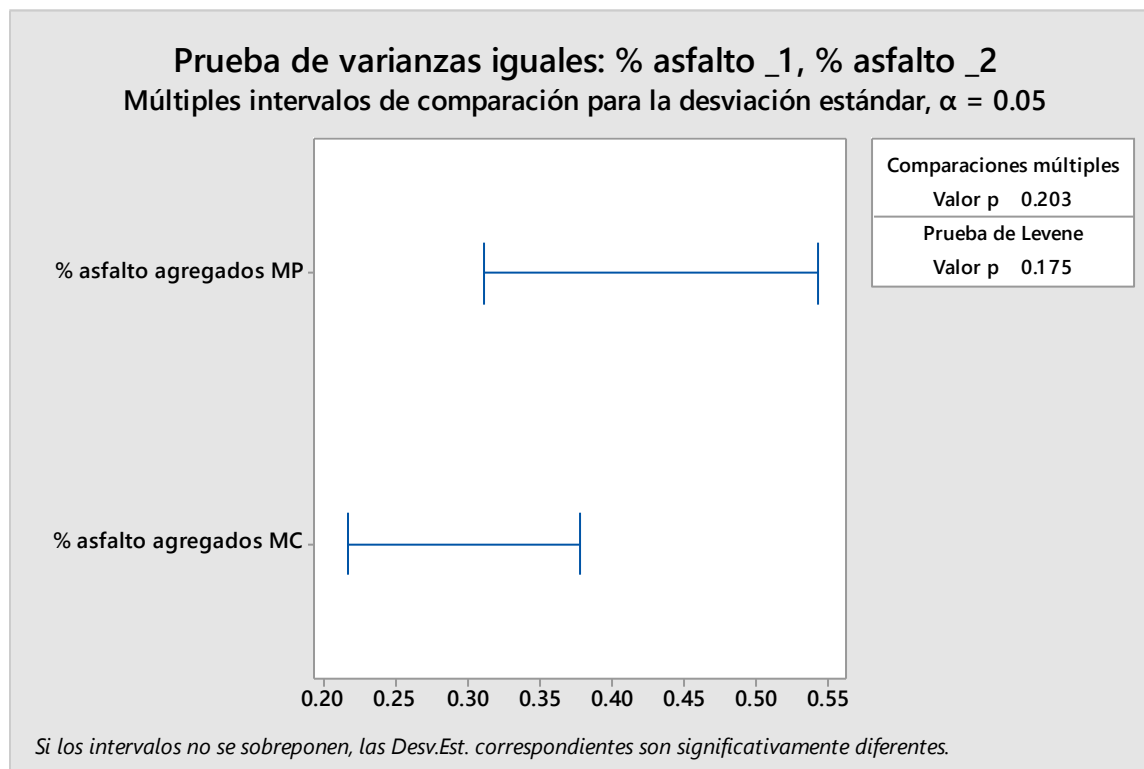
Datos normales valor $p > 0,05$

Muestras Campo



Datos normales valor $p > 0,05$

Prueba de igualdad de varianzas % asfalto en agregados



Prueba de varianzas iguales: % asfalto agregados MSC, % asfalto agregados MCC

Método

Hipótesis nula Todas las varianzas son iguales

Hipótesis alterna Por lo menos una varianza es diferente

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar

Muestra	N	Desv.Est.	IC
% asfalto agregados MP	11	0.372200	(0.263917, 0.659239)
% asfalto agregados MC	11	0.259014	(0.139621, 0.603468)

Nivel de confianza individual = 97.5%

Pruebas

Método	Estadística	
	de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	1.62	0.203
Levene	1.98	0.175

Prueba T e IC de dos muestras: Asfalto MSC, Asfalto MCC

Método

μ_1 : media de Asfalto MSC

μ_2 : media de Asfalto MCC

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Asfalto MSC	11	6.780	0.372	0.11
Asfalto MCC	11	6.413	0.259	0.078

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
0.367	(0.079, 0.656)

Prueba

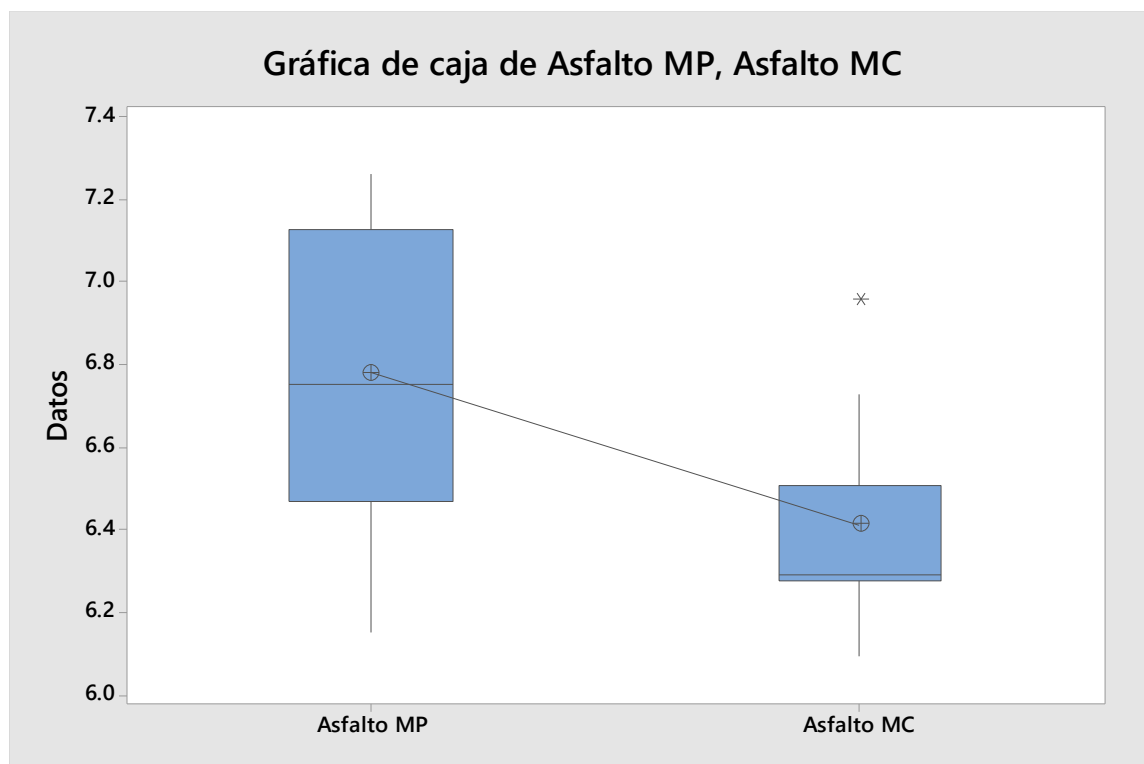
Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

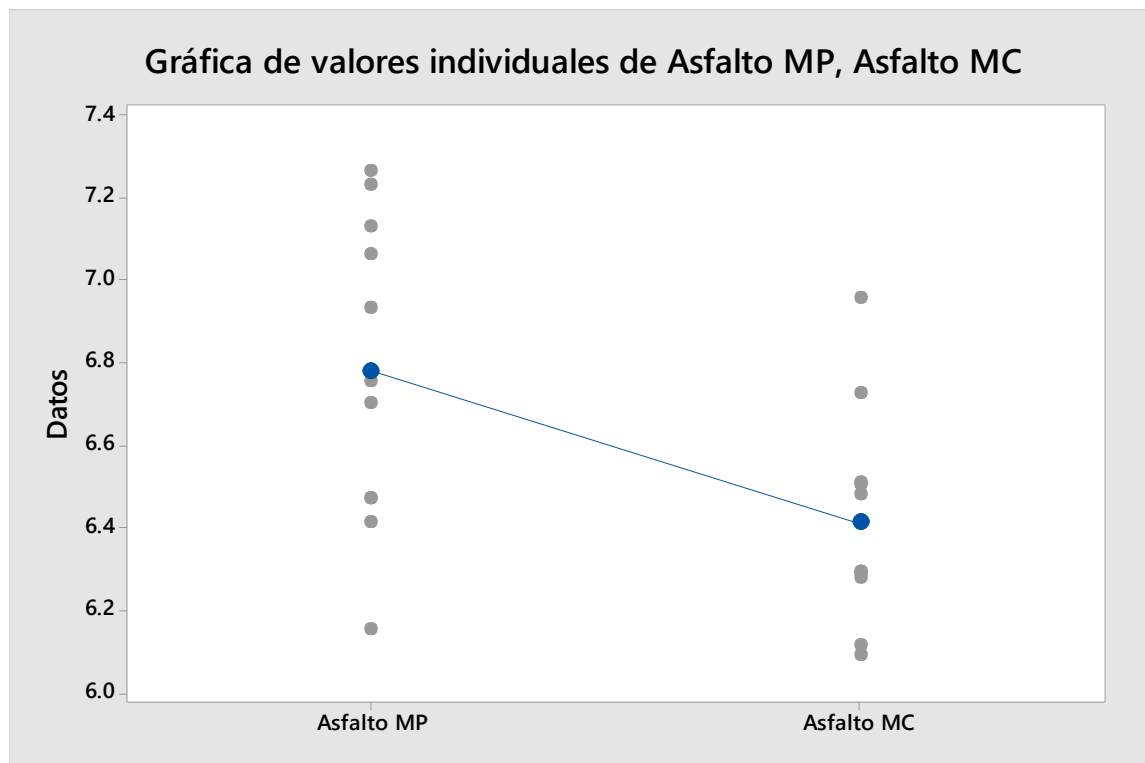
Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
2.69	17	0.016

Gráfica de valores individuales de Asfalto MP, Asfalto MC

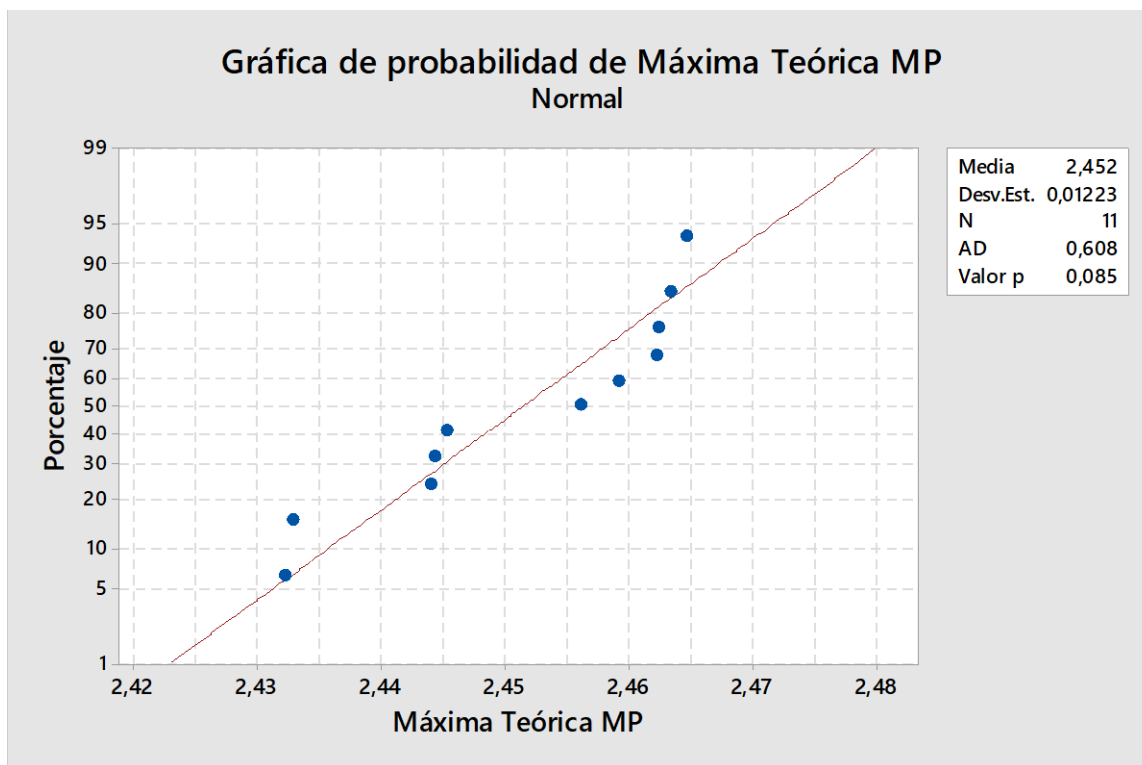
Gráfica de caja de Asfalto MP, Asfalto MC



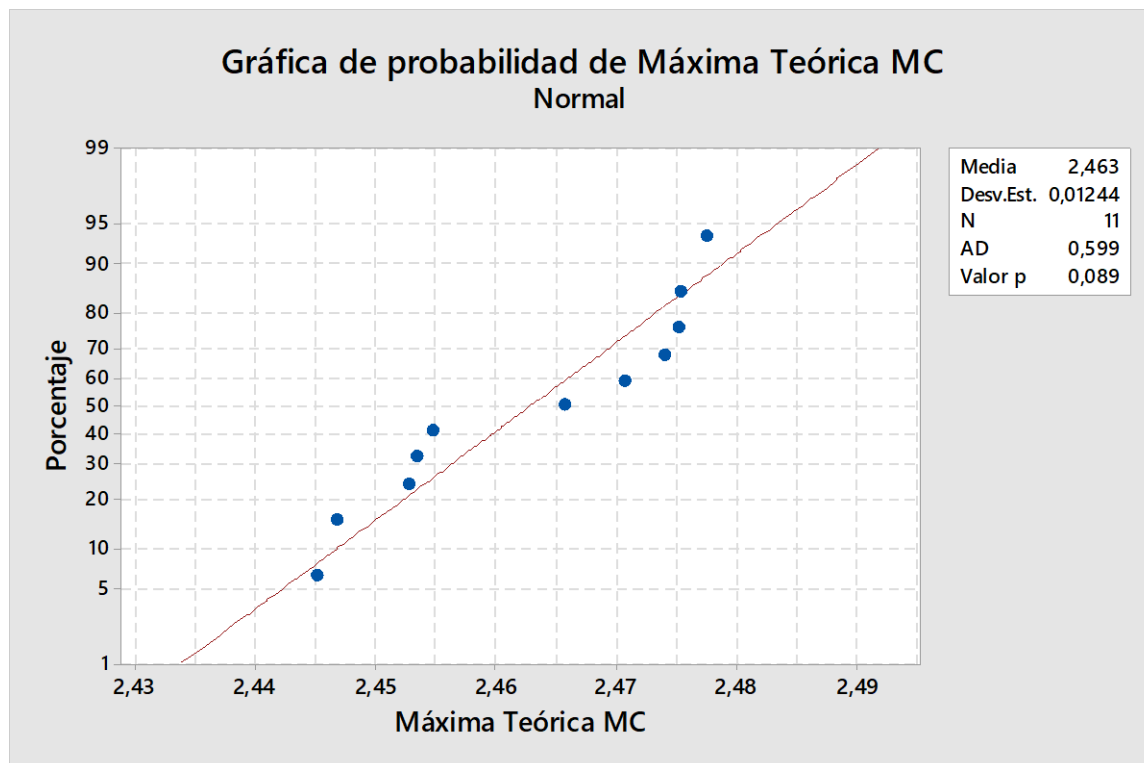


Máxima Teórica

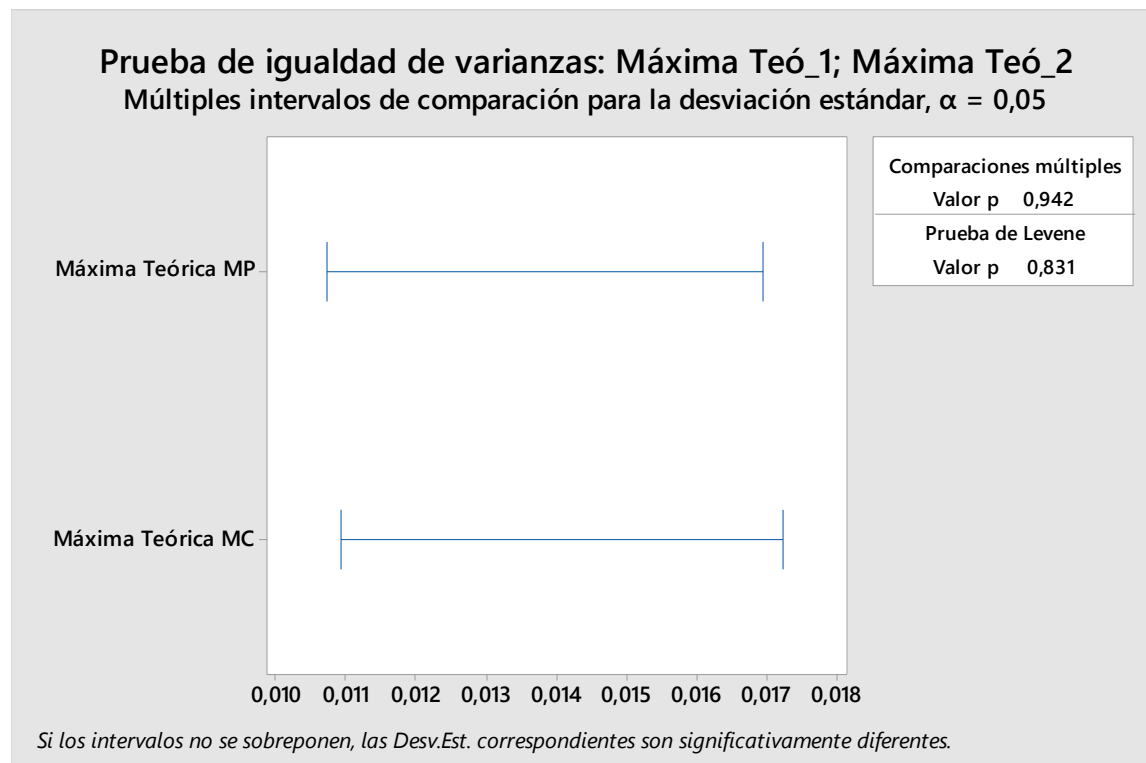
Normalidad Máxima Teórica MP



Normalidad Máxima Teórica MC



Prueba de Igualdad de Varianzas



Prueba de igualdad de varianzas: Máxima Teórica MP; Máxima Teórica MC

Método

Hipótesis nula Todas las varianzas son iguales

Hipótesis alterna Por lo menos una varianza es diferente

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar

Muestra	N	Desv.Est.	IC
Máxima Teórica MP	11	0,0122339	(0,0080582; 0,0233263)
Máxima Teórica MC	11	0,0124424	(0,0094858; 0,0204970)

Nivel de confianza individual = 97,5%

Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	0,01	0,942
Levene	0,05	0,831

Prueba de igualdad de varianzas: Máxima Teó_1; Máxima Teó_2

Prueba T e IC de dos muestras: Max Teo MP, Max Teo MC

Método

μ_1 : media de Max Teo MP

μ_2 : media de Max Teo MC

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Max Teo MP	11	2.4516	0.0122	0.0037
Max Teo MC	11	2.4629	0.0124	0.0038

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-0.01132	(-0.02233, -0.00031)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

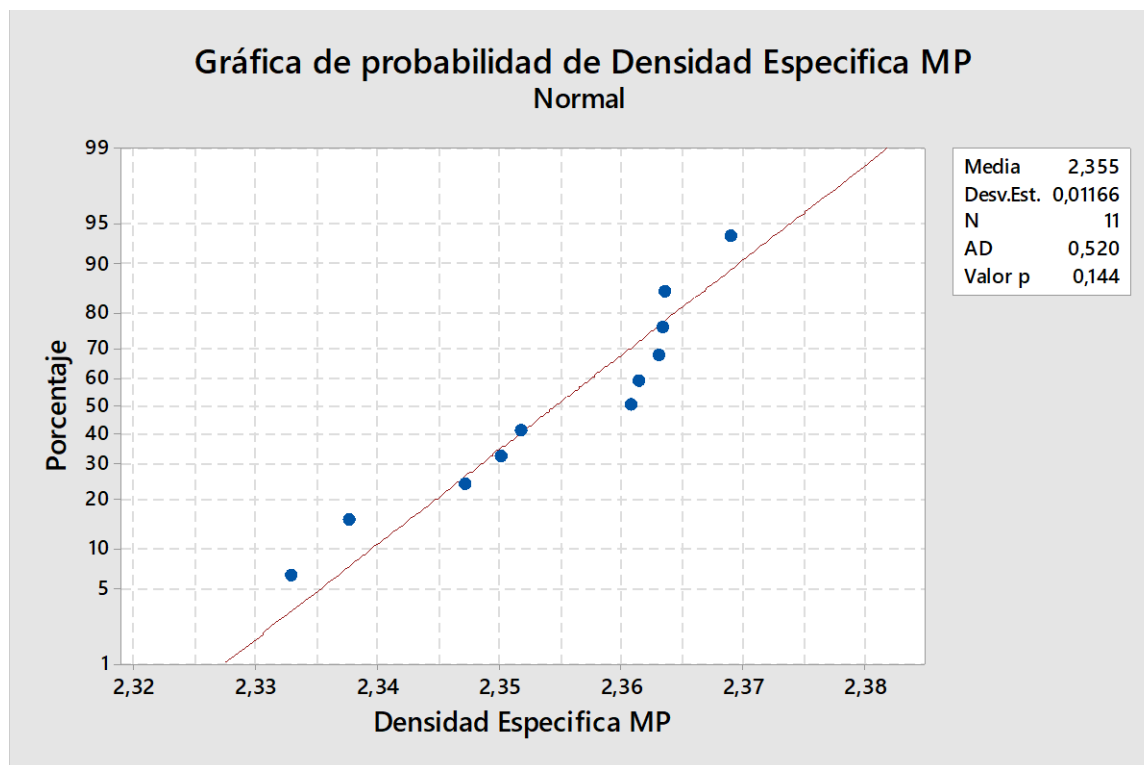
Valor T	GL	Valor p
-2.15	19	0.044

Gráfica de valores individuales de Max Teo MP, Max Teo MC

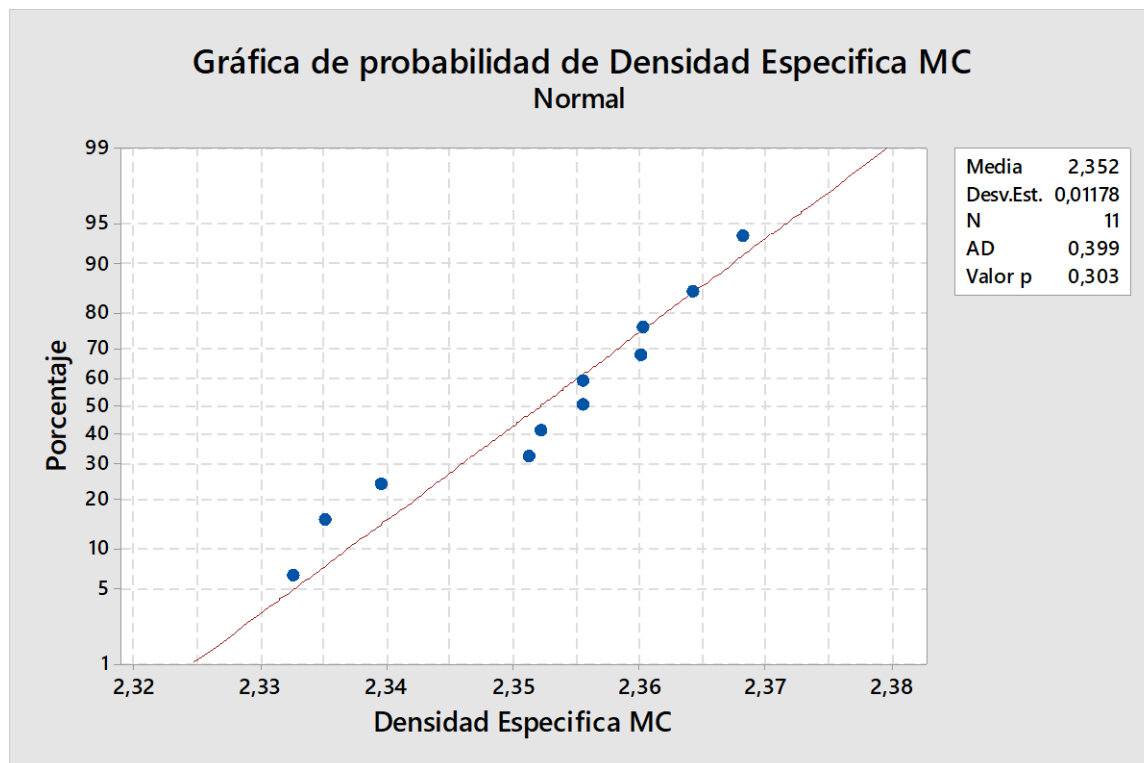
Gráfica de caja de Max Teo MP, Max Teo MC

Densidad Específica

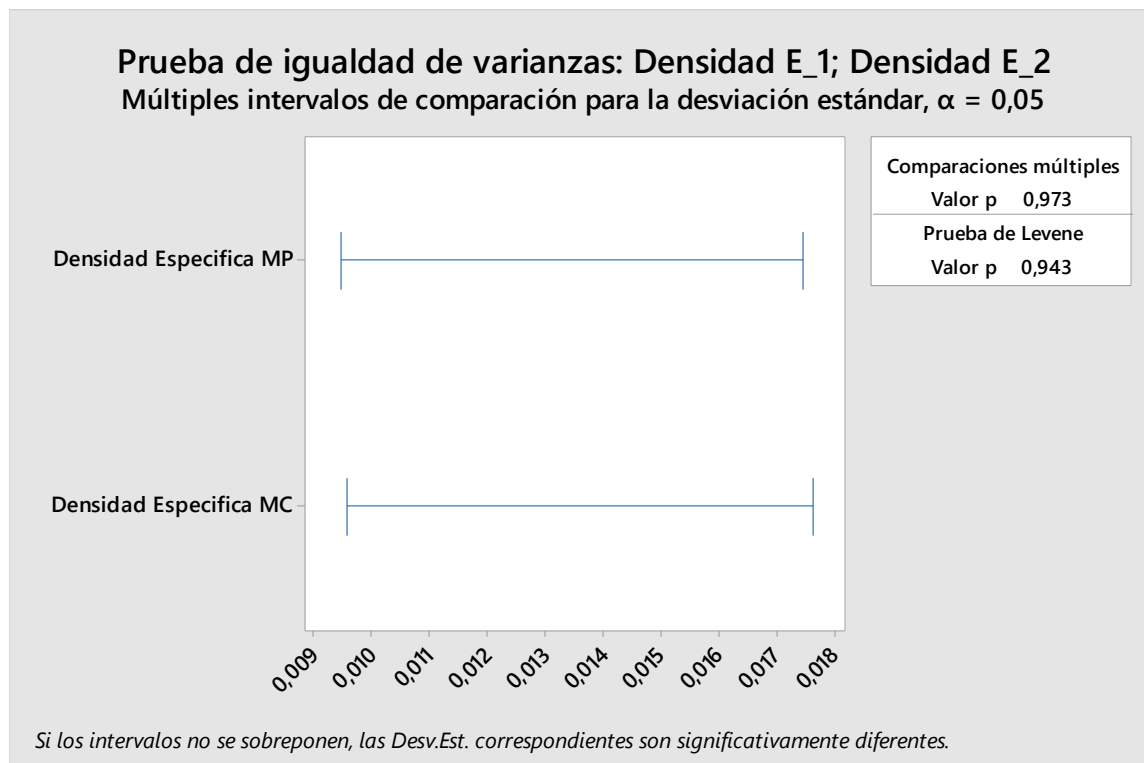
Normalidad Densidad Específica MP



Normalidad Densidad Específica MC



Prueba de igualdad de varianzas



Prueba de igualdad de varianzas: Densidad Específica ... Específica MC

Método

Hipótesis nula Todas las varianzas son iguales

Hipótesis alterna Por lo menos una varianza es diferente

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar

Muestra	N	Desv.Est.	IC
Densidad Específica MP	11	0,0116554	(0,0066815; 0,0255349)
Densidad Específica MC	11	0,0117786	(0,0074848; 0,0232789)

Nivel de confianza individual = 97,5%

Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	0,00	0,973
Levene	0,01	0,943

Prueba de igualdad de varianzas: Densidad E_1; Densidad E_2

Prueba T e IC de dos muestras: Densidad MP, Densidad MC

Método

μ_1 : media de Densidad MP

μ_2 : media de Densidad MC

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Densidad MP	11	2.3546	0.0117	0.0035
Densidad MC	11	2.3521	0.0118	0.0036

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
0.00244	(-0.00802, 0.01289)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

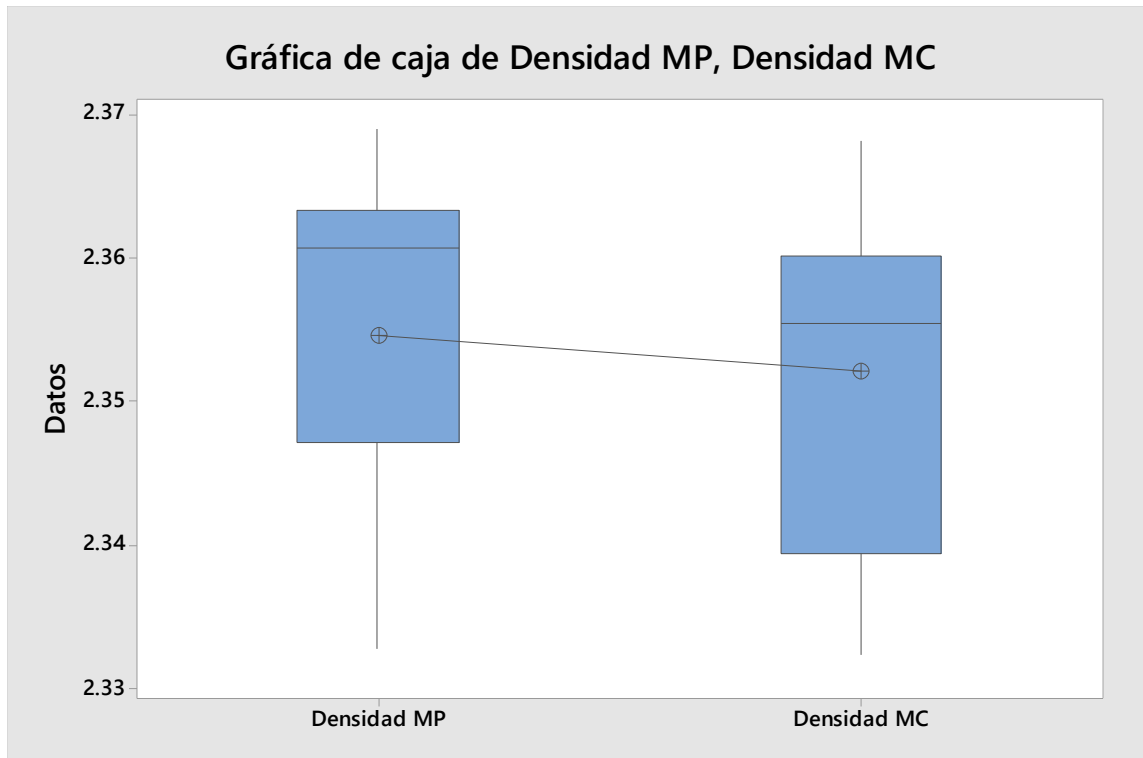
Valor T	GL	Valor p
0.49	19	0.631

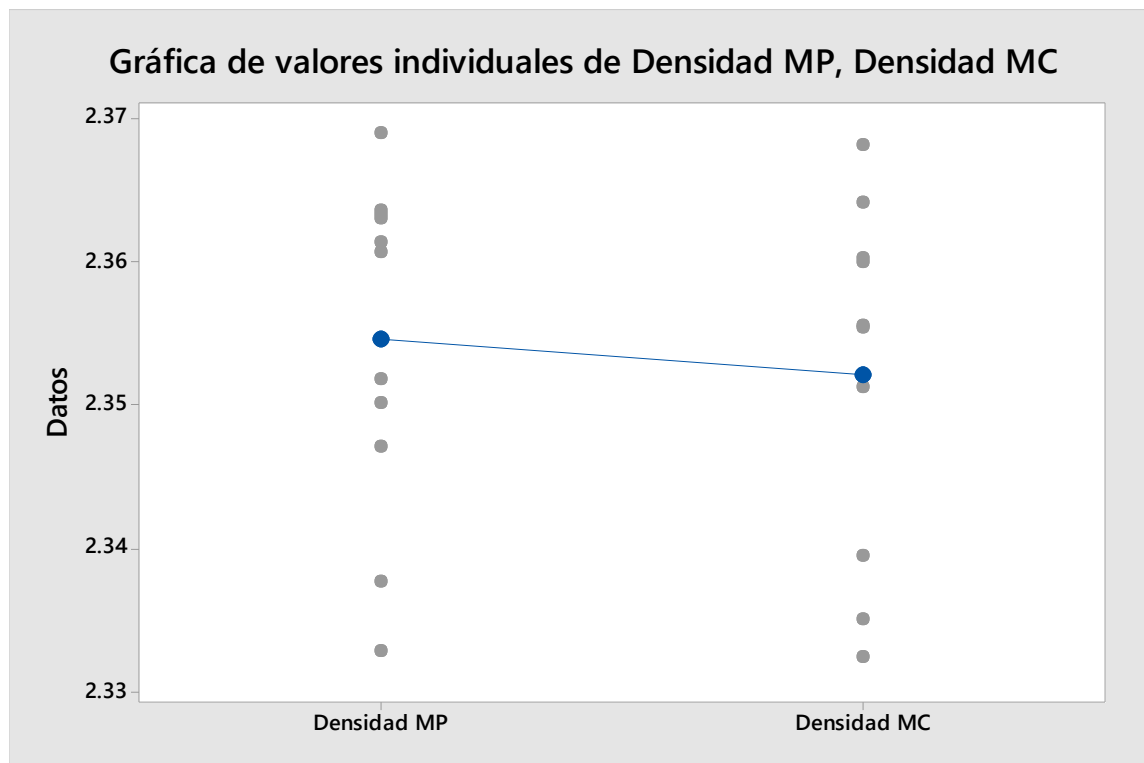
Gráfica de valores individuales de Densidad MP, Densidad MC

Gráfica de caja de Densidad MP, Densidad MC

Valor P 0.631 > nivel de Significancia 0.05

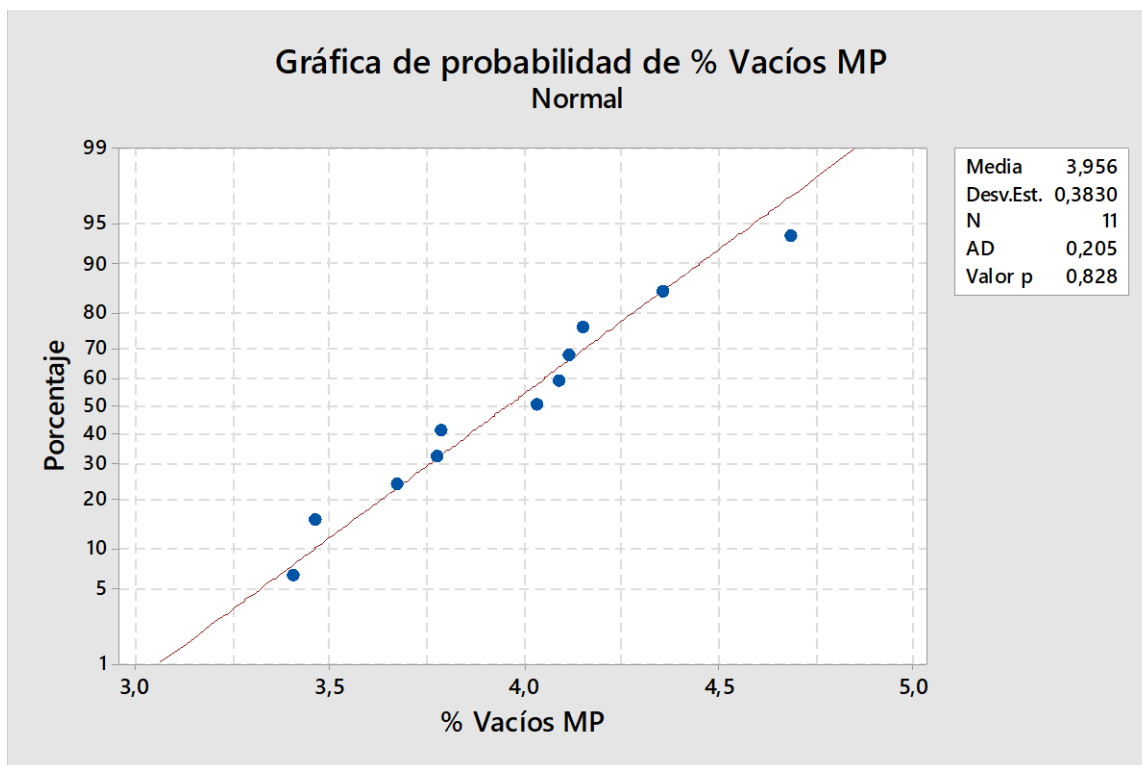
Debido a que el valor $p >$ nivel de Significancia no existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto, las medias son iguales.



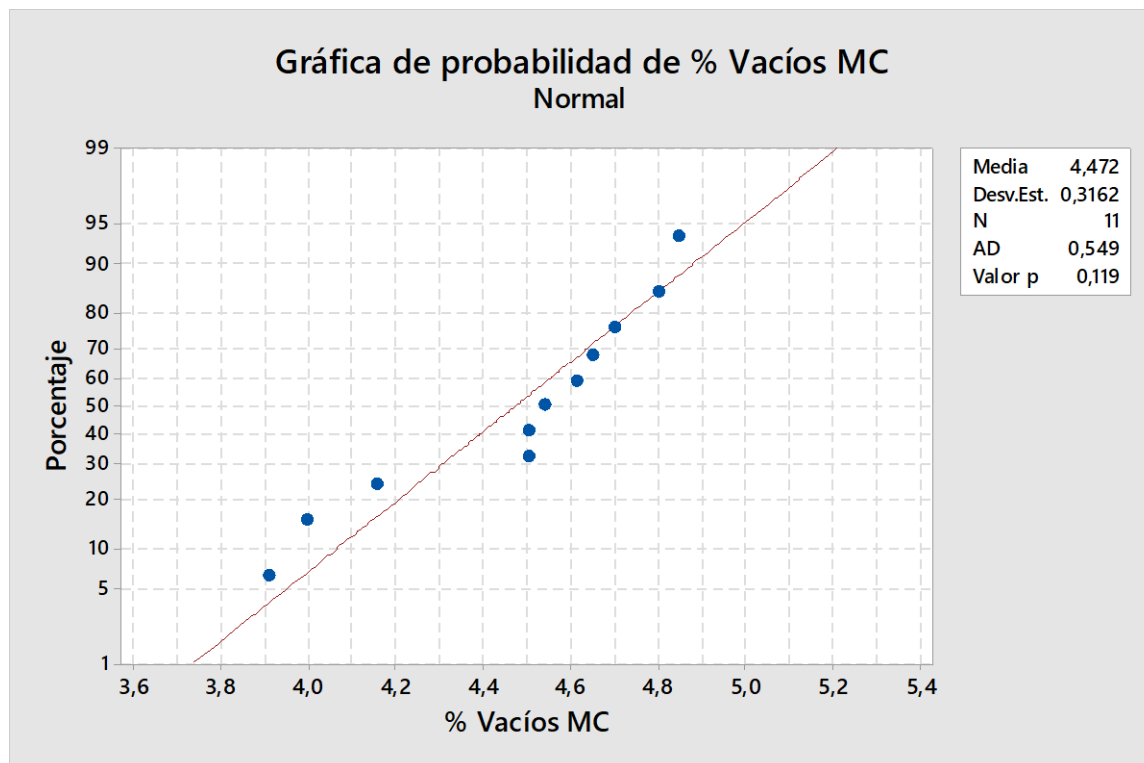


% Vacíos

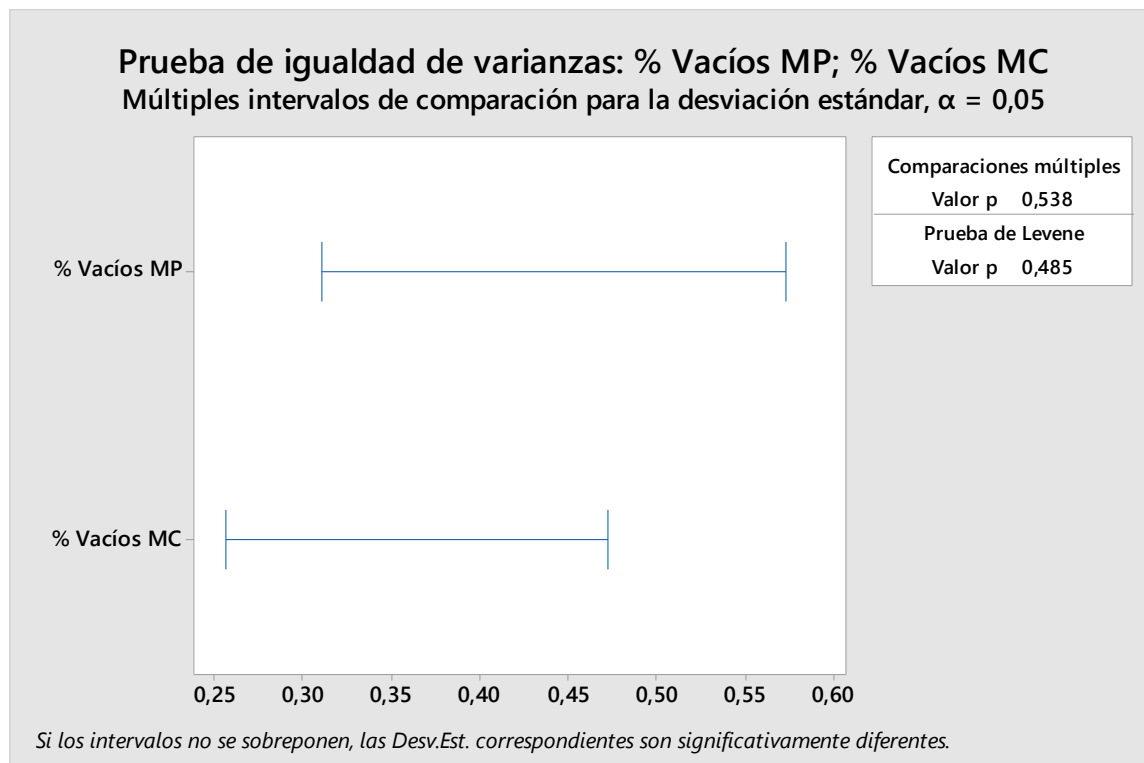
Normalidad % Vacíos MP



Normalidad % Vacíos MC



Prueba de igualdad de varianzas



Prueba de igualdad de varianzas: % Vacíos MP; % Vacíos MC

Método

Hipótesis nula Todas las varianzas son iguales

Hipótesis alterna Por lo menos una varianza es diferente

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar

Muestra	N	Desv.Est.	IC
% Vacíos MP	11	0,382990	(0,239648; 0,768703)
% Vacíos MC	11	0,316214	(0,185586; 0,676668)

Nivel de confianza individual = 97,5%

Pruebas

Método	Estadística	
	de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	0,38	0,538
Levene	0,51	0,485

Prueba de igualdad de varianzas: % Vacíos MP; % Vacíos MC

Prueba T e IC de dos muestras: % Vacíos MP, % Vacíos MC

Método

μ_1 : media de % Vacíos MP

μ_2 : media de % Vacíos MC

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
% Vacíos MP	11	3.956	0.383	0.12
% Vacíos MC	11	4.493	0.321	0.097

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-0.537	(-0.853, -0.222)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

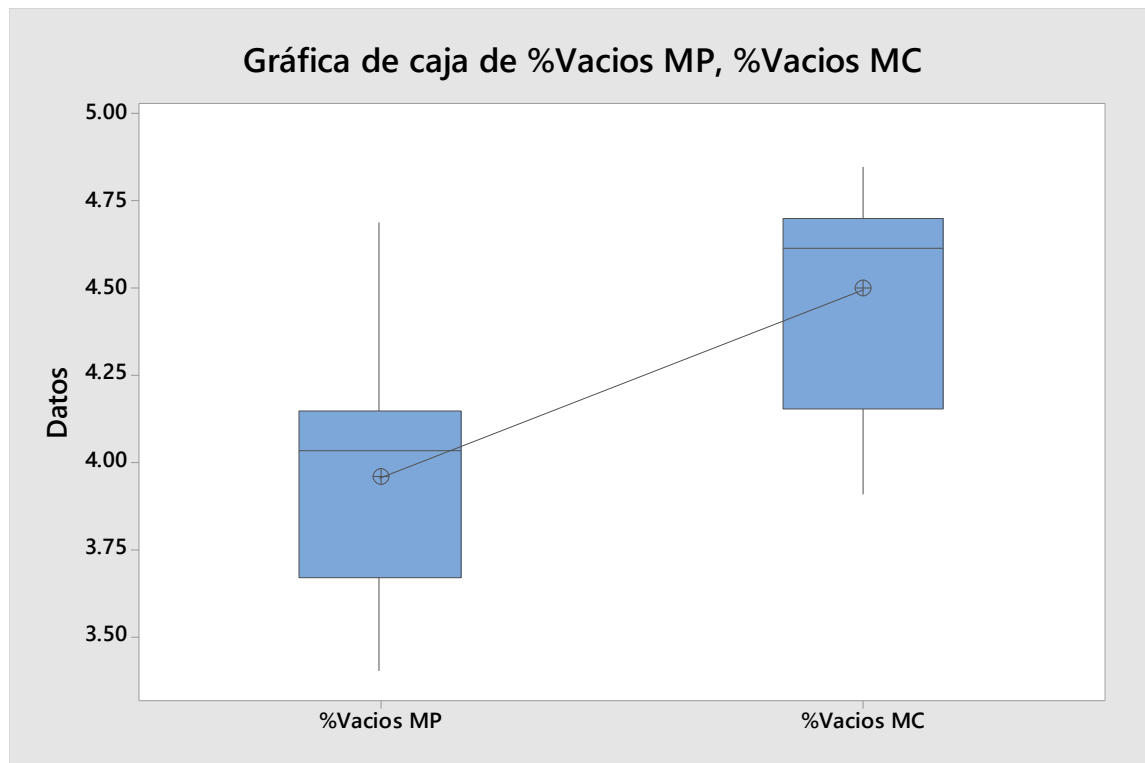
Valor T	GL	Valor p
-3.56	19	0.002

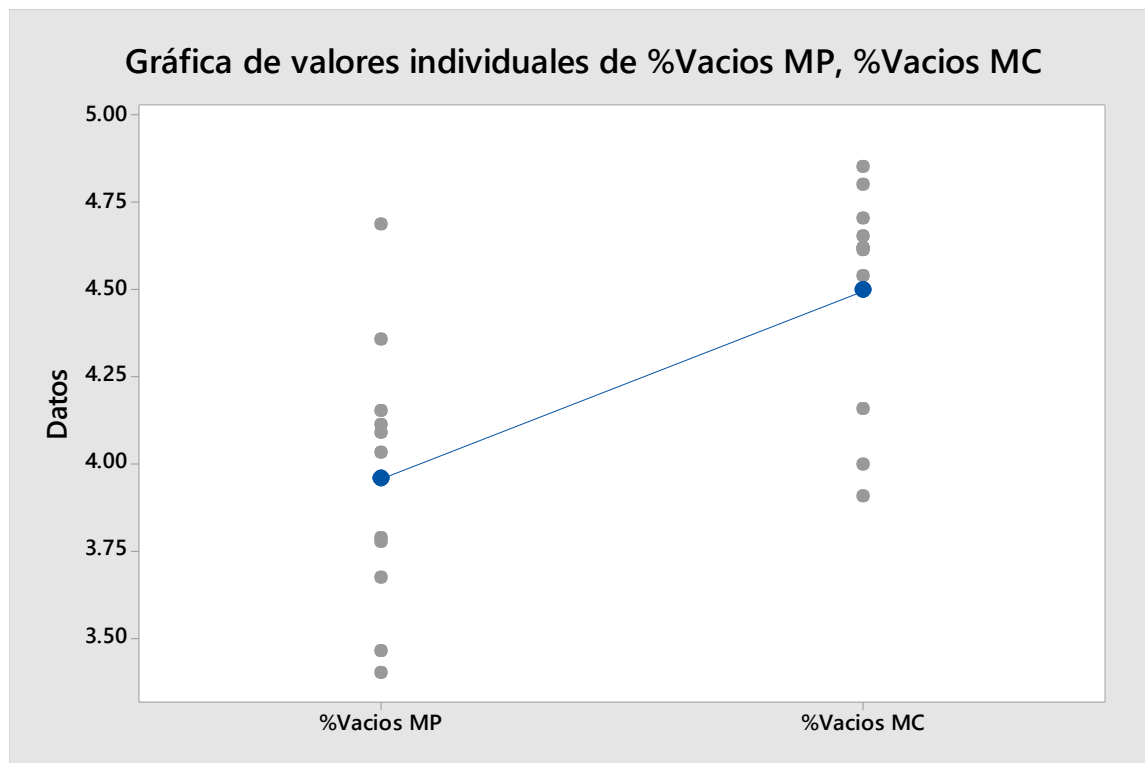
Gráfica de valores individuales de % Vacíos MP, % Vacíos MC

Gráfica de caja de % Vacíos MP, % Vacíos MC

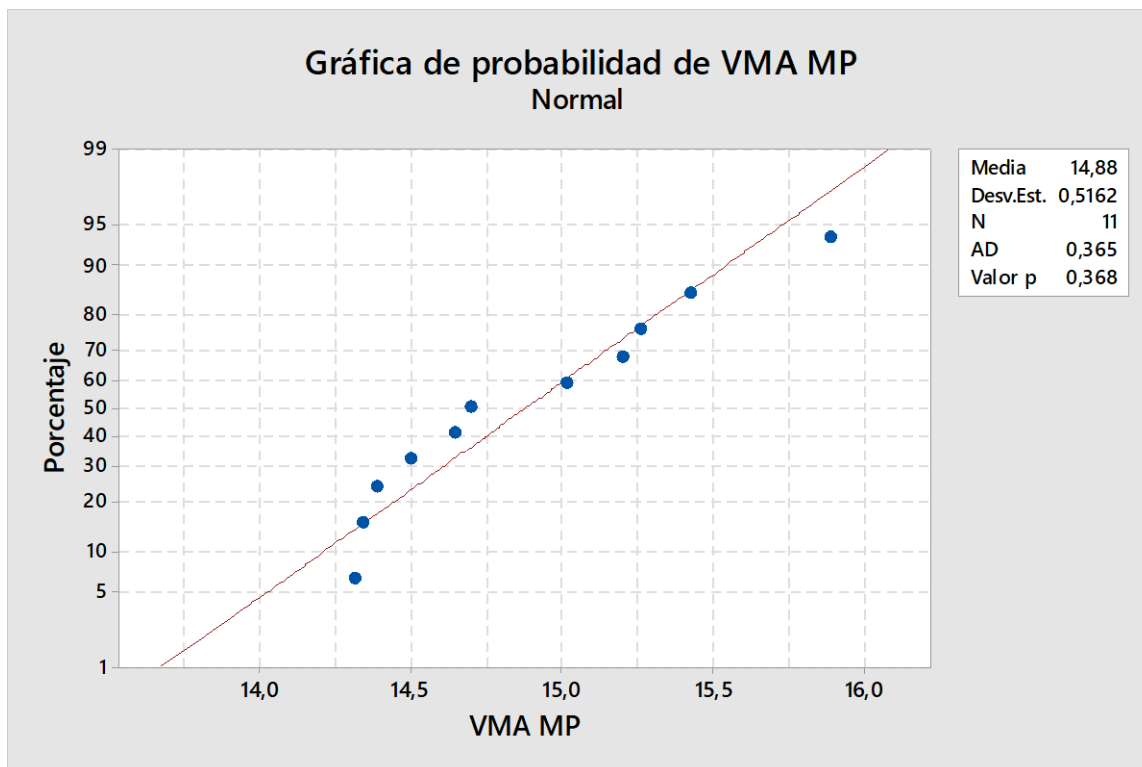
Valor P $0.002 <$ nivel de significancia 0.05

Se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, las medias son diferentes.

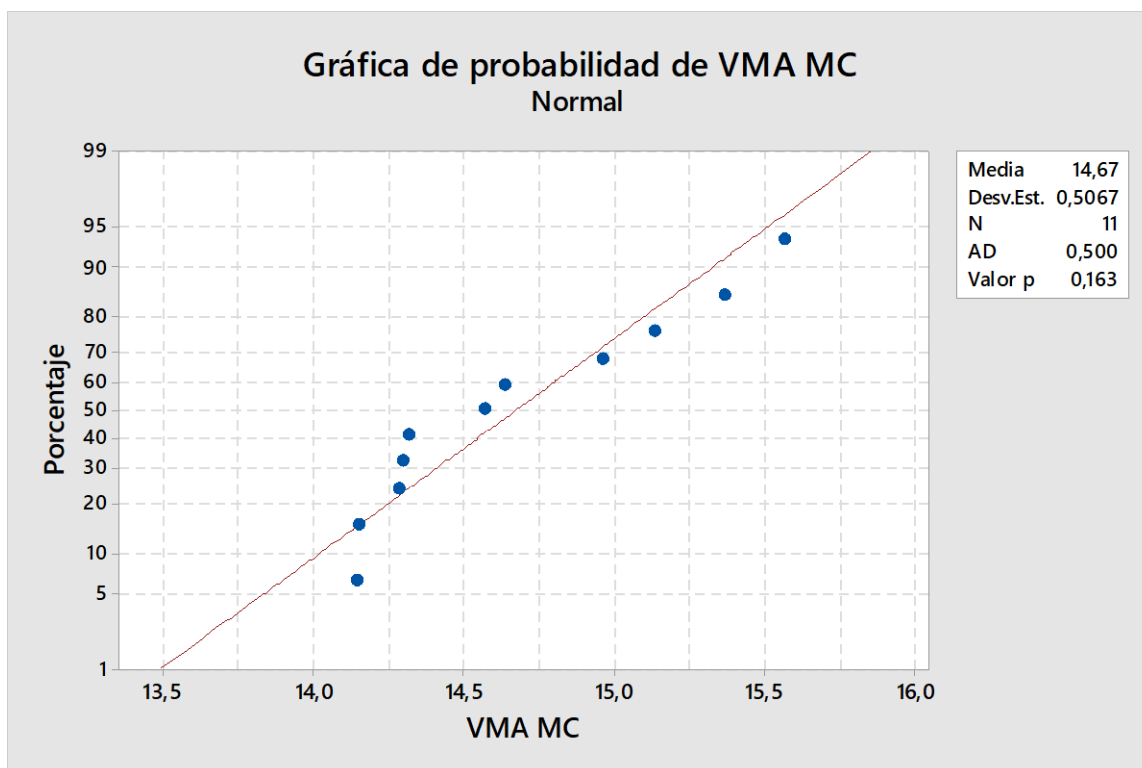




VMA MP Normalidad



VMA MC Normalidad



Prueba e IC para dos varianzas: VMA MP; VMA MC

Método

σ_1 : desviación estándar de VMA MP

σ_2 : desviación estándar de VMA MC

Relación: σ_1/σ_2

Los métodos de Bonett y Levene son válidos para cualquier distribución continua.

Estadísticas descriptivas

Variable	N	Desv.Est.	Varianza	IC de 95% para σ
VMA MP	11	0,516	0,266	(0,339; 0,955)
VMA MC	11	0,507	0,257	(0,342; 0,913)

Relación de desviaciones estándar

Relación estimada	IC de 95% para la relación usando Bonett	IC de 95% para la relación usando Levene
1,01875	(0,481; 2,068)	(0,470; 2,121)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \sigma_1 / \sigma_2 = 1$

Hipótesis alterna $H_1: \sigma_1 / \sigma_2 \neq 1$

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Método	Estadística de prueba	GL1	GL2	Valor p
Bonett	0,00	1		0,951
Levene	0,01	1	20	0,935

Prueba e IC para dos varianzas: VMA MP; VMA MC

Prueba T e IC de dos muestras: VMA MP; VMA MC

Método

μ_1 : media de VMA MP

μ_2 : media de VMA MC

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
VMA MP	11	14,878	0,516	0,16
VMA MC	11	14,673	0,507	0,15

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
0,205	(-0,251; 0,662)

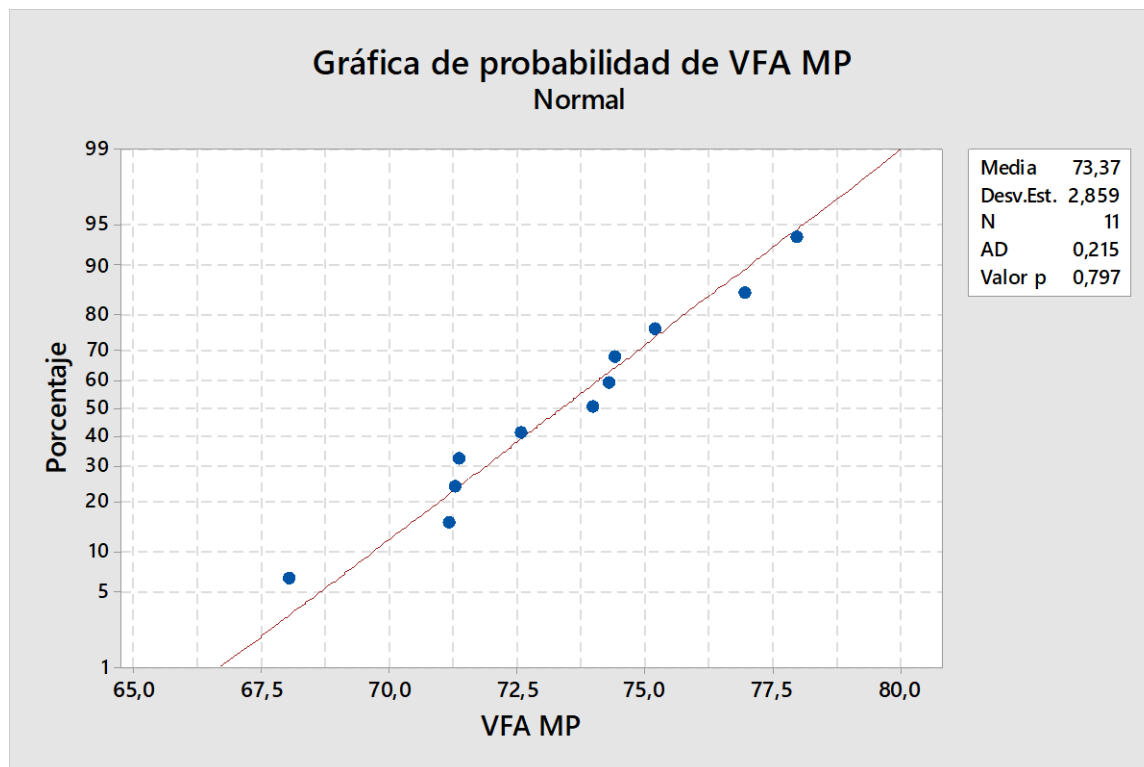
Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

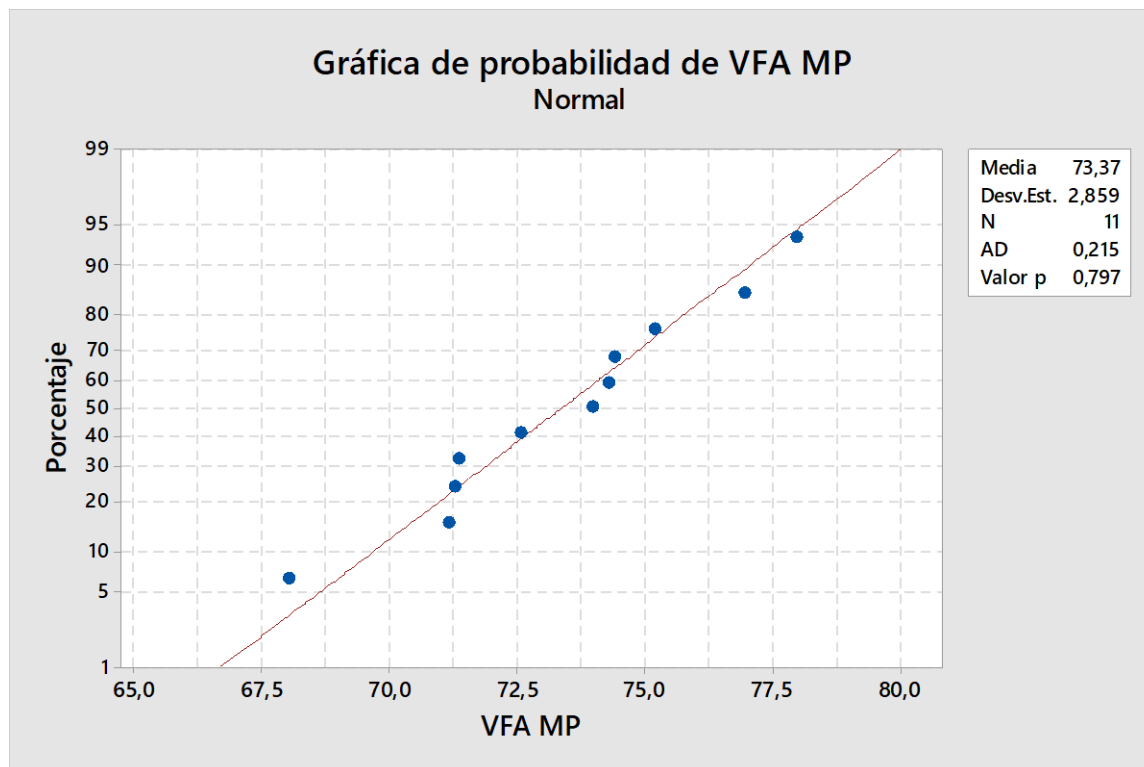
Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
0,94	19	0,359

Normalidad VFA MP



Normalidad VFA MC



Prueba e IC para dos varianzas: VFA MP; VFA MC

Método

σ_1 : desviación estándar de VFA MP

σ_2 : desviación estándar de VFA MC

Relación: σ_1/σ_2

Los métodos de Bonett y Levene son válidos para cualquier distribución continua.

Estadísticas descriptivas

Variable	N	Desv.Est.	Varianza	IC de 95% para σ
VFA MP	11	2,859	8,175	(1,924; 5,169)
VFA MC	11	2,312	5,347	(1,391; 4,679)

Relación de desviaciones estándar

	IC de 95% para la relación usando Bonett	IC de 95% para la relación usando Levene
Relación estimada		

1,23653 (0,601; 3,058) (0,559; 3,249)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \sigma_1 / \sigma_2 = 1$

Hipótesis alterna $H_1: \sigma_1 / \sigma_2 \neq 1$

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Método	Estadística			Valor p
	de prueba	GL1	GL2	
Bonett	0,43	1		0,512
Levene	0,47	1	20	0,502

Prueba T e IC de dos muestras: VFA MP; VFA MC

Método

μ_1 : media de VFA MP

μ_2 : media de VFA MC

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
VFA MP	11	73,37	2,86	0,86
VFA MC	11	69,36	2,31	0,70

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
4,02	(1,69; 6,34)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

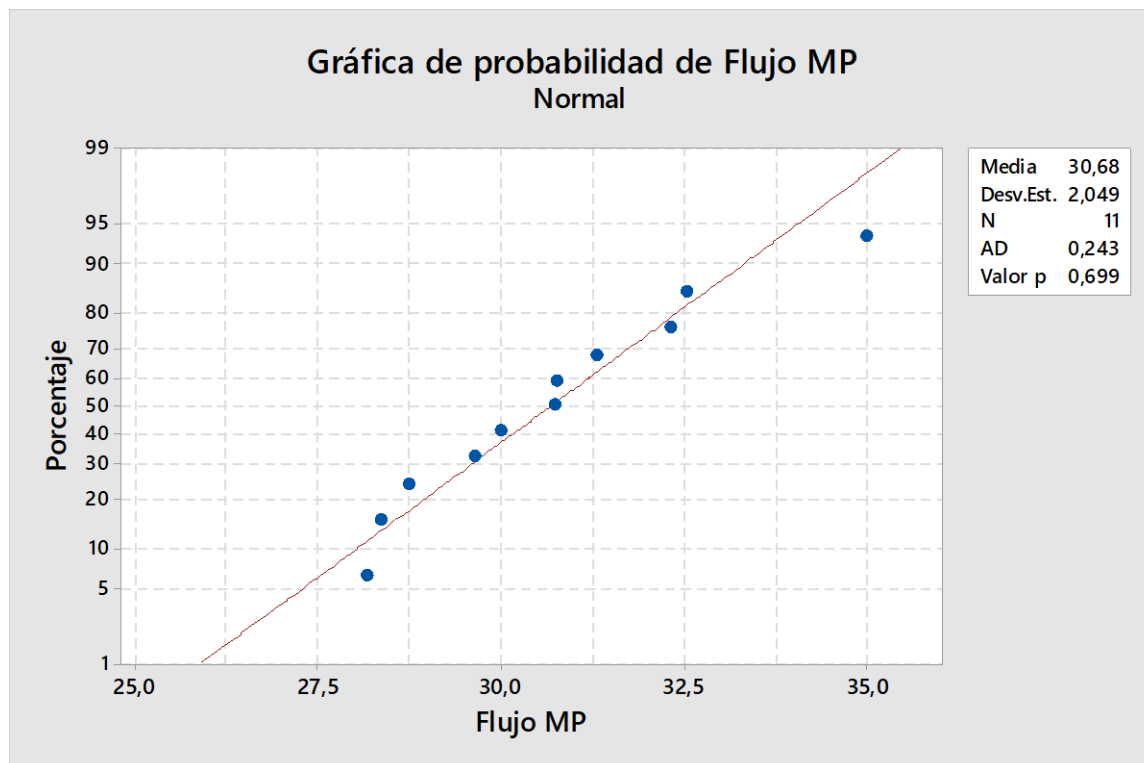
Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
---------	----	---------

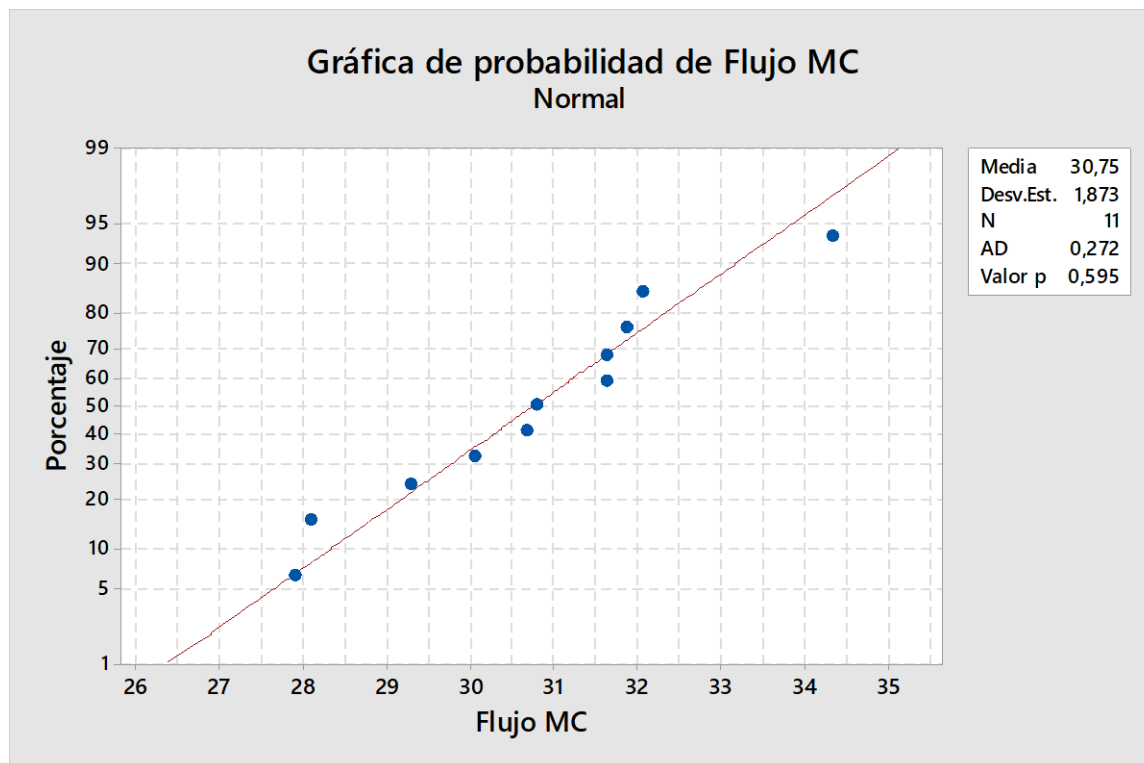
3,62 19 0,002

FLUJO

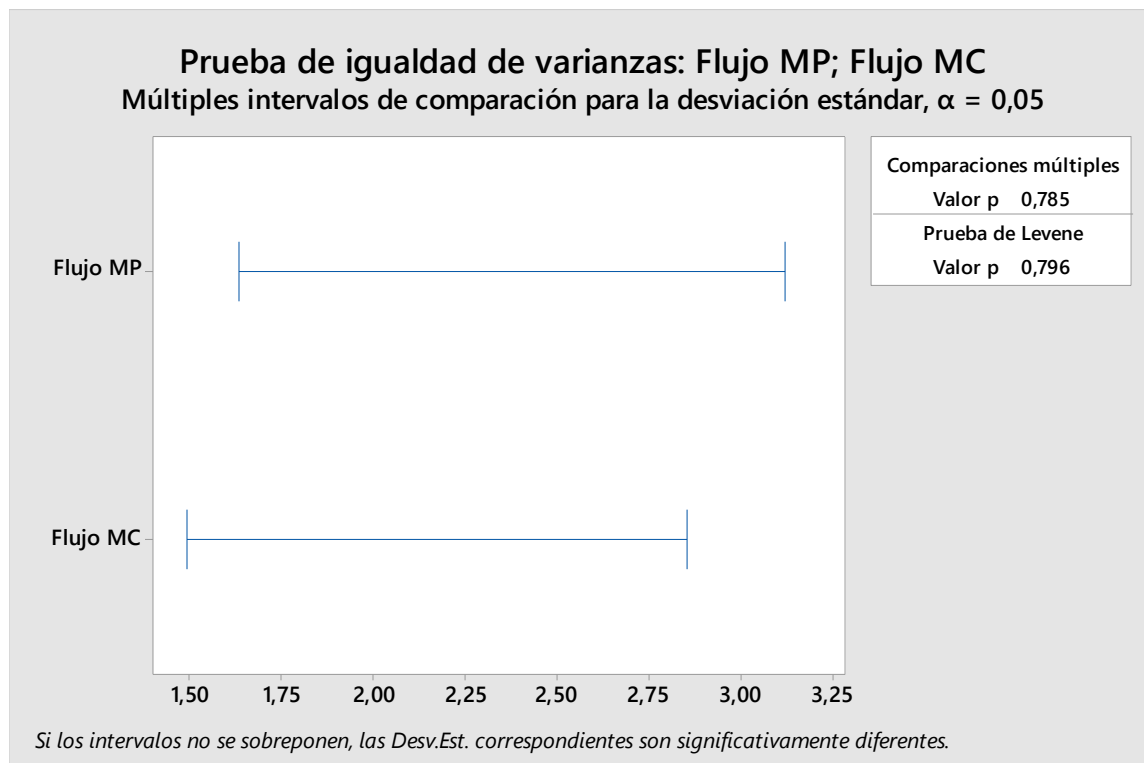
Normalidad Flujo MP



Normalidad Flujo MC



Prueba de igualdad de varianzas



Prueba de igualdad de varianzas: Flujo MP; Flujo MC

Método

Hipótesis nula Todas las varianzas son iguales

Hipótesis alterna Por lo menos una varianza es diferente

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar

Muestra	N	Desv.Est.	IC
Flujo MP	11	2,04936	(1,16067; 4,54452)
Flujo MC	11	1,87313	(1,14445; 3,85030)

Nivel de confianza individual = 97,5%

Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	0,07	0,785
Levene	0,07	0,796

Prueba de igualdad de varianzas: Flujo MP; Flujo MC

Prueba T e IC de dos muestras: Flujo MP, Flujo MC

Método

μ_1 : media de Flujo MP

μ_2 : media de Flujo MC

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Flujo MP	11	30.68	2.05	0.62
Flujo MC	11	30.75	1.87	0.56

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-0.077	(-1.829, 1.676)

Prueba

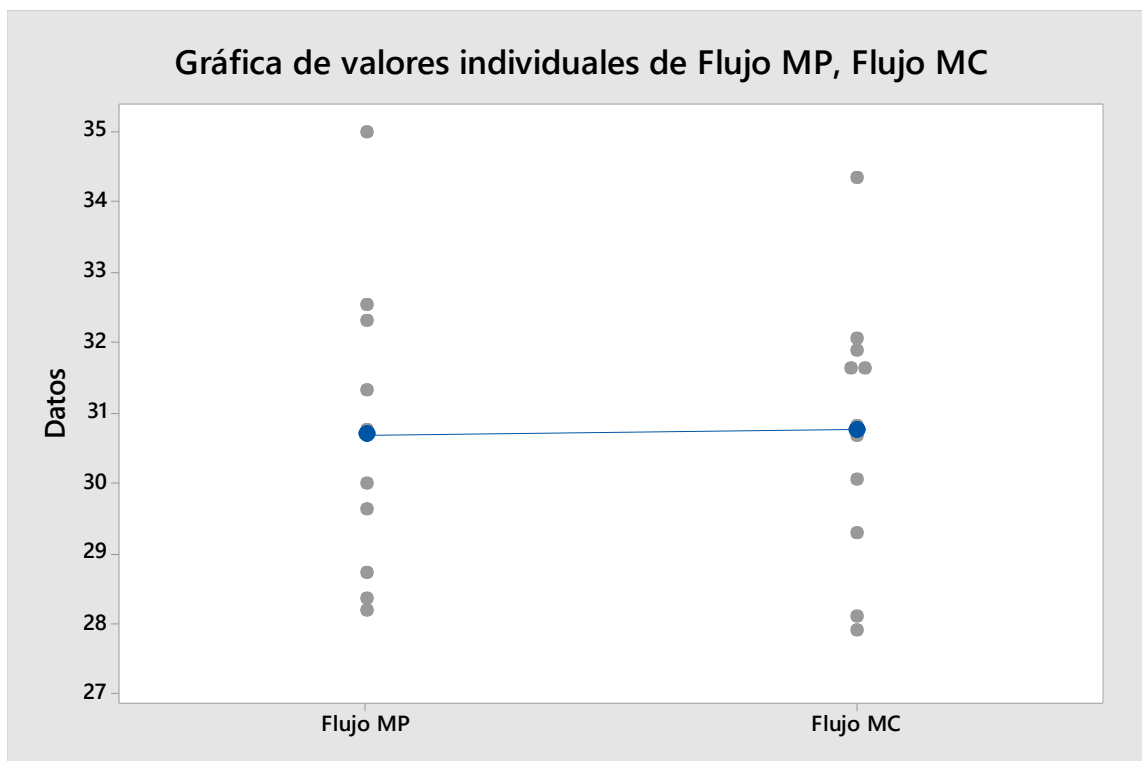
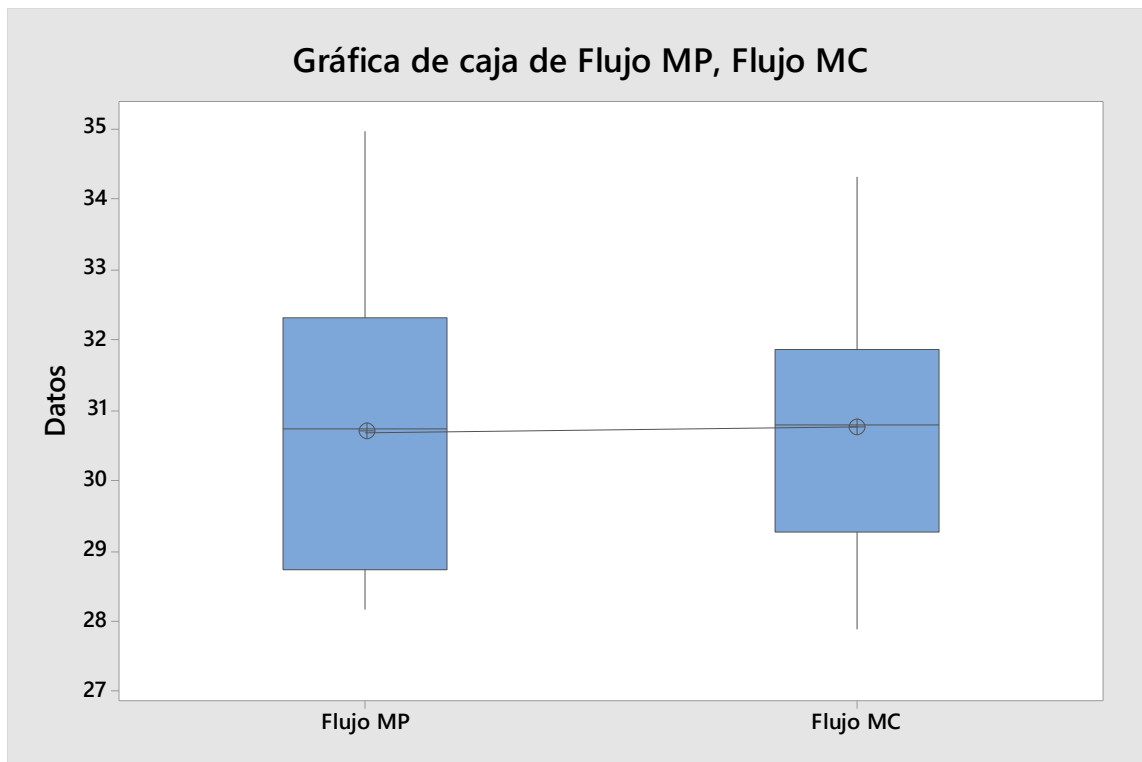
Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-0.09	19	0.928

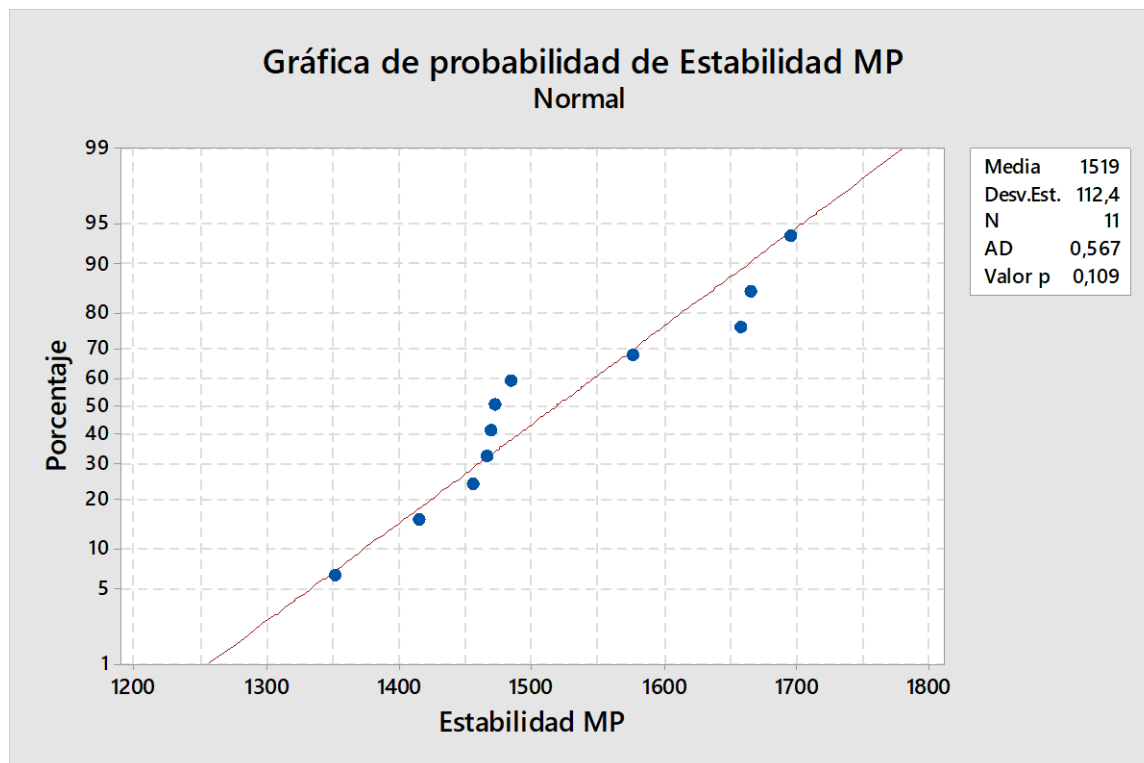
Gráfica de valores individuales de Flujo MP, Flujo MC

Gráfica de caja de Flujo MP, Flujo MC

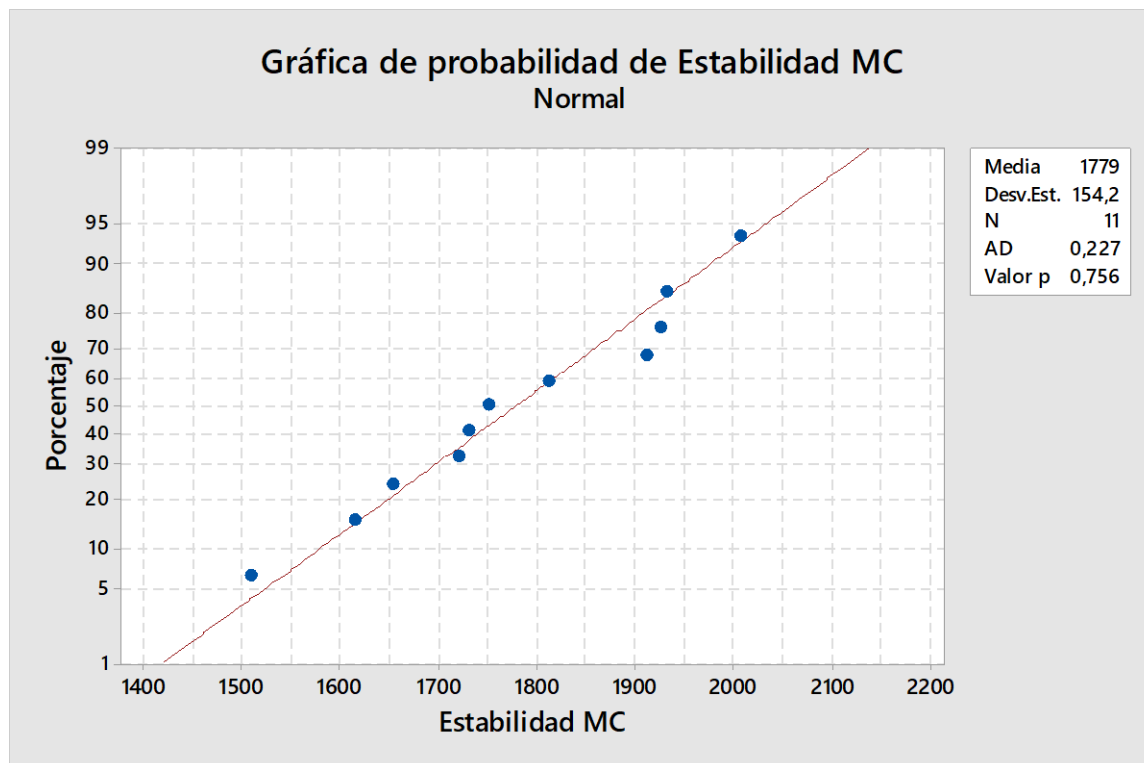


Estabilidad

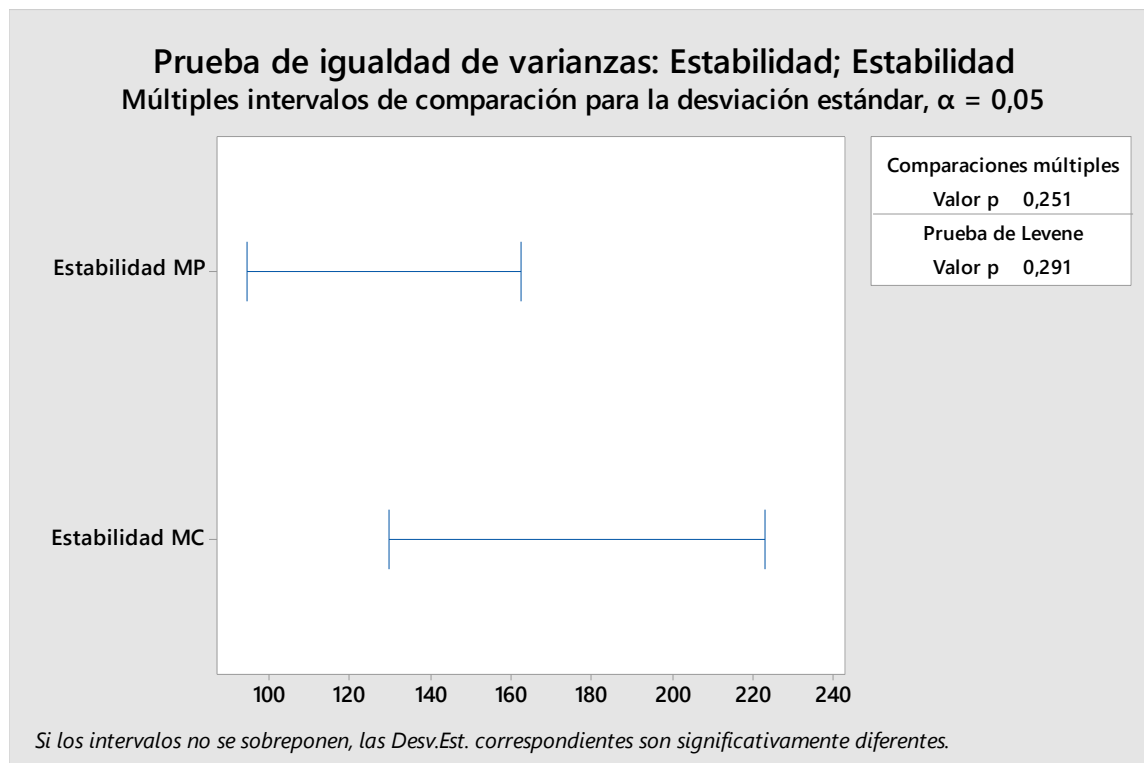
Normalidad Estabilidad MP



Normalidad Estabilidad MC



Prueba de Igualdad de Varianzas



Prueba de igualdad de varianzas: Estabilidad MP; Estabilidad MC

Método

Hipótesis nula Todas las varianzas son iguales

Hipótesis alterna Por lo menos una varianza es diferente

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar

Muestra	N	Desv.Est.	IC
Estabilidad MP	11	112,398	(75,589; 209,902)
Estabilidad MC	11	154,244	(103,427; 288,898)

Nivel de confianza individual = 97,5%

Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	1,32	0,251
Levene	1,18	0,291

Prueba de igualdad de varianzas: Estabilidad; Estabilidad

Prueba T e IC de dos muestras: Estabilidad MP, Estabilidad MC

Método

μ_1 : media de Estabilidad MP

μ_2 : media de Estabilidad MC

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Estabilidad MP	11	1519	112	34
Estabilidad MC	11	1779	154	47

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-259.8	(-380.7, -138.9)

Prueba

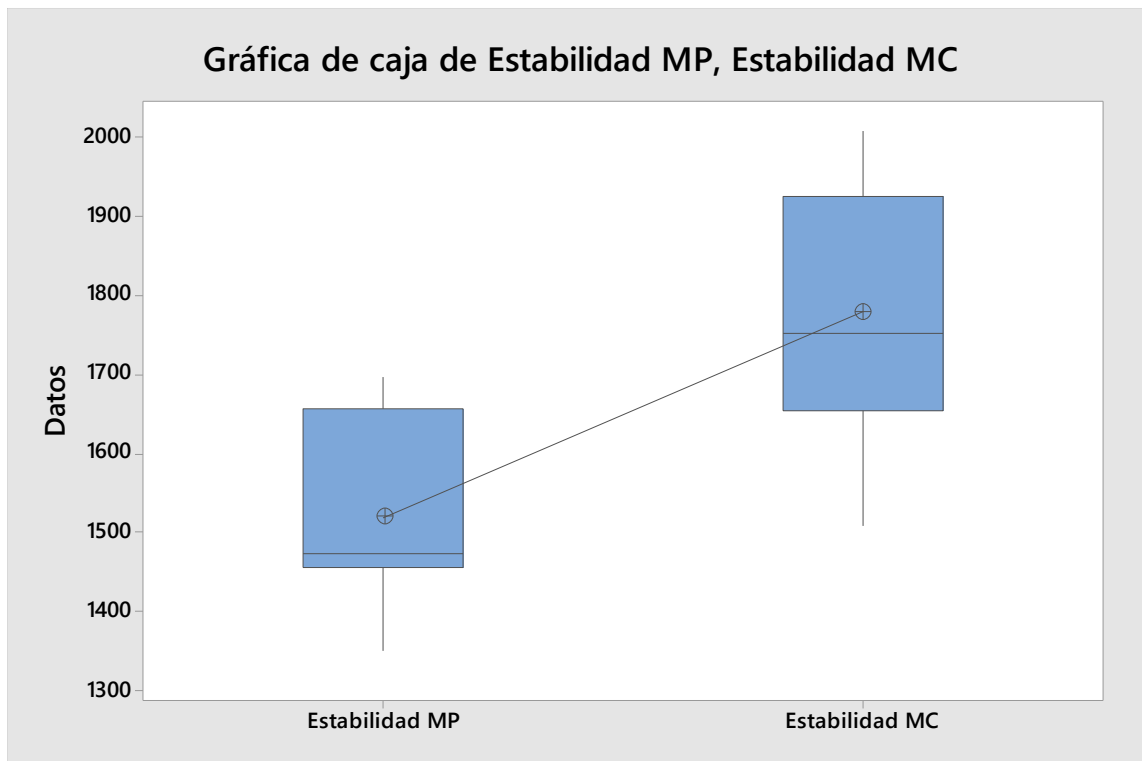
Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

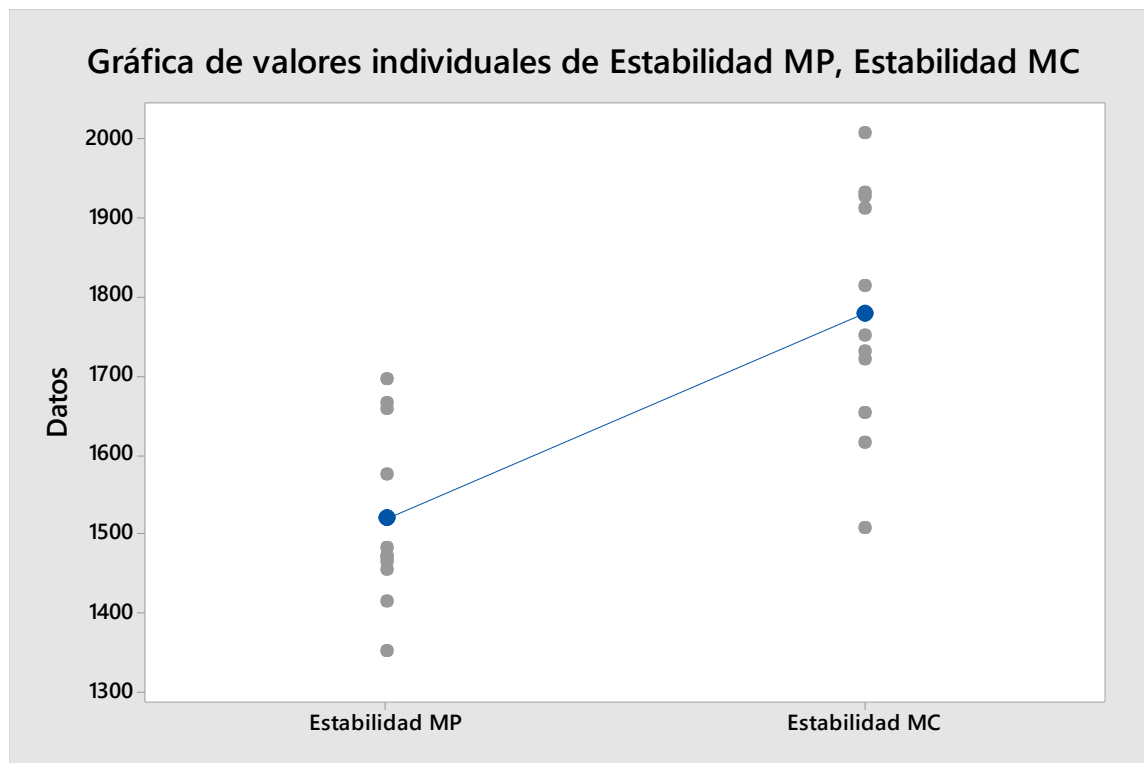
Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-4.51	18	0.000

Gráfica de valores individuales de Estabilidad MP, Estabilidad MC

Gráfica de caja de Estabilidad MP, Estabilidad MC





Anexo 4 Memoria de Cálculos de los ensayos

M1 Sin Curar

	<u>Máxima Teórica</u>		Contenido de Agua
	Determinación 1	Determinación 2	
Masa del Recipiente (g)	1038.9	1266.8	0.11
Masa del Recipiente + Muestra (g)	2574.9	2788.2	
Masa de la Muestra (g)	1536.0	1521.4	
Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1534.3	1519.8	
Masa del Recipiente + Agua	3335.7	3475.0	
Masa del Recipiente + Agua + Muestra (después de aplicar vacíos) (g)	4246.9	4381.0	
Masa de la Muestra SSS (g)	1536.1	1521.5	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción	2.462	2.476	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) con absorción	2.455	2.469	
PROMEDIO	2.462		

# Pastilla	Masa Seca (g)	Masa SSS (g)	Masa Sumerg. (g)	B-C (g)	% Agua Absorb.	Gbs	Máxima Teórica	% de Vacíos
1	1189.8	1190.9	686.6	504.3	0.22	2.359	2.462	4.2
2	1190.2	1191.2	687.5	503.7	0.20	2.363	2.462	4.0
3	1190.6	1191.5	687.8	503.7	0.18	2.364	2.462	4.0
4	1189.2	1190.3	687.7	502.6	0.22	2.366	2.462	3.9
PROMEDIO						2.363	2.462	4.0

Resistencia al Flujo Plástico (IE-002) para Especímenes Elaborados en Laboratorio

# Pastilla	Altura (cm)	Volumen cm3	Lectura Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Estabilidad (kg)	Flujo (l/100 cm)
1	6.33	505.8	-	1.04	1590	26.6
2	6.30	505.2	-	1.04	1643	31.8
3	6.35	505.2	-	1.04	1548	30.0
4	6.29	504.1	-	1.04	1524	31.6
PROMEDIO				1.04	1576	30.0

Ceniza

Masa del Crisol (g)	133.509
Masa de la ceniza (g)	0.400
Volumen total del líquido (ml)	840.0
Masa del material mineral (g)	3.36
Masa del crisol + ceniza (g)	133.909
Volumen de la alicuota (ml)	100
% Ceniza	0.186505029

REFLUX

Humedad de la mezcla	0.11		
Masa del espécimen de ensayo (g)	1928.5	Masa mezcla Cono 1 (g)	1083.3
Masa de agua	2.1	Masa mezcla Cono 2 (g)	845.2
Masa de filtros (g)	19.5		
Masa de agregado + filtros (g)	1817.7		
Masa del agregado (g)	1798.2		
Masa del agregado + ceniza (g)	1801.6		
% Asfalto sobre la mezcla	6.48	%	
% Asfalto sobre el agregado	6.93	%	

Graduación del Agregado Extraído

Masa seca inicial (g)	1801.6
Masa lavada seca (g)	1705.0

Malla	Malla (mm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasando
1"	25,4				
3/4"	19,0	0	0	0	100
1/2"	12,7	37.9	2.1	2	98
3/8"	9,5	210.1	11.7	14	86
Nº 4	4,75	520.2	28.9	43	57
Nº 8	2,0	343.4	19.1	62	38
Nº 16	1,18	237.5	13.2	75	25
Nº 30	0,6	125.1	6.9	82	18
Nº 50	0,3	93.9	5.2	87	13
Nº 200	0,075	134.9	7.5	95	5.5
Charola		1.8	0.1		

Suma total masa (g)	1704.8	
% de variación de masa	0.01	(no debe ser mayor a 0,3%)

M1 Curada

	<u>Máxima Teórica</u>		Contenido de Agua
	Determinación 1	Determinación 2	
Masa del Recipiente (g)	1040.3	1266.8	0.09
Masa del Recipiente + Muestra (g)	2623.3	2866.3	
Masa de la Muestra (g)	1583.0	1599.5	
Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1581.6	1598.1	
Masa del Recipiente + Agua	3335.7	3475.0	
Masa del Recipiente + Agua + Muestra (después de aplicar vacíos) (g)	4275.9	4423.3	
Masa de la Muestra SSS (g)	1584.0	1600.5	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción	2.466	2.459	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) con absorción	2.457	2.450	
PROMEDIO	2.453		

# Pastilla	Masa Seca (g)	Masa SSS (g)	Masa Sumerg. (g)	B-C (g)	% Agua Absorb.	Gbs	Máxima Teórica	% de Vacíos
1	1185.6	1186.3	682.6	503.7	0.14	2.354	2.453	4.1
2	1185.8	1186.5	683.4	503.1	0.14	2.357	2.453	3.9
3	1188.0	1188.6	684.4	504.2	0.12	2.356	2.453	4.0
4	1183.9	1184.8	682.0	502.8	0.18	2.355	2.453	4.0
					PROMEDIO	2.355	2.453	4.0

Resistencia al Flujo Plástico (IE-002) para Especímenes Elaborados en Laboratorio

# Pastilla	Altura (cm)	Volumen cm ³	Lectura Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100 cm)
1	6.40	505.2	-	1.04	1843	32.8
2	6.35	504.6	-	1.04	1956	30.6
3	6.31	505.7	-	1.04	1699	29.1
4	6.45	504.3	-	1.04	1751	30.2
			PROMEDIO	1.04	1812	30.7

Ceniza

Masa del Crisol (g)	135.263
Masa de la ceniza (g)	0.365
Volumen total del líquido (ml)	940.0
Masa del material mineral (g)	3.431
Masa del crisol + ceniza (g)	135.628
Volumen de la alicuota (ml)	100
% Ceniza	0.21756072

REFLUX

Humedad de la mezcla	0.09		
Masa del espécimen de ensayo (g)	1681.2	Masa mezcla Cono 1 (g)	1000.1
Masa de agua	1.5	Masa mezcla Cono 2 (g)	681.1
Masa de filtros (g)	19.7		
Masa de agregado + filtros (g)	1593.3		
Masa del agregado (g)	1573.6		
Masa del agregado + ceniza (g)	1577.0		
% Asfalto sobre la mezcla	6.11	%	
% Asfalto sobre el agregado	6.51	%	

Graduación del Agregado Extraído

Masa seca inicial (g)	1577.0
Masa lavada seca (g)	1490.1

Malla	Malla (mm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasando
1"	25.4				
3/4"	19.0	0	0	0	100
1/2"	12.7	38.5	2.4	2	98
3/8"	9.5	185.7	11.8	14	86
Nº 4	4.75	472.7	30.0	44	56
Nº 8	2.0	292.1	18.5	63	37
Nº 16	1.18	180.0	11.4	74	26
Nº 30	0.6	115.8	7.3	81	19
Nº 50	0.3	91.4	5.8	87	13
Nº 200	0.075	111.0	7.0	94	5.7
Charola		2.6	0.2		

Suma total masa (g)	1489.8	
% de variación de masa	0.02	(no debe ser mayor a 0,3%)

M2 Sin Cura

	<u>Máxima Teórica</u>		Contenido de Agua
	Determinación 1	Determinación 2	
Masa del Recipiente (g)	1039.0	1266.8	0.06
Masa del Recipiente + Muestra (g)	2668.2	2824.0	
Masa de la Muestra (g)	1629.2	1557.2	
Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1628.3	1556.3	
Masa del Recipiente + Agua	3335.7	3475.0	
Masa del Recipiente + Agua + Muestra (después de aplicar vacíos) (g)	4299.5	4396.5	
Masa de la Muestra SSS (g)	1629.8	1557.8	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción	2.451	2.452	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) con absorción	2.445	2.446	
PROMEDIO	2.445		

# Pastilla	Masa Seca (g)	Masa SSS (g)	Masa Sumerg. (g)	B-C (g)	% Agua Absorb.	Gbs	Máxima Teórica	% de Vacíos
1	1192.2	1194.7	690.4	504.3	0.50	2.364	2.445	3.3
2	1193.5	1195.6	689.9	505.7	0.42	2.360	2.445	3.5
3	1196.6	1197.6	690.4	507.2	0.20	2.359	2.445	3.5
4	1193.6	1196.3	690.4	505.9	0.53	2.359	2.445	3.5
PROMEDIO						2.361	2.445	3.5

Resistencia al Flujo Plástico (IE-002) para Especímenes Elaborados en Laboratorio

# Pastilla	Altura (cm)	Volumen cm3	Lectura Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100 cm)
1	6.33	505.8	-	1.04	1667	36.9
2	6.35	507.2	-	1.04	1618	30.8
3	6.34	508.7	-	1.04	1820	40.9
4	6.3	507.4	-	1.04	1678	31.3
PROMEDIO				1.04	1696	35.0

Ceniza

Masa del Crisol (g)	135.207
Masa de la ceniza (g)	0.303
Volumen total del líquido (ml)	940.0
Masa del material mineral (g)	2.8482
Masa del crisol + ceniza (g)	135.51
Volumen de la alicuota (ml)	100
% Ceniza	0.205312935

REFLUX

Humedad de la mezcla	0.06		
Masa del espécimen de ensayo (g)	1488.4	Masa mezcla Cono 1 (g)	1000.2
Masa de agua	0.9	Masa mezcla Cono 2 (g)	488.2
Masa de filtros (g)	19.7		
Masa de agregado + filtros (g)	1404.1		
Masa del agregado (g)	1384.4		
Masa del agregado + ceniza (g)	1387.2		
% Asfalto sobre la mezcla	6.74	%	
% Asfalto sobre el agregado	7.23	%	

Graduación del Agregado Extraído

Masa seca inicial (g)	1387.2
Masa lavada seca (g)	1278.1

Malla	Malla (mm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasando
1"	25,4				
3/4"	19,0	0	0	0	100
1/2"	12,7	17.9	1.3	1	99
3/8"	9,5	141.5	10.2	11	89
Nº 4	4,75	410.7	29.6	41	59
Nº 8	2,0	277.2	20.0	61	39
Nº 16	1,18	172.9	12.5	74	26
Nº 30	0,6	92.6	6.7	80	20
Nº 50	0,3	72	5.2	85	15
Nº 200	0,075	91.7	6.6	92	7.9
Charola		1.1	0.1		

Suma total masa (g)	1277.6	
% de variación de masa	0.04	(no debe ser mayor a 0,3%)

M2 Curada

Máxima Teórica					
	Determinación 1	Determinación 2	Contenido de Agua		
Masa del Recipiente (g)	1039.5	1267.2	0.05		
Masa del Recipiente + Muestra (g)	2550.8	2776.8			
Masa de la Muestra (g)	1511.3	1509.6			
Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1510.5	1508.8			
Masa del Recipiente + Agua	3335.7	3475.0			
Masa del Recipiente + Agua + Muestra (después de aplicar vacíos) (g)	4231.1	4370.7			
Masa de la Muestra SSS (g)	1513.8	1512.1			
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción	2.456	2.461			
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) con absorción	2.443	2.448			
PROMEDIO	2.445				

# Pastilla	Masa Seca (g)	Masa SSS (g)	Masa Sumerg. (g)	B-C (g)	% Agua Absorb.	Gbs	Máxima Teórica	% de Vacíos
1	1188.3	1189.4	680.7	508.7	0.22	2.336	2.445	4.5
2	1189.5	1190.7	681.8	508.9	0.24	2.337	2.445	4.4
3	1181.6	1183.5	674.4	509.1	0.37	2.321	2.445	5.1
4	1187.8	1189.0	680.4	508.6	0.24	2.335	2.445	4.5
PROMEDIO						2.332	2.445	4.6

Resistencia al Flujo Plástico (IE-002) para Especímenes Elaborados en Laboratorio

# Pastilla	Altura (cm)	Volumen cm ³	Lectura Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100 cm)
1	6.37	510.2	-	1.00	1440	30.8
2	6.33	510.4	-	1.00	1504	26.7
3	6.36	510.6	-	1.00	1559	31.5
4	6.35	510.1	-	1.00	1531	31.2
PROMEDIO				1.00	1509	30.1

Ceniza

Masa del Crisol (g)	135.254
Masa de la ceniza (g)	0.236
Volumen total del líquido (ml)	880.0
Masa del material mineral (g)	2.0768
Masa del crisol + ceniza (g)	135.49
Volumen de la alicuota (ml)	100
% Ceniza	0.1335325

REFLUX

Humedad de la mezcla	0.05		
Masa del espécimen de ensayo (g)	1650.9	Masa mezcla Cono 1 (g)	1000.0
Masa de agua	0.9	Masa mezcla Cono 2 (g)	650.9
Masa de filtros (g)	19		
Masa de agregado + filtros (g)	1572.2		
Masa del agregado (g)	1553.2		
Masa del agregado + ceniza (g)	1555.3		
% Asfalto sobre la mezcla	5.74	%	
% Asfalto sobre el agregado	6.09	%	

Graduación del Agregado Extraído

Masa seca inicial (g)	1555.3
Masa lavada seca (g)	1452.8

Malla	Malla (mm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasando
1"	25.4				
3/4"	19.0	0	0	0	100
1/2"	12.7	47.2	3.0	3	97
3/8"	9.5	275.7	17.7	21	79
Nº 4	4.75	488.0	31.4	52	48
Nº 8	2.0	239.5	15.4	68	32
Nº 16	1.18	139.3	9.0	76	24
Nº 30	0.6	85.9	5.5	82	18
Nº 50	0.3	72.9	4.7	87	13
Nº 200	0.075	102.5	6.6	93	6.7
Charola		1.6	0.1		

Suma total masa (g)	1452.6	
% de variación de masa	0.01	(no debe ser mayor a 0,3%)

M3 Sin Cura

	<u>Máxima Teórica</u>		Contenido de Agua
	Determinación 1	Determinación 2	
Masa del Recipiente (g)	1040.2	1267.0	0.08
Masa del Recipiente + Muestra (g)	2695.2	2895.8	
Masa de la Muestra (g)	1655.0	1628.8	
Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1653.7	1627.5	
Masa del Recipiente + Agua	3335.7	3475.0	
Masa del Recipiente + Agua + Muestra (después de aplicar vacíos) (g)	4313.3	4437.5	
Masa de la Muestra SSS (g)	1657.5	1631.3	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción	2.446	2.447	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) con absorción	2.432	2.433	
PROMEDIO	2.433		

# Pastilla	Masa Seca (g)	Masa SSS (g)	Masa Sumerg. (g)	B-C (g)	% Agua Absorb.	Gbs	Máxima Teórica	% de Vacíos
1	1194.3	1195.2	687.0	508.2	0.18	2.350	2.433	3.4
2	1192.0	1192.7	685.5	507.2	0.14	2.350	2.433	3.4
3	1191.9	1192.7	686.0	506.7	0.16	2.352	2.433	3.3
4	1189.4	1190.4	683.8	506.6	0.20	2.348	2.433	3.5
PROMEDIO						2.350	2.433	3.4

Resistencia al Flujo Plástico (IE-002) para Especímenes Elaborados en Laboratorio

# Pastilla	Altura (cm)	Volumen cm3	Lectura Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100 cm)
1	6.42	509.7	-	1.00	1417	28.1
2	6.35	508.7	-	1.00	1430	26.3
3	6.42	508.2	-	1.00	1562	32.0
4	6.40	508.1	-	1.00	1525	36.6
PROMEDIO				1.00	1484	30.8

Ceniza

Masa del Crisol (g)	133.177
Masa de la ceniza (g)	0.369
Volumen total del líquido (ml)	930.0
Masa del material mineral (g)	3.4317
Masa del crisol + ceniza (g)	133.546
Volumen de la alicuota (ml)	100
% Ceniza	0.215460018

REFLUX

Humedad de la mezcla	0.08		
Masa del espécimen de ensayo (g)	1709.8	Masa mezcla Cono 1 (g)	1000.5
Masa de agua	1.4	Masa mezcla Cono 2 (g)	709.3
Masa de filtros (g)	18.9		
Masa de agregado + filtros (g)	1608.2		
Masa del agregado (g)	1589.3		
Masa del agregado + ceniza (g)	1592.7		
% Asfalto sobre la mezcla	6.77	%	
% Asfalto sobre el agregado	7.26	%	

Graduación del Agregado Extraído

Masa seca inicial (g)	1592.7
Masa lavada seca (g)	1483.8

Malla	Malla (mm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasando
1"	25.4				
3/4"	19.0	0	0	0	100
1/2"	12.7	31.5	2.0	2	98
3/8"	9.5	179.5	11.3	13	87
Nº 4	4.75	489.0	30.7	44	56
Nº 8	2.0	290.2	18.2	62	38
Nº 16	1.18	190.2	11.9	74	26
Nº 30	0.6	110.7	7.0	81	19
Nº 50	0.3	89.1	5.6	87	13
Nº 200	0.075	102.6	6.4	93	6.9
Charola		1.0	0.1		

Suma total masa (g)	1483.8	
% de variación de masa	0.00	(no debe ser mayor a 0,3%)

M3 Con Cura

Máxima Teórica				
	Determinación 1	Determinación 2	Contenido de Agua	
Masa del Recipiente (g)	1039.6	1267.6	0.09	
Masa del Recipiente + Muestra (g)	2639.5	2868.0		
Masa de la Muestra (g)	1599.9	1600.4		
Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1598.5	1599.0		
Masa del Recipiente + Agua	3335.7	3475.0		
Masa del Recipiente + Agua + Muestra (después de aplicar vacíos) (g)	4283.5	4422.1		
Masa de la Muestra SSS (g)	1600.6	1601.1		
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción	2.457	2.453		
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) con absorción	2.449	2.445		
PROMEDIO	2.447			

# Pastilla	Masa Seca (g)	Masa SSS (g)	Masa Sumerg. (g)	B-C (g)	% Agua Absorb.	Gbs	Máxima Teórica	% de Vacíos
1	1182.3	1183.2	681.0	502.2	0.18	2.354	2.447	3.8
2	1183.2	1184.3	681.0	503.3	0.22	2.351	2.447	3.9
3	1184.0	1184.7	680.4	504.3	0.14	2.348	2.447	4.0
4	1182.7	1184.2	681.3	502.9	0.30	2.352	2.447	3.9
PROMEDIO						2.351	2.447	3.9

Resistencia al Flujo Plástico (IE-002) para Especímenes Elaborados en Laboratorio

# Pastilla	Altura (cm)	Volumen cm ³	Lectura Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100 cm)
1	6.27	503.7	-	1.04	1760	37.4
2	6.31	504.8	-	1.04	1643	30.1
3	6.35	505.8	-	1.04	1876	37.8
4	6.37	504.4	-	1.04	1726	32.0
PROMEDIO				1.04	1751	34.3

Ceniza

Masa del Crisol (g)	135.150
Masa de la ceniza (g)	0.110
Volumen total del líquido (ml)	940.0
Masa del material mineral (g)	1.034
Masa del crisol + ceniza (g)	135.26
Volumen de la alicuota (ml)	100
% Ceniza	0.058852524

REFLUX

Humedad de la mezcla	0.09		
Masa del espécimen de ensayo (g)	1876.8	Masa mezcla Cono 1 (g)	1000.4
Masa de agua	1.7	Masa mezcla Cono 2 (g)	876.4
Masa de filtros (g)	20.1		
Masa de agregado + filtros (g)	1776.0		
Masa del agregado (g)	1755.9		
Masa del agregado + ceniza (g)	1756.9		
% Asfalto sobre la mezcla	6.30	%	
% Asfalto sobre el agregado	6.73	%	

Graduación del Agregado Extraído

Masa seca inicial (g)	1756.9
Masa lavada seca (g)	1625.5

Malla	Malla (mm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasando
1"	25,4				
3/4"	19,0	0	0	0	100
1/2"	12,7	45.2	2.6	3	97
3/8"	9,5	213.3	12.1	15	85
Nº 4	4,75	542.9	30.9	46	54
Nº 8	2,0	307.9	17.5	63	37
Nº 16	1,18	192.5	11.0	74	26
Nº 30	0,6	113.2	6.4	81	19
Nº 50	0,3	93.2	5.3	86	14
Nº 200	0,075	116.7	6.6	92	7.5
Charola		0.6	0.0		

Suma total masa (g)	1625.5	
% de variación de masa	0.00	(no debe ser mayor a 0,3%)

M4 Sin Curar

Máxima Teórica					
	Determinación 1	Determinación 2	Contenido de Agua		
Masa del Recipiente (g)	1039.5	1267.3	0.03		
Masa del Recipiente + Muestra (g)	2560.0	2809.3			
Masa de la Muestra (g)	1520.5	1542.0			
Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1520.0	1541.5			
Masa del Recipiente + Agua	3335.7	3475.0			
Masa del Recipiente + Agua + Muestra (después de aplicar vacíos) (g)	4233.6	4384.9			
Masa de la Muestra SSS (g)	1522.5	1544.0			
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción	2.443	2.441			
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) con absorción	2.434	2.431			
PROMEDIO	2.432				

# Pastilla	Masa Seca (g)	Masa SSS (g)	Masa Sumerg. (g)	B-C (g)	% Agua Absorb.	Gbs	Máxima Teórica	% de Vacíos
1	1190.8	1193.1	682.1	511	0.45	2.330	2.432	4.2
2	1193.6	1194.8	683.8	511	0.23	2.336	2.432	4.0
3	1194.4	1196.0	684.3	511.7	0.31	2.334	2.432	4.0
4	1190.2	1192.7	682.1	510.6	0.49	2.331	2.432	4.2
PROMEDIO						2.333	2.432	4.1

Resistencia al Flujo Plástico (IE-002) para Especímenes Elaborados en Laboratorio

# Pastilla	Altura (cm)	Volumen cm ³	Lectura Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100 cm)
1	6.45	512.5	-	1.00	1535	30.0
2	6.39	512.5	-	1.00	1477	33.0
3	6.38	513.2	-	1.00	1438	32.2
4	6.42	512.1	-	1.00	1440	34.0
PROMEDIO				1.00	1473	32.3

Ceniza

Masa del Crisol (g)	135.101
Masa de la ceniza (g)	0.159
Volumen total del líquido (ml)	910.0
Masa del material mineral (g)	1.4469
Masa del crisol + ceniza (g)	135.26
Volumen de la alicuota (ml)	100
% Ceniza	0.085750002

REFLUX

Humedad de la mezcla	0.03		
Masa del espécimen de ensayo (g)	1807.1	Masa mezcla Cono 1 (g)	1000.7
Masa de agua	0.6	Masa mezcla Cono 2 (g)	806.4
Masa de filtros (g)	20		
Masa de agregado + filtros (g)	1705.9		
Masa del agregado (g)	1685.9		
Masa del agregado + ceniza (g)	1687.3		
% Asfalto sobre la mezcla	6.60	%	
% Asfalto sobre el agregado	7.06	%	

Graduación del Agregado Extraído

Masa seca inicial (g)	1687.3
Masa lavada seca (g)	1567.5

Malla	Malla (mm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasando
1"	25,4				
3/4"	19,0	0	0	0	100
1/2"	12,7	72.6	4.3	4	96
3/8"	9,5	203.0	12.0	16	84
Nº 4	4,75	456.3	27.0	43	57
Nº 8	2,0	314.3	18.6	62	38
Nº 16	1,18	202.0	12.0	74	26
Nº 30	0,6	115.2	6.8	81	19
Nº 50	0,3	89.8	5.3	86	14
Nº 200	0,075	113.5	6.7	93	7.1
Charola		0.6	0.0		

Suma total masa (g)	1567.3	
% de variación de masa	0.01	(no debe ser mayor a 0,3%)

M4 Curada

Máxima Teórica				
	Determinación 1	Determinación 2	Contenido de Agua	
Masa del Recipiente (g)	1042.5	1267.1	0.15	
Masa del Recipiente + Muestra (g)	2545.6	2772.9		
Masa de la Muestra (g)	1503.1	1505.8		
Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1500.9	1503.6		
Masa del Recipiente + Agua	3335.7	3475.0		
Masa del Recipiente + Agua + Muestra (después de aplicar vacíos) (g)	4227.4	4370.9		
Masa de la Muestra SSS (g)	1504.4	1507.1		
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción	2.464	2.474		
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) con absorción	2.450	2.460		
PROMEDIO	2.455			

# Pastilla	Masa Seca (g)	Masa SSS (g)	Masa Sumerg. (g)	B-C (g)	% Agua Absorb.	Gbs	Máxima Teórica	% de Vacíos
1	1189.0	1190.6	682.1	508.5	0.31	2.338	2.455	4.7
2	1188.3	1189.7	682.4	507.3	0.28	2.342	2.455	4.6
3	1188.6	1190.1	681.7	508.4	0.30	2.338	2.455	4.8
4	1177.8	1179.6	676.1	503.5	0.36	2.339	2.455	4.7
PROMEDIO						2.339	2.455	4.7

Resistencia al Flujo Plástico (IE-002) para Especímenes Elaborados en Laboratorio

# Pastilla	Altura (cm)	Volumen cm ³	Lectura Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100 cm)
1	6.44	510.0	-	1.00	1608	31.7
2	6.43	508.8	-	1.00	1539	34.3
3	6.45	509.9	-	1.00	1563	32.8
4	6.42	505.0	-	1.00	1749	28.7
PROMEDIO				1.00	1615	31.9

Ceniza

Masa del Crisol (g)	133.136
Masa de la ceniza (g)	0.229
Volumen total del líquido (ml)	900.0
Masa del material mineral (g)	2.061
Masa del crisol + ceniza (g)	133.365
Volumen de la alicuota (ml)	100
% Ceniza	0.115652607

REFLUX

Humedad de la mezcla	0.15		
Masa del espécimen de ensayo (g)	1908.9	Masa mezcla Cono 1 (g)	1000.7
Masa de agua	2.8	Masa mezcla Cono 2 (g)	908.2
Masa de filtros (g)	19.3		
Masa de agregado + filtros (g)	1799.3		
Masa del agregado (g)	1780		
Masa del agregado + ceniza (g)	1782.1		
% Asfalto sobre la mezcla	6.51	%	
% Asfalto sobre el agregado	6.96	%	

Graduación del Agregado Extraído

Masa seca inicial (g)	1782.1
Masa lavada seca (g)	1672.3

Malla	Malla (mm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasando
1"	25.4				
3/4"	19.0	0	0	0	100
1/2"	12.7	60.7	3.4	3	97
3/8"	9.5	214.2	12.0	15	85
Nº 4	4.75	518.6	29.1	45	55
Nº 8	2.0	327.7	18.4	63	37
Nº 16	1.18	221.6	12.4	75	25
Nº 30	0.6	125.7	7.1	82	18
Nº 50	0.3	97.1	5.4	88	12
Nº 200	0.075	105.8	5.9	94	6.2
Charola		0.7	0.0		

Suma total masa (g)	1672.1	
% de variación de masa	0.01	(no debe ser mayor a 0,3%)

M5 Sin Cura

	<u>Máxima Teórica</u>		Contenido de Agua
	Determinación 1	Determinación 2	
Masa del Recipiente (g)	1039.0	1266.7	0.07
Masa del Recipiente + Muestra (g)	2592.6	2794.7	
Masa de la Muestra (g)	1553.6	1528.0	
Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1552.6	1527.0	
Masa del Recipiente + Agua	3335.7	3475.0	
Masa del Recipiente + Agua + Muestra (después de aplicar vacíos) (g)	4256.9	4381.3	
Masa de la Muestra SSS (g)	1556.5	1530.9	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción	2.459	2.460	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) con absorción	2.444	2.445	
PROMEDIO	2.444		

# Pastilla	Masa Seca (g)	Masa SSS (g)	Masa Sumerg. (g)	B-C (g)	% Agua Absorb.	Gbs	Máxima Teórica	% de Vacíos
1	1188.9	1189.9	684.5	505.4	0.20	2.352	2.444	3.8
2	1194.2	1195.0	688.0	507	0.16	2.355	2.444	3.6
3	1188.1	1188.9	683.1	505.8	0.16	2.349	2.444	3.9
4	1189.0	1189.9	684.0	505.9	0.18	2.350	2.444	3.8
PROMEDIO						2.352	2.444	3.8

Resistencia al Flujo Plástico (IE-002) para Especímenes Elaborados en Laboratorio

# Pastilla	Altura (cm)	Volumen cm ³	Lectura Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100 cm)
1	6.40	506.9	-	1.04	1486	32.6
2	6.35	508.5	-	1.04	1595	31.3
3	6.32	507.3	-	1.04	1470	33.1
4	6.38	507.4	-	1.04	1325	25.9
PROMEDIO				1.04	1469	30.7

Ceniza

Masa del Crisol (g)	133.138
Masa de la ceniza (g)	0.371
Volumen total del líquido (ml)	980.0
Masa del material mineral (g)	3.6358
Masa del crisol + ceniza (g)	133.509
Volumen de la alicuota (ml)	100
% Ceniza	0.202524927

REFLUX

Humedad de la mezcla	0.07		
Masa del espécimen de ensayo (g)	1924.5	Masa mezcla Cono 1 (g)	1005.5
Masa de agua	1.3	Masa mezcla Cono 2 (g)	919.0
Masa de filtros (g)	19.5		
Masa de agregado + filtros (g)	1811.1		
Masa del agregado (g)	1791.6		
Masa del agregado + ceniza (g)	1795.2		
% Asfalto sobre la mezcla	6.66	%	
% Asfalto sobre el agregado	7.13	%	

Graduación del Agregado Extraído

Masa seca inicial (g)	1795.2
Masa lavada seca (g)	1690.8

Malla	Malla (mm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasando
1"	25.4				
3/4"	19.0	0	0	0	100
1/2"	12.7	53.1	3.0	3	97
3/8"	9.5	250.9	14.0	17	83
Nº 4	4.75	494.6	27.6	44	56
Nº 8	2.0	336.8	18.8	63	37
Nº 16	1.18	228.3	12.7	76	24
Nº 30	0.6	120.0	6.7	83	17
Nº 50	0.3	91.1	5.1	88	12.3
Nº 200	0.075	115.2	6.4	94	5.8
Charola		0.4	0.0		

Suma total masa (g)	1690.4	
% de variación de masa	0.02	(no debe ser mayor a 0,3%)

M5 Curada

	<u>Máxima Teórica</u>		Contenido de Agua
	Determinación 1	Determinación 2	
Masa del Recipiente (g)	1042.4	1269.1	0.09
Masa del Recipiente + Muestra (g)	2621.7	2821.6	
Masa de la Muestra (g)	1579.3	1552.5	
Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1577.9	1551.1	
Masa del Recipiente + Agua	3335.7	3475.0	
Masa del Recipiente + Agua + Muestra (después de aplicar vacíos) (g)	4272.8	4396.6	
Masa de la Muestra SSS (g)	1580.6	1553.8	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción	2.462	2.464	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) con absorción	2.452	2.453	
PROMEDIO	2.453		

# Pastilla	Masa Seca (g)	Masa SSS (g)	Masa Sumerg. (g)	B-C (g)	% Agua Absorb.	Gbs	Máxima Teórica	% de Vacíos
1	1187.2	1188.3	680.5	507.8	0.22	2.338	2.453	4.7
2	1186.9	1188.8	680.2	508.6	0.37	2.334	2.453	4.9
3	1188.8	1190.4	680.9	509.5	0.31	2.333	2.453	4.9
4	1189.2	1191.1	681.9	509.2	0.37	2.335	2.453	4.8
					PROMEDIO	2.335	2.453	4.8

Resistencia al Flujo Plástico (IE-002) para Especímenes Elaborados en Laboratorio

# Pastilla	Altura (cm)	Volumen cm ³	Lectura Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100 cm)
1	6.39	509.3	-	1.00	2048	30.8
2	6.45	510.1	-	1.00	1871	26.2
3	6.45	511.0	-	1.00	1903	34.8
4	6.44	510.7	-	1.00	1879	34.7
			PROMEDIO	1.00	1925	31.6

Ceniza

Masa del Crisol (g)	135.089
Masa de la ceniza (g)	0.408
Volumen total del líquido (ml)	990.0
Masa del material mineral (g)	4.0392
Masa del crisol + ceniza (g)	135.497
Volumen de la alicuota (ml)	100
% Ceniza	0.237329277

REFLUX

Humedad de la mezcla	0.09		
Masa del espécimen de ensayo (g)	1814.3	Masa mezcla Cono 1 (g)	1000.6
Masa de agua	1.6	Masa mezcla Cono 2 (g)	813.7
Masa de filtros (g)	20.7		
Masa de agregado + filtros (g)	1718.6		
Masa del agregado (g)	1697.9		
Masa del agregado + ceniza (g)	1701.9		
% Asfalto sobre la mezcla	6.11	%	
% Asfalto sobre el agregado	6.51	%	

Graduación del Agregado Extraído

Masa seca inicial (g)	1701.9
Masa lavada seca (g)	1601.1

Malla	Malla (mm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasando
1"	25.4				
3/4"	19.0	0	0	0	100
1/2"	12.7	55.6	3.3	3	97
3/8"	9.5	255.9	15.0	18	82
Nº 4	4.75	466.9	27.4	46	54
Nº 8	2.0	293.9	17.3	63	37
Nº 16	1.18	199.8	11.7	75	25
Nº 30	0.6	120.3	7.1	82	18
Nº 50	0.3	94.7	5.6	87	13
Nº 200	0.075	112.5	6.6	94	6.0
Charola		1.0	0.1		

Suma total masa (g)	1600.6
% de variación de masa	0.03 (no debe ser mayor a 0,3%)

M6 Sin Curar

	<u>Máxima Teórica</u>		Contenido de Agua
	Determinación 1	Determinación 2	
Masa del Recipiente (g)	1041.2	1270.8	0.03
Masa del Recipiente + Muestra (g)	2570.7	2851.0	
Masa de la Muestra (g)	1529.5	1580.2	
Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1529.0	1579.7	
Masa del Recipiente + Agua	3335.7	3475.0	
Masa del Recipiente + Agua + Muestra (después de aplicar vacíos) (g)	4246.0	4414.5	
Masa de la Muestra SSS (g)	1530.5	1581.2	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción	2.471	2.468	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) con absorción	2.465	2.462	
PROMEDIO	2.463		

# Pastilla	Masa Seca (g)	Masa SSS (g)	Masa Sumerg. (g)	B-C (g)	% Agua Absorb.	Gbs	Máxima Teórica	% de Vacíos
1	1189.6	1192.0	688.8	503.2	0.48	2.364	2.463	4.0
2	1187.8	1189.7	686.0	503.7	0.38	2.358	2.463	4.3
3	1192.3	1194.9	690.1	504.8	0.52	2.362	2.463	4.1
4	1191.6	1193.0	688.3	504.7	0.28	2.361	2.463	4.2
PROMEDIO						2.361	2.463	4.1

Resistencia al Flujo Plástico (IE-002) para Especímenes Elaborados en Laboratorio

# Pastilla	Altura (cm)	Volumen cm ³	Lectura Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100 cm)
1	6.45	504.7	-	1.00	1468	31.2
2	6.39	505.2	-	1.00	1456	26.0
3	6.4	506.3	-	1.00	1361	30.0
4	6.42	506.2	-	1.00	1579	27.7
PROMEDIO				1.00	1466	28.7

Ceniza

Masa del Crisol (g)	133.122	
Masa de la ceniza (g)	0.135	
Volumen total del líquido (ml)	910.0	
Masa del material mineral (g)	1.2285	
Masa del crisol + ceniza (g)	133.257	
Volumen de la alicuota (ml)	100	
% Ceniza	0.09	

REFLUX

Humedad de la mezcla	0.03		
Masa del espécimen de ensayo (g)	1440.0	Masa mezcla Cono 1 (g)	1000.0
Masa de agua	0.5	Masa mezcla Cono 2 (g)	440.0
Masa de filtros (g)	19.8		
Masa de agregado + filtros (g)	1370.6		
Masa del agregado (g)	1350.8		
Masa del agregado + ceniza (g)	1352.0		
% Asfalto sobre la mezcla	6.08	%	
% Asfalto sobre el agregado	6.47	%	

Graduación del Agregado Extraído

Masa seca inicial (g)	1352.0
Masa lavada seca (g)	1278.5

Malla	Malla (mm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasando
1"	25.4				
3/4"	19.0	0	0	0	100
1/2"	12.7	58.1	4.3	4	96
3/8"	9.5	166.2	12.3	17	83
Nº 4	4.75	403.8	29.9	46	54
Nº 8	2.0	236.8	17.5	64	36
Nº 16	1.18	156.0	11.5	76	24
Nº 30	0.6	92.8	6.9	82	18
Nº 50	0.3	74.6	5.5	88	12
Nº 200	0.075	88.8	6.6	94	5.5
Charola		0.9	0.1		

Suma total masa (g)	1278.0	
% de variación de masa	0.04	(no debe ser mayor a 0,3%)

M6 Curada

	<u>Máxima Teórica</u>		Contenido de Agua
	Determinación 1	Determinación 2	
Masa del Recipiente (g)	1039.0	1266.8	0.10
Masa del Recipiente + Muestra (g)	2640.6	2867.0	
Masa de la Muestra (g)	1601.6	1600.2	
Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1600.0	1598.7	
Masa del Recipiente + Agua	3335.7	3475.0	
Masa del Recipiente + Agua + Muestra (después de aplicar vacíos) (g)	4292.3	4429.9	
Masa de la Muestra SSS (g)	1602.6	1601.2	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción	2.487	2.483	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) con absorción	2.477	2.474	
PROMEDIO	2.475		

# Pastilla	Masa Seca (g)	Masa SSS (g)	Masa Sumerg. (g)	B-C (g)	% Agua Absorb.	Gbs	Máxima Teórica	% de Vacíos
1	1188.3	1192.4	688.2	504.2	0.81	2.357	2.475	4.8
2	1187.2	1191.6	688.1	503.5	0.87	2.358	2.475	4.7
3	1185.2	1188.3	687.1	501.2	0.62	2.365	2.475	4.5
4	1188.7	1191.5	688.1	503.4	0.56	2.361	2.475	4.6
PROMEDIO						2.360	2.475	4.6

Resistencia al Flujo Plástico (IE-002) para Especímenes Elaborados en Laboratorio

# Pastilla	Altura (cm)	Volumen cm3	Lectura Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100 cm)
1	6.42	505.7	-	1.00	1702	29.8
2	6.38	505.0	-	1.00	1672	25.4
3	6.4	502.7	-	1.00	1875	28.2
4	6.43	504.9	-	1.00	1632	29.0
			PROMEDIO	1.00	1720	28.1

Ceniza

Masa del Crisol (g)	135.086
Masa de la ceniza (g)	0.212
Volumen total del líquido (ml)	900.0
Masa del material mineral (g)	1.91
Masa del crisol + ceniza (g)	135.298
Volumen de la alicuota (ml)	100
% Ceniza	0.11

REFLUX

Humedad de la mezcla	0.10		
Masa del espécimen de ensayo (g)	1801.1	Masa mezcla Cono 1 (g)	1001.6
Masa de agua	1.7	Masa mezcla Cono 2 (g)	799.5
Masa de filtros (g)	19.1		
Masa de agregado + filtros (g)	1710.1		
Masa del agregado (g)	1691.0		
Masa del agregado + ceniza (g)	1692.9		
% Asfalto sobre la mezcla	5.92	%	
% Asfalto sobre el agregado	6.29	%	

Graduación del Agregado Extraído

Masa seca inicial (g)	1692.9
Masa lavada seca (g)	1595.4

Malla	Malla (mm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasando
1"	25.4				
3/4"	19.0	0	0	0	100
1/2"	12.7	54.6	3.2	3	97
3/8"	9.5	248.8	14.7	18	82
Nº 4	4.75	472.2	27.9	46	54
Nº 8	2.0	308.8	18.2	64	36
Nº 16	1.18	196.7	11.6	76	24
Nº 30	0.6	115.9	6.8	83	17
Nº 50	0.3	92.7	5.5	88	12
Nº 200	0.075	104.2	6.2	94	5.8
Charola		1.1	0.1		

Suma total masa (g)	1595.0
% de variación de masa	0.02 (no debe ser mayor a 0,3%)

M7 Sin Curar

	<u>Máxima Teórica</u>		Contenido de Agua
	Determinación 1	Determinación 2	
Masa del Recipiente (g)	1040.5	1267.4	0.22
Masa del Recipiente + Muestra (g)	2562.1	2809.5	
Masa de la Muestra (g)	1521.6	1542.1	
Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1518.2	1538.6	
Masa del Recipiente + Agua	3335.7	3475.0	
Masa del Recipiente + Agua + Muestra (después de aplicar vacíos) (g)	4241.5	4392.7	
Masa de la Muestra SSS (g)	1523.0	1543.5	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción	2.479	2.478	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) con absorción	2.460	2.459	
PROMEDIO	2.459		

# Pastilla	Masa Seca (g)	Masa SSS (g)	Masa Sumerg. (g)	B-C (g)	% Agua Absorb.	Gbs	Máxima Teórica	% de Vacíos
1	1189.3	1192.7	690.5	502.2	0.68	2.368	2.459	3.7
2	1187.4	1189.6	687.7	501.9	0.44	2.366	2.459	3.8
3	1191.4	1193.7	691.6	502.1	0.46	2.373	2.459	3.5
PROMEDIO						2.369	2.459	3.672

Resistencia al Flujo Plástico (IE-002) para Especímenes Elaborados en Laboratorio

# Pastilla	Altura (cm)	Volumen cm3	Lectura Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100 cm)
1	6.43	503.7	-	1.00	1381	32.6
2	6.44	503.4	-	1.00	1393	31
3	6.39	503.6	-	1.00	1281	34.0
PROMEDIO				1.00	1351.67	32.53

Ceniza

Masa del Crisol (g)	133.093
Masa de la ceniza (g)	0.196
Volumen total del líquido (ml)	940.0
Masa del material mineral (g)	1.84
Masa del crisol + ceniza (g)	133.289
Volumen de la alicuota (ml)	100
% Ceniza	0.13

REFLUX

Humedad de la mezcla	0.22		
Masa del espécimen de ensayo (g)	1538.6	Masa mezcla Cono 1 (g)	996.5
Masa de agua	3.4	Masa mezcla Cono 2 (g)	542.1
Masa de filtros (g)	20.2		
Masa de agregado + filtros (g)	1456.4		
Masa del agregado (g)	1436.2		
Masa del agregado + ceniza (g)	1438.0		
% Asfalto sobre la mezcla	6.33	%	
% Asfalto sobre el agregado	6.75	%	

Graduación del Agregado Extraído

Masa seca inicial (g)	1438.0
Masa lavada seca (g)	1346.9

Malla	Malla (mm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasando
1"	25.4				
3/4"	19.0	0	0	0	100
1/2"	12.7	44.2	3.1	3	97
3/8"	9.5	136.4	9.5	13	87
Nº 4	4.75	407.1	28.3	41	59
Nº 8	2.0	265.8	18.5	59	41
Nº 16	1.18	183.9	12.8	72	28
Nº 30	0.6	109.8	7.6	80	20
Nº 50	0.3	86.9	6.0	86	14
Nº 200	0.075	110.9	7.7	94	6.5
Charola		1.7	0.1		

Suma total masa (g)	1346.7
% de variación de masa	0.01 (no debe ser mayor a 0,3%)

M7 Curada

	<u>Máxima Teórica</u>		Contenido de Agua
	Determinación 1	Determinación 2	
Masa del Recipiente (g)	1039.9	1268.0	0.26
Masa del Recipiente + Muestra (g)	2637.4	2863.0	
Masa de la Muestra (g)	1597.5	1595.0	
Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1593.3	1590.8	
Masa del Recipiente + Agua	3335.7	3475.0	
Masa del Recipiente + Agua + Muestra (después de aplicar vacíos) (g)	4289.8	4426.9	
Masa de la Muestra SSS (g)	1598.6	1596.1	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción	2.493	2.490	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) con absorción	2.472	2.469	
PROMEDIO	2.471		

# Pastilla	Masa Seca (g)	Masa SSS (g)	Masa Sumerg. (g)	B-C (g)	% Agua Absorb.	Gbs	Máxima Teórica	% de Vacíos
1	1191.2	1193.6	690.7	502.9	0.48	2.369	2.471	4.1
2	1187.1	1189.6	688.6	501	0.50	2.369	2.471	4.1
3	1186.9	1189.5	687.9	501.6	0.52	2.366	2.471	4.2
4	1188.6	1191.3	688.7	502.6	0.54	2.365	2.471	4.3
PROMEDIO						2.368	2.471	4.2

Resistencia al Flujo Plástico (IE-002) para Especímenes Elaborados en Laboratorio

# Pastilla	Altura (cm)	Volumen cm ³	Lectura Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100 cm)
1	6.47	504.4	-	1.00	2094	34.8
2	6.46	502.5	-	1.00	1795	25.4
3	6.44	503.1	-	1.00	1889	30.9
4	6.47	504.1	-	1.00	1869	37.1
PROMEDIO				1.00	1912	32.1

Ceniza

Masa del Crisol (g)	133.122
Masa de la ceniza (g)	0.328
Volumen total del líquido (ml)	920.0
Masa del material mineral (g)	3.02
Masa del crisol + ceniza (g)	133.45
Volumen de la alicuota (ml)	100
% Ceniza	0.19

REFLUX

Humedad de la mezcla	0.26		
Masa del espécimen de ensayo (g)	1736.2	Masa mezcla Cono 1 (g)	1005.4
Masa de agua	4.6	Masa mezcla Cono 2 (g)	730.8
Masa de filtros (g)	20.3		
Masa de agregado + filtros (g)	1643.5		
Masa del agregado (g)	1623.2		
Masa del agregado + ceniza (g)	1626.2		
% Asfalto sobre la mezcla	6.09	%	
% Asfalto sobre el agregado	6.48	%	

Graduación del Agregado Extraído

Masa seca inicial (g)	1626.2
Masa lavada seca (g)	1520.4

Malla	Malla (mm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasando
1"	25.4				
3/4"	19.0	0	0	0	100
1/2"	12.7	32.1	2.0	2	98
3/8"	9.5	170.2	10.5	12	88
Nº 4	4.75	441.6	27.2	40	60
Nº 8	2.0	305.5	18.8	58	42
Nº 16	1.18	219.2	13.5	72	28
Nº 30	0.6	130.3	8.0	80	20
Nº 50	0.3	100.2	6.2	86	14
Nº 200	0.075	119.7	7.4	93	6.6
Charola		1.1	0.1		

Suma total masa (g)	1519.9	
% de variación de masa	0.03	(no debe ser mayor a 0,3%)

M8 Sin Curar

	<u>Máxima Teórica</u>		Contenido de Agua
	Determinación 1	Determinación 2	
Masa del Recipiente (g)	1042.0	1268.9	0.03
Masa del Recipiente + Muestra (g)	2548.2	2780.3	
Masa de la Muestra (g)	1506.2	1511.4	
Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1505.7	1510.9	
Masa del Recipiente + Agua	3335.7	3475.0	
Masa del Recipiente + Agua + Muestra (después de aplicar vacíos) (g)	4230.5	4372.4	
Masa de la Muestra SSS (g)	1507.6	1512.8	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción	2.465	2.463	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) con absorción	2.457	2.455	
PROMEDIO	2.456		

# Pastilla	Masa Seca (g)	Masa SSS (g)	Masa Sumerg. (g)	B-C (g)	% Agua Absorb.	Gbs	Máxima Teórica	% de Vacíos
1	1192.0	1193.0	688.4	504.6	0.20	2.362	2.456	3.8
2	1190.0	1191.1	687.9	503.2	0.22	2.365	2.456	3.7
3	1185.7	1186.9	685.2	501.7	0.24	2.363	2.456	3.8
4	1189.1	1191.8	688.1	503.7	0.54	2.361	2.456	3.9
PROMEDIO						2.363	2.456	3.8

Resistencia al Flujo Plástico (IE-002) para Especímenes Elaborados en Laboratorio

# Pastilla	Altura (cm)	Volumen cm3	Lectura Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100 cm)
1	6.47	506.1	-	1.00	1358	27.2
2	6.45	504.7	-	1.00	1508	28.6
3	6.46	503.2	-	1.00	1358	31.7
4	6.43	505.2	-	1.00	1437	31.0
PROMEDIO				1.00	1415	29.6

Ceniza

Masa del Crisol (g)	132.935
Masa de la ceniza (g)	0.205
Volumen total del líquido (ml)	940.0
Masa del material mineral (g)	1.93
Masa del crisol + ceniza (g)	133.14
Volumen de la alicuota (ml)	100
% Ceniza	0.105

REFLUX

Humedad de la mezcla	0.03		
Masa del espécimen de ensayo (g)	1951.6	Masa mezcla Cono 1 (g)	1008.7
Masa de agua	0.6	Masa mezcla Cono 2 (g)	942.9
Masa de filtros (g)	20.7		
Masa de agregado + filtros (g)	1847.2		
Masa del agregado (g)	1826.5		
Masa del agregado + ceniza (g)	1828.4		
% Asfalto sobre la mezcla	6.28	%	
% Asfalto sobre el agregado	6.70	%	

Graduación del Agregado Extraído

Masa seca inicial (g)	1828.4
Masa lavada seca (g)	1729.6

Malla	Malla (mm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasando
1"	25.4				
3/4"	19.0	0	0	0	100
1/2"	12.7	51.9	2.8	3	97
3/8"	9.5	267.1	14.6	17	83
Nº 4	4.75	488.3	26.7	44	56
Nº 8	2.0	334.4	18.3	62	38
Nº 16	1.18	219.5	12.0	74	26
Nº 30	0.6	133.4	7.3	82	18
Nº 50	0.3	107.0	5.9	88	12
Nº 200	0.075	124.5	6.8	94	5.5
Charola		1.5	0.1		

Suma total masa (g)	1727.6
% de variación de masa	0.1 (no debe ser mayor a 0,3%)

M8 Curada

	<u>Máxima Teórica</u>		Contenido de Agua
	Determinación 1	Determinación 2	
Masa del Recipiente (g)	1043.2	1269.8	0.08
Masa del Recipiente + Muestra (g)	2622.8	2853.5	
Masa de la Muestra (g)	1579.6	1583.7	
Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1578.4	1582.5	
Masa del Recipiente + Agua	3335.7	3475.0	
Masa del Recipiente + Agua + Muestra (después de aplicar vacíos) (g)	4277.6	4420.4	
Masa de la Muestra SSS (g)	1580.4	1584.5	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción	2.480	2.484	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) con absorción	2.472	2.476	
PROMEDIO	2.474		

# Pastilla	Masa Seca (g)	Masa SSS (g)	Masa Sumerg. (g)	B-C (g)	% Agua Absorb.	Gbs	Máxima Teórica	% de Vacíos
1	1183.1	1185.5	683.8	501.7	0.48	2.358	2.474	4.7
2	1183.4	1184.7	681.6	503.1	0.26	2.352	2.474	4.9
3	1186.4	1188.0	687.3	500.7	0.32	2.369	2.474	4.2
4	1183.1	1185.4	684.2	501.2	0.46	2.361	2.474	4.6
					PROMEDIO	2.360	2.474	4.6

Resistencia al Flujo Plástico (IE-002) para Especímenes Elaborados en Laboratorio

# Pastilla	Altura (cm)	Volumen cm ³	Lectura Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100 cm)
1	6.46	503.2	-	1.00	1712	31.5
2	6.42	504.6	-	1.00	1586	28.9
3	6.44	502.2	-	1.00	1600	32.4
4	6.45	502.7	-	1.00	1715	30.4
			PROMEDIO	1.00	1653	30.8

Ceniza

Masa del Crisol (g)	132.899
Masa de la ceniza (g)	0.319
Volumen total del líquido (ml)	960.0
Masa del material mineral (g)	3.06
Masa del crisol + ceniza (g)	133.218
Volumen de la alicuota (ml)	100
% Ceniza	0.189

REFLUX

Humedad de la mezcla	0.08		
Masa del espécimen de ensayo (g)	1721.5	Masa mezcla Cono 1 (g)	1048
Masa de agua	1.3	Masa mezcla Cono 2 (g)	673.5
Masa de filtros (g)	21.1		
Masa de agregado + filtros (g)	1636.4		
Masa del agregado (g)	1615.3		
Masa del agregado + ceniza (g)	1618.4		
% Asfalto sobre la mezcla	5.92	%	
% Asfalto sobre el agregado	6.29	%	

Graduación del Agregado Extraído

Masa seca inicial (g)	1618.4
Masa lavada seca (g)	1523.6

Malla	Malla (mm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasando
1"	25.4				
3/4"	19.0	0	0	0	100
1/2"	12.7	25.4	1.6	2	98
3/8"	9.5	220.3	13.6	15	85
Nº 4	4.75	500.9	31.0	46	54
Nº 8	2.0	300.8	18.6	65	35
Nº 16	1.18	166.3	10.3	75	25
Nº 30	0.6	105.7	6.5	82	18
Nº 50	0.3	89.7	5.5	87	13
Nº 200	0.075	113.1	7.0	94	5.9
Charola		1.2	0.1		

Suma total masa (g)	1523.4	
% de variación de masa	0.01	(no debe ser mayor a 0,3%)

M9 Sin Cura

	<u>Máxima Teórica</u>		Contenido de Agua
	Determinación 1	Determinación 2	
Masa del Recipiente (g)	1039.6	1267.5	0.29
Masa del Recipiente + Muestra (g)	2551.2	2814.7	
Masa de la Muestra (g)	1511.6	1547.2	
Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1507.3	1542.8	
Masa del Recipiente + Agua	3335.7	3475.0	
Masa del Recipiente + Agua + Muestra (después de aplicar vacíos) (g)	4231.3	4392.7	
Masa de la Muestra SSS (g)	1512.8	1548.4	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción	2.464	2.468	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) con absorción	2.442	2.446	
PROMEDIO	2.444		

# Pastilla	Masa Seca (g)	Masa SSS (g)	Masa Sumerg. (g)	B-C (g)	% Agua Absorb.	Gbs	Máxima Teórica	% de Vacíos
1	1188.6	1190.3	681.5	508.8	0.33	2.336	2.444	4.4
2	1189.9	1192.3	684.6	507.7	0.47	2.344	2.444	4.1
3	1191.8	1195.0	684.2	510.8	0.63	2.333	2.444	4.5
4	1190.5	1192.2	681.9	510.3	0.33	2.333	2.444	4.5
					PROMEDIO	2.338	2.444	4.4

Resistencia al Flujo Plástico (IE-002) para Especímenes Elaborados en Laboratorio

# Pastilla	Altura (cm)	Volumen cm ³	Lectura Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100 cm)
1	6.45	510.3	-	1.00	1329	25.5
2	6.45	509.2	-	1.00	1714	27.9
3	6.44	512.3	-	1.00	1353	28.4
4	6.46	511.8	-	1.00	1426	30.9
			PROMEDIO	1.00	1456	28.2

Ceniza

Masa del Crisol (g)	134.995
Masa de la ceniza (g)	0.235
Volumen total del líquido (ml)	980.0
Masa del material mineral (g)	2.30
Masa del crisol + ceniza (g)	135.23
Volumen de la alicuota (ml)	100
% Ceniza	0.13

REFLUX

Humedad de la mezcla	0.29		
Masa del espécimen de ensayo (g)	1869.5	Masa mezcla Cono 1 (g)	1015.4
Masa de agua	5.4	Masa mezcla Cono 2 (g)	854.1
Masa de filtros (g)	20.7		
Masa de agregado + filtros (g)	1770.2		
Masa del agregado (g)	1749.5		
Masa del agregado + ceniza (g)	1751.8		
% Asfalto sobre la mezcla	6.03	%	
% Asfalto sobre el agregado	6.41	%	

Graduación del Agregado Extraído

Masa seca inicial (g)	1751.8
Masa lavada seca (g)	1656.6

Malla	Malla (mm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasando
1"	25.4				
3/4"	19.0	0	0	0	100
1/2"	12.7	40	2.3	2	98
3/8"	9.5	230.5	13.2	15	85
Nº 4	4.75	528.7	30.2	46	54
Nº 8	2.0	336.7	19.2	65	35
Nº 16	1.18	197.7	11.3	76	24
Nº 30	0.6	116.4	6.6	83	17
Nº 50	0.3	97.6	5.6	88	12
Nº 200	0.075	107.4	6.1	94	5.5
Charola		1.2	0.1		

Suma total masa (g)	1656.2
% de variación de masa	0.02 (no debe ser mayor a 0,3%)

M9 Curada

	<u>Máxima Teórica</u>		Contenido de Agua
	Determinación 1	Determinación 2	
Masa del Recipiente (g)	1039.3	1267.1	0.07
Masa del Recipiente + Muestra (g)	2565.3	2799.8	
Masa de la Muestra (g)	1526.0	1532.7	
Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1524.9	1531.6	
Masa del Recipiente + Agua	3335.7	3475.0	
Masa del Recipiente + Agua + Muestra (después de aplicar vacíos) (g)	4245.1	4387.3	
Masa de la Muestra SSS (g)	1527.3	1534.0	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción	2.477	2.473	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) con absorción	2.468	2.464	
PROMEDIO	2.466		

# Pastilla	Masa Seca (g)	Masa SSS (g)	Masa Sumerg. (g)	B-C (g)	% Agua Absorb.	Gbs	Máxima Teórica	% de Vacíos
1	1181.7	1184.3	681.0	503.3	0.52	2.348	2.466	4.8
2	1184.1	1191.7	689.8	501.9	1.51	2.359	2.466	4.3
3	1181.8	1186.8	683.7	503.1	0.99	2.349	2.466	4.7
4	1184.7	1188.3	686.8	501.5	0.72	2.362	2.466	4.2
					PROMEDIO	2.352	2.466	4.6

Resistencia al Flujo Plástico (IE-002) para Especímenes Elaborados en Laboratorio

# Pastilla	Altura (cm)	Volumen cm ³	Lectura Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100 cm)
1	6.46	504.8	-	1.00	1761	25.9
2	6.47	503.4	-	1.00	1691	38.5
3	6.45	504.6	-	1.00	1691	33.6
4	6.46	503.0	-	1.00	1775	28.5
			PROMEDIO	1.00	1730	31.6

Ceniza

Masa del Crisol (g)	134.98	
Masa de la ceniza (g)	0.247	
Volumen total del líquido (ml)	920.0	
Masa del material mineral (g)	2.27	
Masa del crisol + ceniza (g)	135.227	
Volumen de la alicuota (ml)	100	
% Ceniza	0.14	

REFLUX

Humedad de la mezcla	0.07		
Masa del espécimen de ensayo (g)	1756.9	Masa mezcla Cono 1 (g)	1014.5
Masa de agua	1.2	Masa mezcla Cono 2 (g)	742.4
Masa de filtros (g)	20.7		
Masa de agregado + filtros (g)	1670.4		
Masa del agregado (g)	1649.7		
Masa del agregado + ceniza (g)	1652.0		
% Asfalto sobre la mezcla	5.91	%	
% Asfalto sobre el agregado	6.28	%	

Graduación del Agregado Extraído

Masa seca inicial (g)	1652.0
Masa lavada seca (g)	1559.7

Malla	Malla (mm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasando
1"	25.4				
3/4"	19.0	0	0	0	100
1/2"	12.7	53.3	3.2	3	97
3/8"	9.5	242.5	14.7	18	82
Nº 4	4.75	484.4	29.3	47	53
Nº 8	2.0	290.2	17.6	65	35
Nº 16	1.18	182.2	11.0	76	24
Nº 30	0.6	108.5	6.6	82	18
Nº 50	0.3	89.7	5.4	88	12
Nº 200	0.075	106.9	6.5	94	5.7
Charola		1.5	0.1		

Suma total masa (g)	1559.2	
% de variación de masa	0.03	(no debe ser mayor a 0,3%)

M10 Sin Curar

	<u>Máxima Teórica</u>		Contenido de Agua
	Determinación 1	Determinación 2	
Masa del Recipiente (g)	1039.4	1267.2	0.20
Masa del Recipiente + Muestra (g)	2548.3	2778.6	
Masa de la Muestra (g)	1508.9	1511.4	
Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1505.9	1508.4	
Masa del Recipiente + Agua	3335.7	3475.0	
Masa del Recipiente + Agua + Muestra (después de aplicar vacíos) (g)	4233.6	4374.3	
Masa de la Muestra SSS (g)	1509.4	1511.9	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción	2.477	2.476	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) con absorción	2.463	2.462	
PROMEDIO	2.462		

# Pastilla	Masa Seca (g)	Masa SSS (g)	Masa Sumerg. (g)	B-C (g)	% Agua Absorb.	Gbs	Máxima Teórica	% de Vacíos
1	1187.5	1189.5	684.2	505.3	0.40	2.350	2.462	4.6
2	1187.0	1188.9	682.8	506.1	0.38	2.345	2.462	4.8
3	1191.5	1194.3	686.4	507.9	0.55	2.346	2.462	4.7
4	1185.5	1190.8	684.9	505.9	1.05	2.343	2.462	4.8
					PROMEDIO	2.347	2.462	4.7

Resistencia al Flujo Plástico (IE-002) para Especímenes Elaborados en Laboratorio

# Pastilla	Altura (cm)	Volumen cm ³	Lectura Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100 cm)
1	6.45	506.8	-	1.00	1684	31.9
2	6.47	507.6	-	1.00	1638	25.6
3	6.46	509.4	-	1.00	1696	26.6
4	6.45	507.4	-	1.00	1610	29.3
			PROMEDIO	1.00	1657	28.4

Ceniza

Masa del Crisol (g)	132.914
Masa de la ceniza (g)	0.286
Volumen total del líquido (ml)	980.0
Masa del material mineral (g)	2.80
Masa del crisol + ceniza (g)	133.2
Volumen de la alicuota (ml)	100
% Ceniza	0.21

REFLUX

Humedad de la mezcla	0.20		
Masa del espécimen de ensayo (g)	1422.2	Masa mezcla Cono 1 (g)	940.1
Masa de agua	2.8	Masa mezcla Cono 2 (g)	482.1
Masa de filtros (g)	20.7		
Masa de agregado + filtros (g)	1355.0		
Masa del agregado (g)	1334.3		
Masa del agregado + ceniza (g)	1337.1		
% Asfalto sobre la mezcla	5.80	%	
% Asfalto sobre el agregado	6.15	%	

Graduación del Agregado Extraído

Masa seca inicial (g)	1337.1
Masa lavada seca (g)	1259.9

Malla	Malla (mm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasando
1"	25.4				
3/4"	19.0	0	0	0	100
1/2"	12.7	55.3	4.1	4	96
3/8"	9.5	153.3	11.5	16	84
Nº 4	4.75	407.7	30.5	46	54
Nº 8	2.0	234.8	17.6	64	36
Nº 16	1.18	160.1	12.0	76	24
Nº 30	0.6	95.5	7.1	83	17
Nº 50	0.3	73.3	5.5	88	12
Nº 200	0.075	78.3	5.9	94	5.9
Charola		1.3	0.1		

Suma total masa (g)	1259.6	
% de variación de masa	0.02	(no debe ser mayor a 0,3%)

M10 Curada

	<u>Máxima Teórica</u>		Contenido de Agua
	Determinación 1	Determinación 2	
Masa del Recipiente (g)	1039.3	1267.3	0.05
Masa del Recipiente + Muestra (g)	2608.6	2856.4	
Masa de la Muestra (g)	1569.3	1589.1	
Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1568.6	1588.4	
Masa del Recipiente + Agua	3335.7	3475.0	
Masa del Recipiente + Agua + Muestra (después de aplicar vacíos) (g)	4272.7	4423.3	
Masa de la Muestra SSS (g)	1570.4	1590.2	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción	2.484	2.482	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) con absorción	2.476	2.474	
PROMEDIO	2.475		

# Pastilla	Masa Seca (g)	Masa SSS (g)	Masa Sumerg. (g)	B-C (g)	% Agua Absorb.	Gbs	Máxima Teórica	% de Vacíos
1	1183.6	1186.1	683.1	503	0.50	2.353	2.475	4.9
2	1184.0	1188.4	686.0	502.4	0.88	2.357	2.475	4.8
3	1186.1	1189.4	686.1	503.3	0.66	2.357	2.475	4.8
4	1186.5	1189.4	687.2	502.2	0.58	2.363	2.475	4.6
					PROMEDIO	2.355	2.475	4.8

Resistencia al Flujo Plástico (IE-002) para Especímenes Elaborados en Laboratorio

# Pastilla	Altura (cm)	Volumen cm3	Lectura Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100 cm)
1	6.46	504.5	-	1.04	2077	30.6
2	6.47	503.9	-	1.04	1931	28.0
3	6.45	504.8	-	1.04	2010	32.7
4	6.46	503.7	-	1.04	2010	25.8
			PROMEDIO	1.04	2007	29.3

Ceniza

Masa del Crisol (g)	134.96
Masa de la ceniza (g)	0.128
Volumen total del líquido (ml)	980.0
Masa del material mineral (g)	1.25
Masa del crisol + ceniza (g)	135.088
Volumen de la alicuota (ml)	100
% Ceniza	0.07

REFLUX

Humedad de la mezcla	0.05		
Masa del espécimen de ensayo (g)	1799.5	Masa mezcla Cono 1 (g)	1046.3
Masa de agua	0.8	Masa mezcla Cono 2 (g)	753.2
Masa de filtros (g)	20.9		
Masa de agregado + filtros (g)	1714.6		
Masa del agregado (g)	1693.7		
Masa del agregado + ceniza (g)	1695.0		
% Asfalto sobre la mezcla	5.77	%	
% Asfalto sobre el agregado	6.12	%	

Graduación del Agregado Extraído

Masa seca inicial (g)	1695.0
Masa lavada seca (g)	1602.8

Malla	Malla (mm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasando
1"	25.4				
3/4"	19.0	0	0	0	100
1/2"	12.7	28.4	1.7	2	98
3/8"	9.5	239.2	14.1	16	84
Nº 4	4.75	526.5	31.1	47	53
Nº 8	2.0	310.3	18.3	65	35
Nº 16	1.18	187.9	11.1	76	24
Nº 30	0.6	116.5	6.9	83	17
Nº 50	0.3	90.5	5.3	88	12
Nº 200	0.075	102.2	6.0	94	5.5
Charola		0.8	0.0		

Suma total masa (g)	1602.3	
% de variación de masa	0.03	(no debe ser mayor a 0,3%)

M11 Sin Cura

	<u>Máxima Teórica</u>		Contenido de Agua
	Determinación 1	Determinación 2	
Masa del Recipiente (g)	1039.2	1267.2	0.18
Masa del Recipiente + Muestra (g)	2553.5	2823.9	
Masa de la Muestra (g)	1514.3	1556.7	
Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1511.6	1553.9	
Masa del Recipiente + Agua	3335.7	3475.0	
Masa del Recipiente + Agua + Muestra (después de aplicar vacíos) (g)	4236.6	4402.5	
Masa de la Muestra SSS (g)	1514.9	1557.3	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción	2.475	2.481	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) con absorción	2.462	2.467	
PROMEDIO	2.465		

# Pastilla	Masa Seca (g)	Masa SSS (g)	Masa Sumerg. (g)	B-C (g)	% Agua Absorb.	Gbs	Máxima Teórica	% de Vacíos
1	1193.8	1197.6	692.8	504.8	0.75	2.365	2.465	4.0
2	1191.0	1195.6	692.3	503.3	0.91	2.366	2.465	4.0
3	1190.9	1194.5	689.6	504.9	0.71	2.359	2.465	4.3
4	1188.3	1191.4	688.2	503.2	0.62	2.361	2.465	4.2
					PROMEDIO	2.363	2.465	4.1

Resistencia al Flujo Plástico (IE-002) para Especímenes Elaborados en Laboratorio

# Pastilla	Altura (cm)	Volumen cm3	Lectura Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100 cm)
1	6.46	506.3	-	1.00	1639	33.2
2	6.45	504.8	-	1.00	1692	29.8
3	6.46	506.4	-	1.00	1625	32.5
4	6.42	504.7	-	1.00	1703	29.7
			PROMEDIO	1.00	1665	31.3

Ceniza

Masa del Crisol (g)	135.086
Masa de la ceniza (g)	0.301
Volumen total del líquido (ml)	940.0
Masa del material mineral (g)	2.83
Masa del crisol + ceniza (g)	135.387
Volumen de la alicuota (ml)	100
% Ceniza	0.16

REFLUX

Humedad de la mezcla	0.18		
Masa del espécimen de ensayo (g)	1842.5	Masa mezcla Cono 1 (g)	1012.4
Masa de agua	3.3	Masa mezcla Cono 2 (g)	830.1
Masa de filtros (g)	20.2		
Masa de agregado + filtros (g)	1744.8		
Masa del agregado (g)	1724.6		
Masa del agregado + ceniza (g)	1727.4		
% Asfalto sobre la mezcla	6.08	%	
% Asfalto sobre el agregado	6.47	%	

Graduación del Agregado Extraído

Masa seca inicial (g)	1727.4
Masa lavada seca (g)	1628.4

Malla	Malla (mm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasando
1"	25.4				
3/4"	19.0	0	0	0	100
1/2"	12.7	75.4	4.4	4	96
3/8"	9.5	185.6	10.7	15	85
Nº 4	4.75	532.1	30.8	46	54
Nº 8	2.0	312.9	18.1	64	36
Nº 16	1.18	193.0	11.2	75	25
Nº 30	0.6	128.9	7.5	83	17
Nº 50	0.3	80.2	4.6	87	13
Nº 200	0.075	119.0	6.9	94	5.8
Charola		1.2	0.1		

Suma total masa (g)	1628.3	
% de variación de masa	0.01	(no debe ser mayor a 0,3%)

M11 Curada

	<u>Máxima Teórica</u>		Contenido de Agua
	Determinación 1	Determinación 2	
Masa del Recipiente (g)	1039.6	1267.7	0.04
Masa del Recipiente + Muestra (g)	2617.6	2856.6	
Masa de la Muestra (g)	1578.0	1588.9	
Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)	1577.4	1588.3	
Masa del Recipiente + Agua	3335.7	3475.0	
Masa del Recipiente + Agua + Muestra (después de aplicar vacíos) (g)	4279.7	4422.5	
Masa de la Muestra SSS (g)	1579.2	1590.1	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción	2.490	2.479	
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) con absorción	2.483	2.472	
PROMEDIO	2.477		

# Pastilla	Masa Seca (g)	Masa SSS (g)	Masa Sumerg. (g)	B-C (g)	% Agua Absorb.	Gbs	Máxima Teórica	% de Vacíos
1	1184.7	1187.0	686.7	500.3	0.46	2.368	2.477	4.4
2	1184.6	1190.2	689.1	501.1	1.12	2.364	2.477	4.6
3	1185.1	1189.7	687.6	502.1	0.92	2.360	2.477	4.7
4	1183.5	1185.9	686.1	499.8	0.48	2.368	2.477	4.4
PROMEDIO						2.364	2.477	4.5

Resistencia al Flujo Plástico (IE-002) para Especímenes Elaborados en Laboratorio

# Pastilla	Altura (cm)	Volumen cm3	Lectura Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100 cm)
1	6.42	501.8	-	1.04	1898	26.1
2	6.44	502.6	-	1.04	1834	32.6
3	6.46	503.6	-	1.04	1931	27.8
4	6.45	501.3	-	1.04	2062	25.1
			PROMEDIO	1.04	1931	27.9

Ceniza

Masa del Crisol (g)	135.101	
Masa de la ceniza (g)	0.339	
Volumen total del líquido (ml)	920.0	
Masa del material mineral (g)	3.12	
Masa del crisol + ceniza (g)	135.44	
Volumen de la alicuota (ml)	100	
% Ceniza	0.189	

REFLUX

Humedad de la mezcla	0.04		
Masa del espécimen de ensayo (g)	1755.9	Masa mezcla Cono 1 (g)	998.6
Masa de agua	0.7	Masa mezcla Cono 2 (g)	757.3
Masa de filtros (g)	20.5		
Masa de agregado + filtros (g)	1668.7		
Masa del agregado (g)	1648.2		
Masa del agregado + ceniza (g)	1651.3		
% Asfalto sobre la mezcla	5.92	%	
% Asfalto sobre el agregado	6.29	%	

Graduación del Agregado Extraído

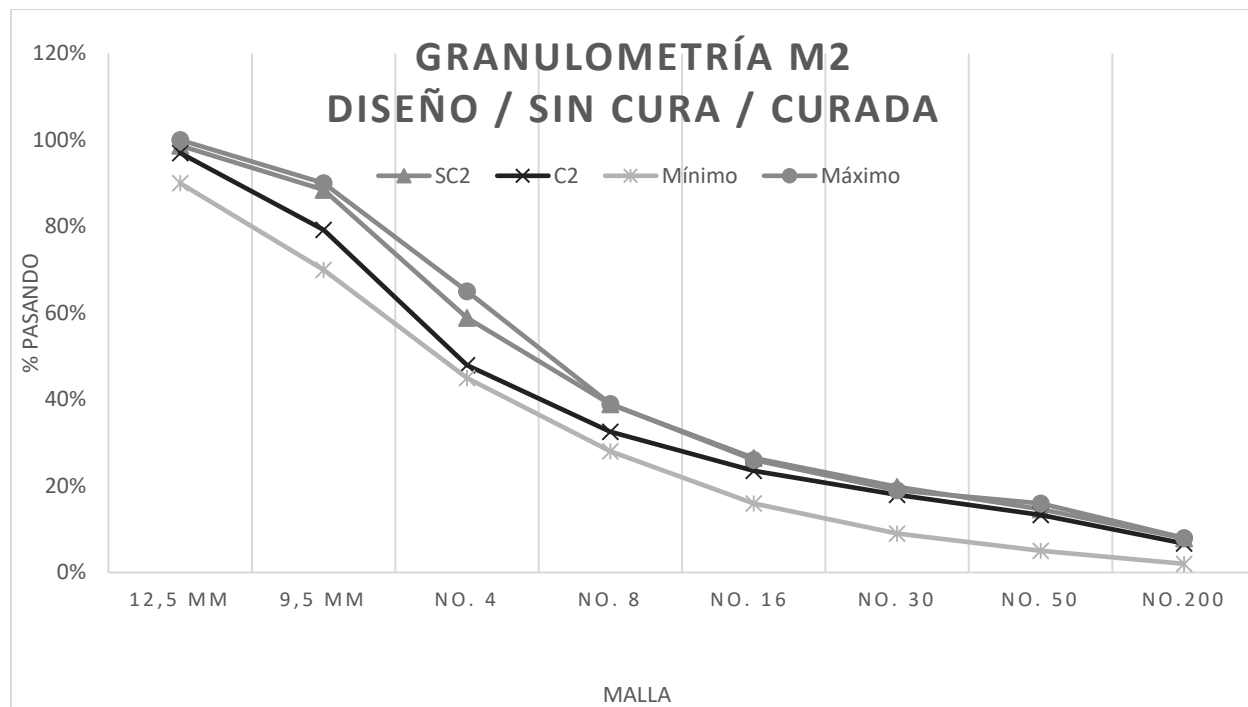
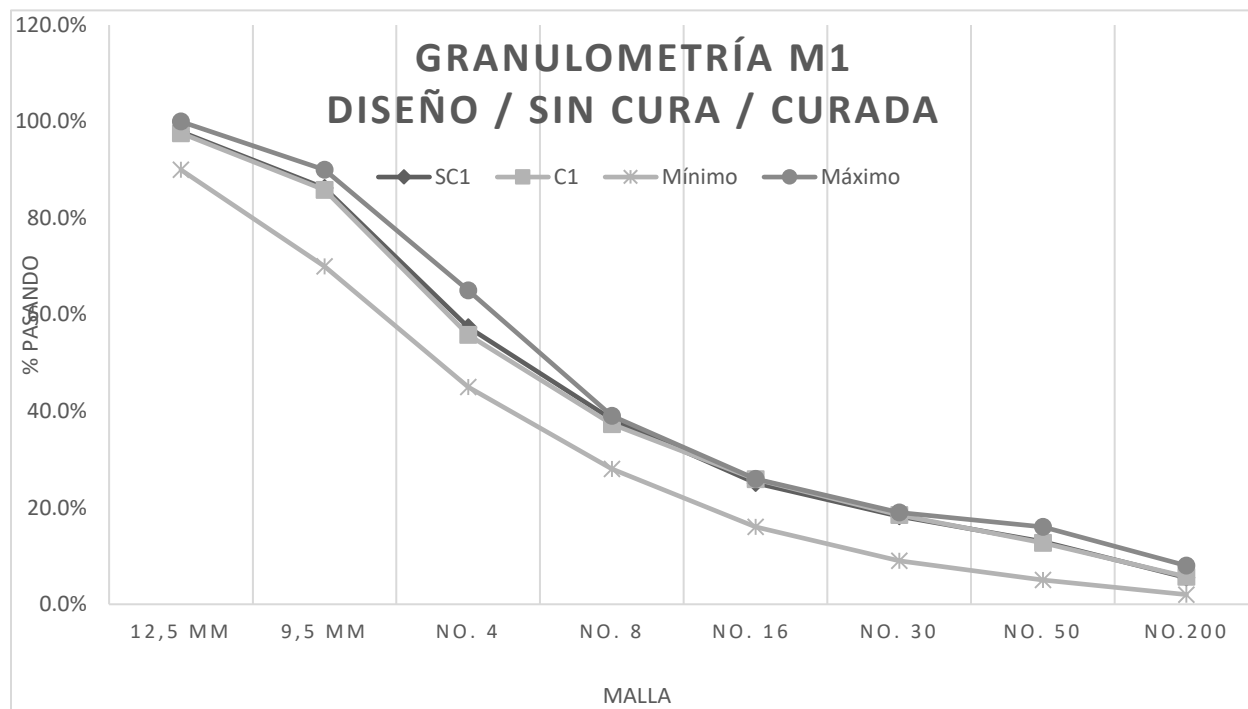
Masa seca inicial (g)	1651.3
Masa lavada seca (g)	1559.1

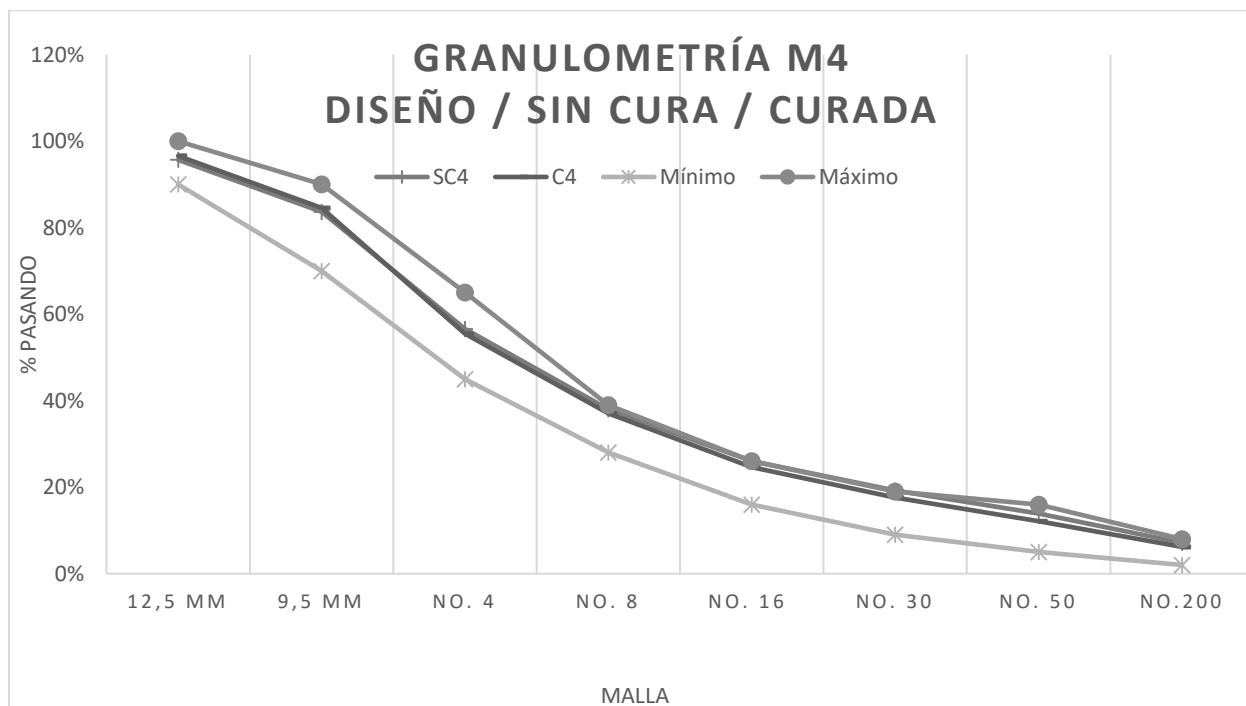
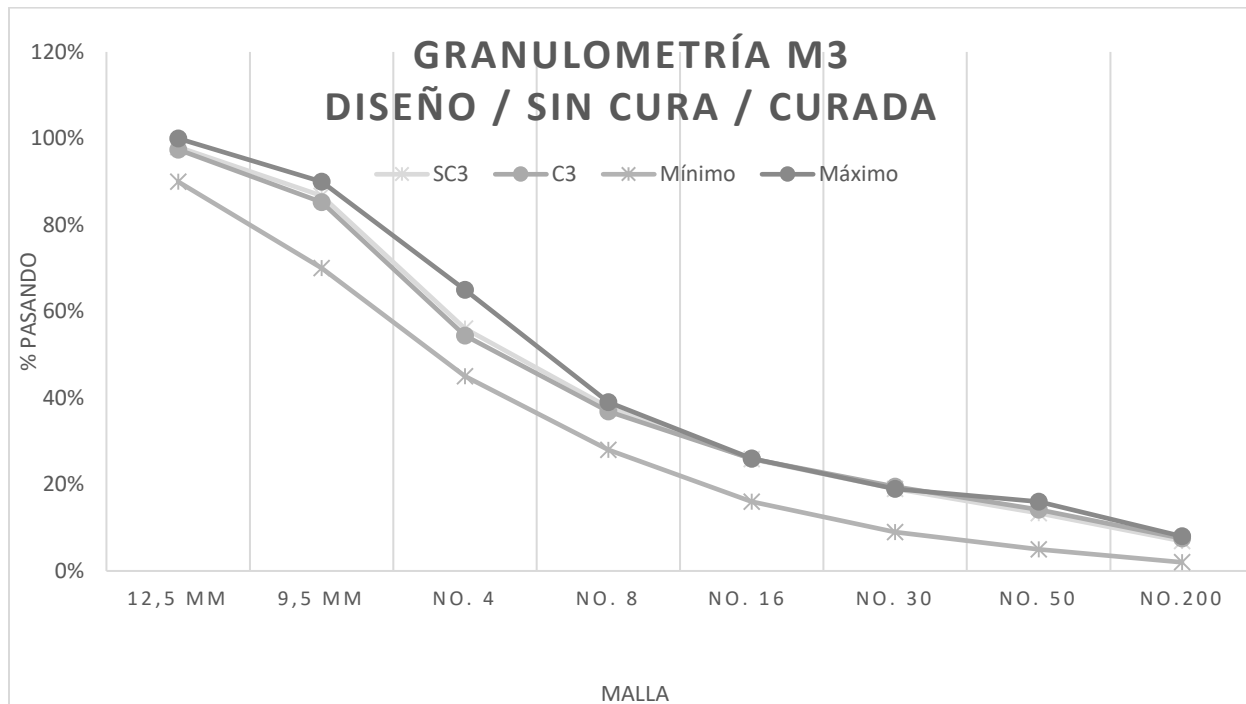
Malla	Malla (mm)	Masa (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasando
1"	25.4				
3/4"	19.0	0	0	0	100
1/2"	12.7	68.1	4.1	4	96
3/8"	9.5	201.3	12.2	16	84
Nº 4	4.75	501.0	30.3	47	53
Nº 8	2.0	281.0	17.0	64	36
Nº 16	1.18	184.2	11.2	75	25
Nº 30	0.6	128.4	7.8	83	17
Nº 50	0.3	79.9	4.8	87	13
Nº 200	0.075	114.2	6.9	94	5.6
Charola		0.8	0.0		

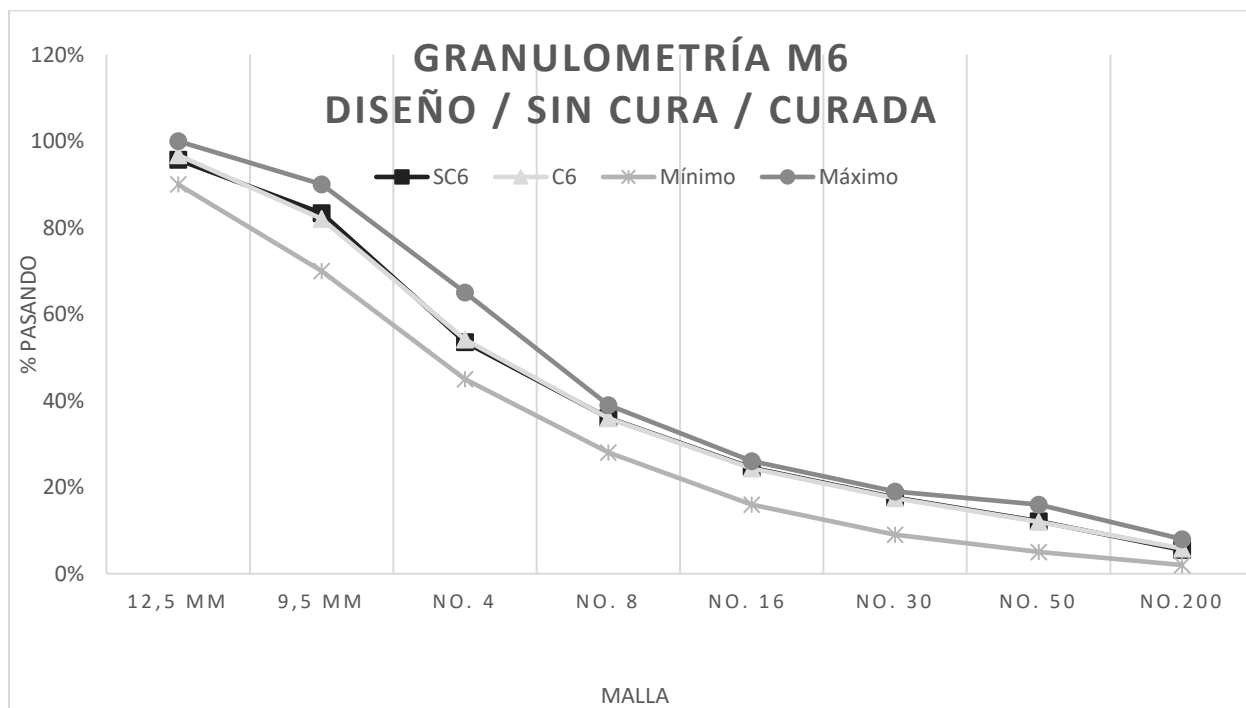
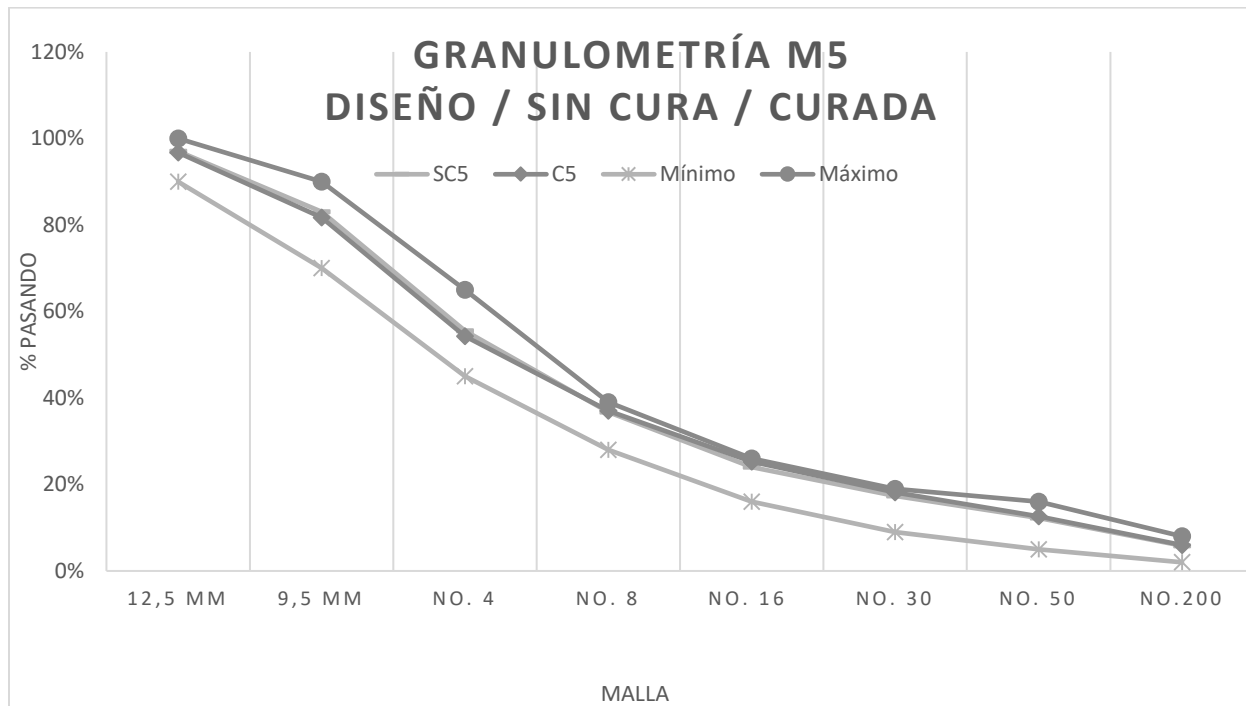
Suma total masa (g)	1558.9	
% de variación de masa	0.01	(no debe ser mayor a 0,3%)

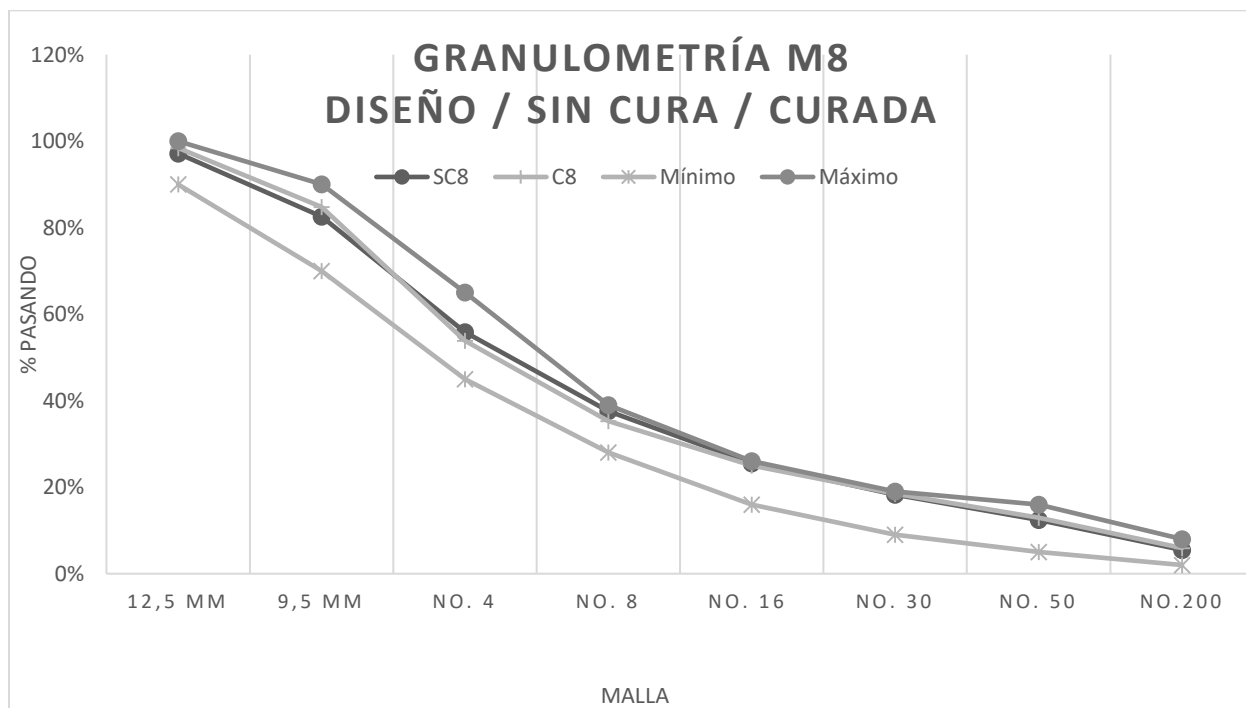
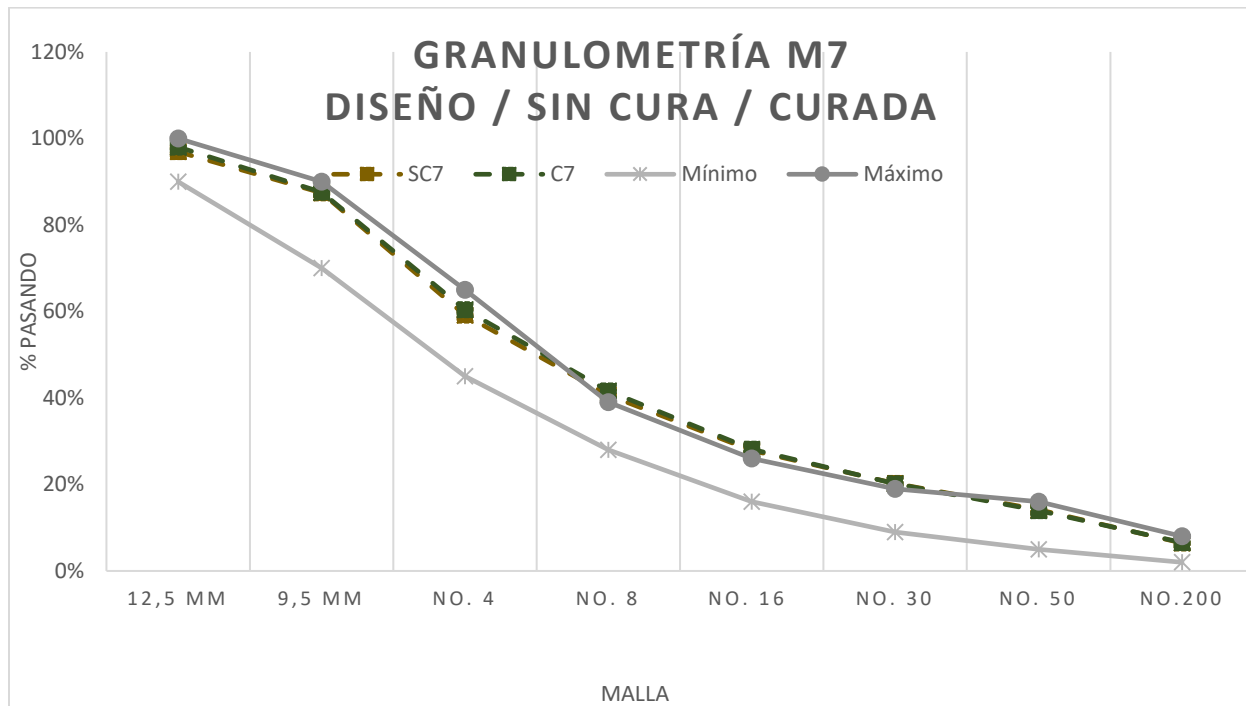
	M1P	M1C	M2P	M2C	M3P	M3C	M4P	M4C	M5P	M5C	M6P	M6C	M7P	M7C	M8P	M8C	M9P	M9C	M10P	M10C	M11P	M11C
GRANULOMETRÍA (AASHTO T 30)																						
Malla 25.4 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Malla 19 mm	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Malla 12.7 mm	98	98	97	97	98	97	96	97	97	97	96	97	97	98	97	98	98	97	96	98	96	96
Malla 9.5 mm	86	86	89	79	87	85	84	85	83	82	82	82	87	88	83	85	85	82	84	84	85	84
Malla 6	57	56	59	48	56	54	57	55	56	54	54	54	59	60	56	54	54	53	54	53	54	53
Malla 4	38	37	39	32	38	37	38	37	37	37	36	36	41	42	38	35	35	35	36	35	36	36
Malla 3	25	26	26	24	26	26	25	25	24	24	24	24	28	28	26	24	24	24	24	24	25	25
Malla 30	18	19	20	18	19	19	19	18	17	18	17	17	20	20	18	18	17	17	17	17	17	17
Malla 60	13	13	15	13	13	14	14	12	12	13	12	12	14	14	12	12	12	12	12	12	13	13
Malla 200	5.5	5.7	7.9	6.7	6.9	7.5	7.1	6.2	5.8	6.0	5.5	5.8	6.5	6.6	5.5	5.9	5.5	5.7	5.9	5.5	5.8	5.6
Contenido de Asfalto (AASHTO T 164)																						
% asfalto / agregados	6.93	6.51	7.23	6.09	7.26	6.73	7.06	6.96	7.13	6.51	6.47	6.29	6.75	6.48	6.70	6.29	6.41	6.28	6.15	6.12	6.47	6.29
% asfalto / mezcla	6.48	6.11	6.74	5.74	6.77	6.30	6.60	6.51	6.66	6.11	6.08	5.92	6.33	6.09	6.28	5.92	6.03	5.91	5.80	5.77	6.08	5.92
Estabilidad	1576	1812	1696	1509	1484	1751	1473	1615	1469	1925	1466	1720	1352	1912	1415	1653	1456	1730	1657	2007	1665	1931
Flujo	30.0	30.7	35.0	30.1	30.8	34.3	32.3	31.9	30.7	31.6	28.7	28.1	32.5	32.1	29.6	30.8	28.2	31.6	28.4	29.3	31.3	27.9
Máxima Teórica	2.462	2.453	2.445	2.445	2.433	2.447	2.432	2.455	2.444	2.453	2.463	2.475	2.459	2.471	2.456	2.474	2.444	2.466	2.462	2.475	2.465	2.477
Densidad Específica	2.363	2.355	2.361	2.332	2.350	2.351	2.333	2.339	2.352	2.335	2.361	2.360	2.368	2.368	2.368	2.360	2.338	2.352	2.347	2.355	2.363	2.364
% Vacíos	4.0	4.0	3.5	4.6	3.4	3.4	4.1	4.7	3.8	4.8	4.1	4.6	3.7	4.2	3.8	4.6	4.4	4.6	4.7	4.8	4.1	4.5
Gbs Gruesos (AASHTO T-8)	2.622	2.622	2.622	2.622	2.622	2.622	2.622	2.622	2.622	2.622	2.622	2.622	2.622	2.622	2.622	2.622	2.622	2.622	2.622	2.622	2.622	2.622
Gbs Finos (AASHTO T-84)	2.559	2.559	2.559	2.559	2.559	2.559	2.559	2.559	2.559	2.559	2.559	2.559	2.559	2.559	2.559	2.559	2.559	2.559	2.559	2.559	2.559	2.559
Gbs Promedio	2.591	2.591	2.591	2.591	2.591	2.591	2.591	2.591	2.591	2.591	2.591	2.591	2.591	2.591	2.591	2.591	2.591	2.591	2.591	2.591	2.591	2.591
V.M.A.	15	15	15	15	15	15	16	16	15	15	14	14	14	14	14	14	15	15	15	14	14	14
V.F.A.	73	73	77	70	78	74	74	70	75	69	71	67	74	71	74	68	71	68	68	66	71	68

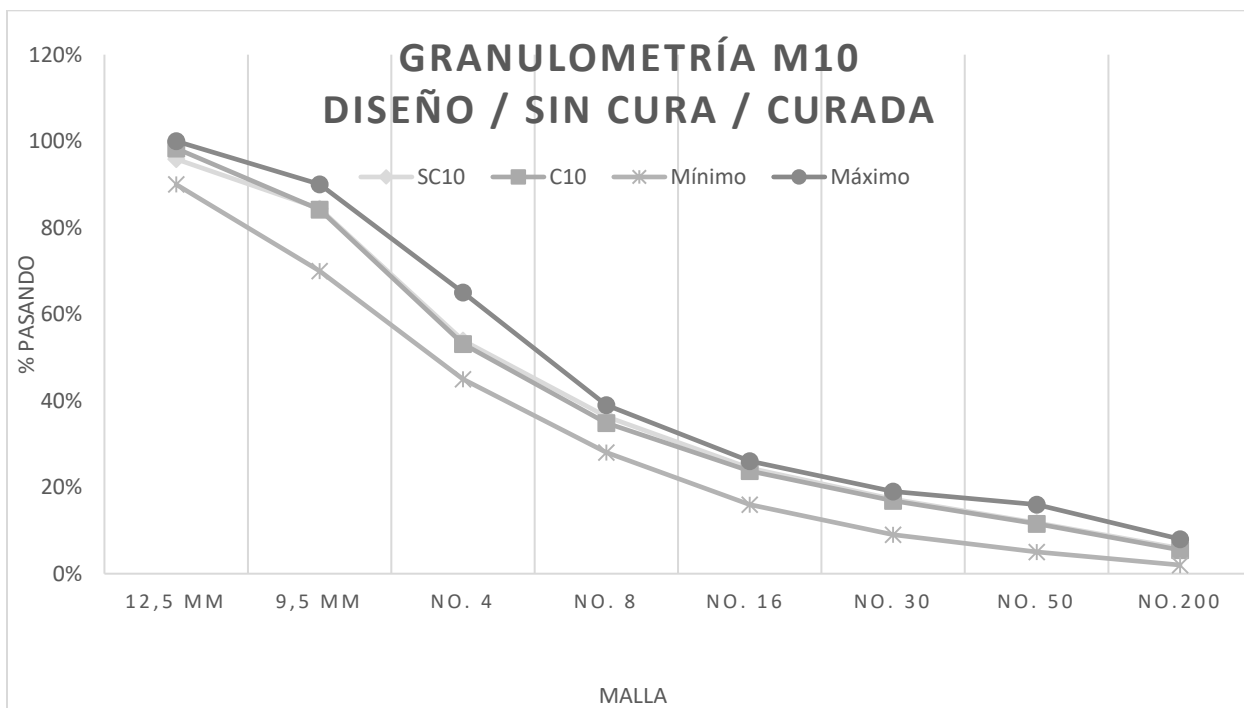
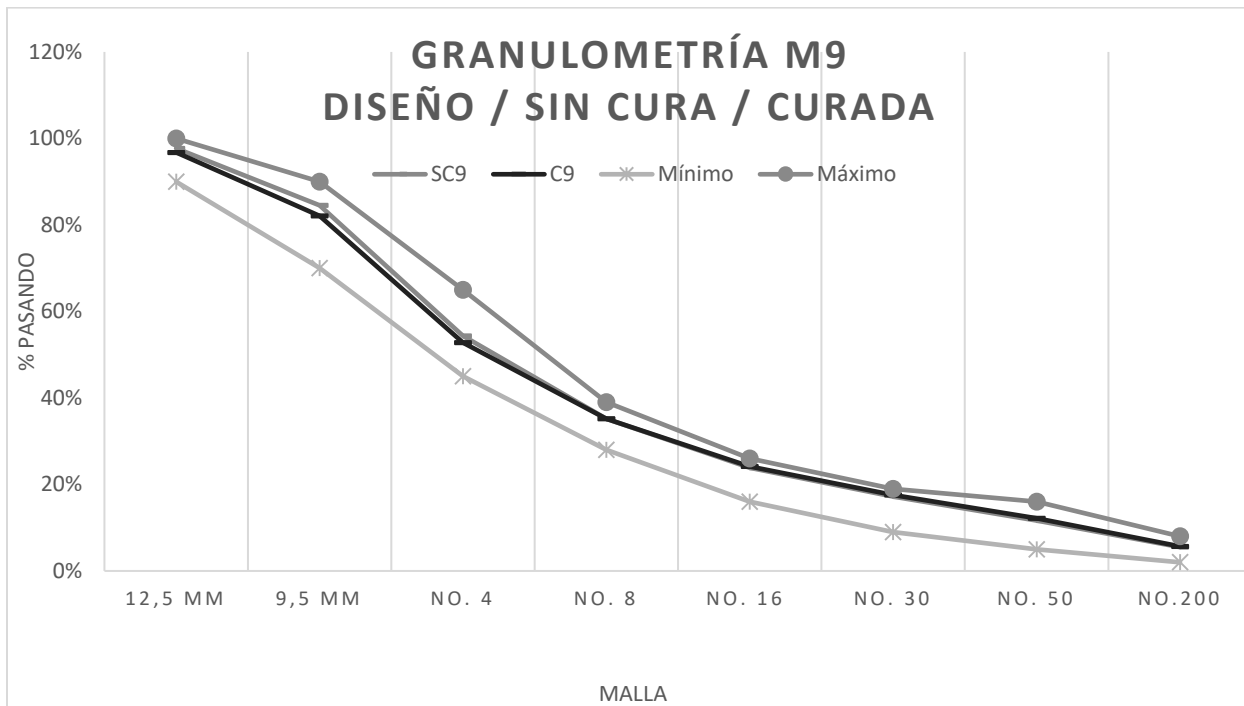
Anexo 5 Análisis Granulométrico

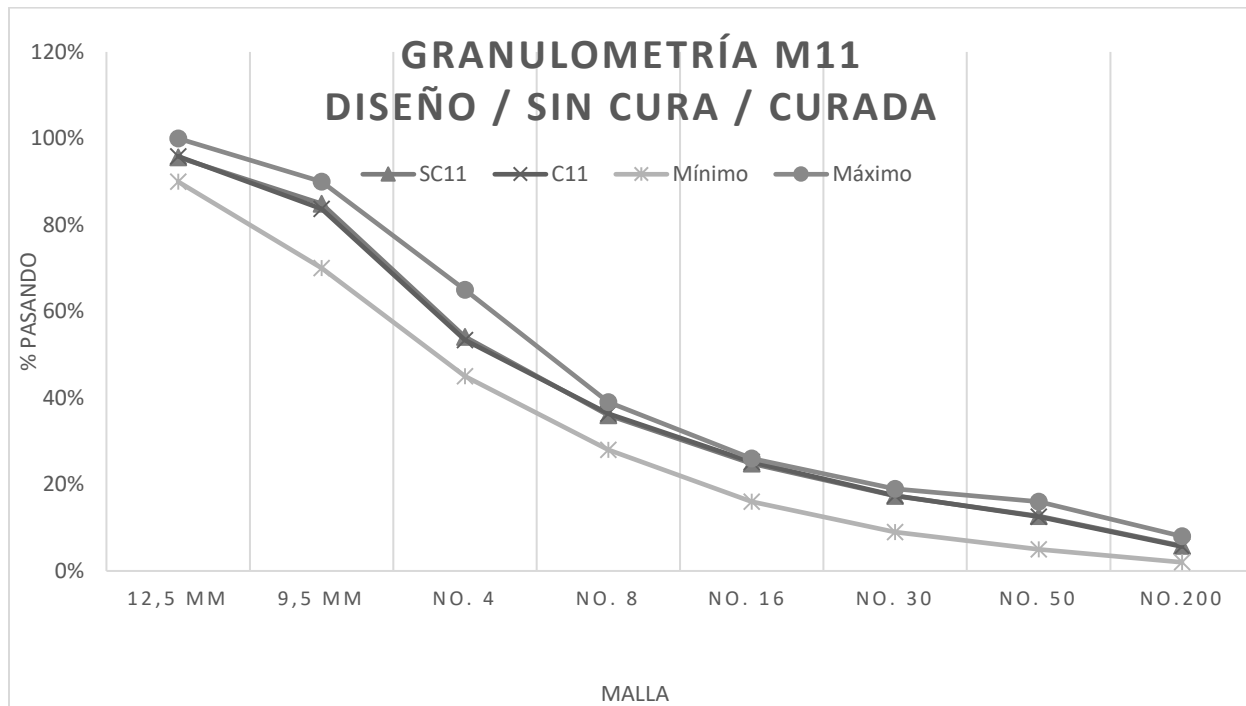












Anexo 6 Bitácoras de Recolección de Datos

PARÁMETROS MARSHALL (GBS, Máxima Teórica, Estabilidad y flujo plástico y Cálculo de Vacíos)			
N° MUESTRA:		Tipo de Muestra: <input type="checkbox"/> Planta	
Fecha de Producción (si aplica):		<input type="checkbox"/> Laboratorio <input type="checkbox"/> Pavimento	
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA		Determinación No. 1	Determinación No. 2
Masa del Recipiente (g)			Peso inicial (A):
Masa del Recipiente + Muestra (g)			Peso final (B):
Masa de la muestra (g)			Contenido de Agua (A-B)/B:
(A)	Masa de la muestra corregida por el contenido de agua (g)		
(D)	Masa del Recipiente + Agua (g)		
(E)	Masa Recipiente + Agua + Muestra (después de aplicar vacío) (g)		
(A')	Masa de la Muestra SSS (g)		
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) sin absorción: $A/(A + D - E)$			
Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmt) con absorción: $A/(A' + D - E)$			
PROMEDIO			
Temperatura del Agua en el Contenedor °C:		Fecha de Realización:	Código Balanza:
Técnico:			

PARÁMETROS MARSHALL (GBS, Máxima Teórica, Estabilidad y flujo plástico y Cálculo de Vacíos)			
N° MUESTRA:		Tipo de Muestra: <input type="checkbox"/> Planta	
Fecha de Producción (si aplica):		<input type="checkbox"/> Laboratorio <input type="checkbox"/> Pavimento	
		N° Bitácora CONAVI (si aplica):	
		% de Asfalto (si aplica):	

Gravedad Específica Bruta de Mezcla Asfáltica (IE-001) y Cálculo de Vacíos (IE-038)					Fecha de Realización:	Código Balanza:	Temp. Ambiente °C:		
# Past.	Masa Seca (g) A	Masa S.S.S. (g) B	Masa Sumerg. (g) C	B-C (g)	% Agua Absorb. (B-A)*100/(B-C)	Gbs: A / (B-C) E	Máxima Teórica D (Ver el dorso)	% de Vacíos 100*(D-E) / D	Temp. Agua °C:
									OBSERVACIONES:
Técnico:					Promedio:				

Resistencia al Flujo Plástico (IE-002) para Especímenes Elaborados en Laboratorio							Factores de Corrección para Flujo Plástico (según volumen)			
							Volumen (cm3) = (B-C)/0,9971			
# Past.	Altura (cm)	Volumen cm3	Lectura Estabilidad (lb)	Factor de Corrección	Estabilidad (kg)	Flujo (1/100cm)	Volumen (cm3)	Factor	Volumen (cm3)	Factor
							200 x 213	5,56	432 x 443	1,32
							214 x 225	5,60	444 x 456	1,25
							226 x 237	4,55	457 x 470	1,15
							238 x 250	4,17	471 x 482	1,14
							251 x 264	3,85	483 x 495	1,09
							265 x 276	3,57	496 x 508	1,04
							277 x 289	3,33	509 x 522	1,00
							290 x 302	3,03	523 x 535	0,96
							302 x 316	2,78	536 x 548	0,93
							317 x 328	2,50	547 x 559	0,89
							329 x 340	2,27	550 x 573	0,86
							341 x 353	2,08	574 x 585	0,83
							354 x 367	1,92	586 x 598	0,81
							368 x 379	1,79	599 x 610	0,78
							380 x 392	1,67	611 x 625	0,76
							393 x 405	1,56		
							406 x 420	1,47		
							421 x 431	1,39		
Técnico:				Promedio:						
Temp. Ambiente °C:			Fecha de Realización:							

**CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA
AASHTO T 329**

Temperatura de secado: 163 °C ± (14 °C)

Nº de Muestra: _____

Fecha de ensayo: _____

Código de Balanza: _____

Bandeja N°: _____

Peso de bandeja: _____ g

Masa inicial (g) (Mi)	Masa final (g) (Mf)	% de Humedad: (Mi-Mf) / Mf)x100	Técnico

**REGISTRO DE MASA CONSTANTE PARA HUMEDAD
DE LA MEZCLA ASFÁLTICA**

Intervalos de Medición: Después de los noventa minutos (90 min) de secado, se realizan mediciones cada treinta (30 min) minutos.

Hora Inicial: _____

Hora	Tiempo de Secado (min)	Masa Previa (g) (Mp)	Masa nueva (g) (Mn)	% de Variación de Masa 100*(Mp-Mn)/Mn	Técnico

*El % de variación no debe ser mayor a 0,05 %

OBSERVACIONES:

Objeto de Ensayo: Mezcla Asfáltica
Temperatura de Secado: ambiente
Intervalos de Medición: cada 15 minutos

Nº de Muestra: _____

Código de Balanza: _____

Fecha	Hora	Tiempo de Secado (min)	Masa (g) (A)	% de Variación de Masa $100*(A_i-A_f)/A_i$	

*El % de variación no debe ser mayor a 0,05 %

OBSERVACIONES:

Técnico: _____

Objeto de Ensayo: Mezcla Asfáltica
Temperatura de Secado: ambiente
Intervalos de Medición: cada 15 minutos

Nº de Muestra: _____

Código de Balanza: _____

Fecha	Hora	Tiempo de Secado (min)	Masa (g) (A)	% de Variación de Masa $100*(A_i-A_f)/A_i$	

*El % de variación no debe ser mayor a 0,05 %

OBSERVACIONES:

Técnico: _____

Objeto de Ensayo: Agregado
Temperatura de Secado: 110 ± 5 °C
Intervalos de Medición: cada 2 horas

N° de Muestra: _____

Código de Balanza: _____

Fecha	Hora	Tiempo de Secado (min)	Masa (g) (A)	% de Variación de Masa $100 \cdot (A_i - A_f) / A_i$	Técnico

*El % de variación no debe ser mayor a 0,1 %

OBSERVACIONES:

Técnico: _____

Objeto de Ensayo: Filtros de papel
Temperatura de Secado: 110 ± 5 °C
Intervalos de Medición: cada 30 minutos

N° de Muestra: _____

Código de Balanza: _____

Fecha	Hora	Tiempo de Secado (min)	Masa (g) (A)	% de Variación de Masa $100 \cdot (A_i - A_f) / A_i$	Técnico

*El % de variación no debe ser mayor a 0,1 %

OBSERVACIONES:

Técnico: _____

No. de Muestra: _____	
No. Bitácora Conavi (si aplica): _____	
Fecha de Inicio: _____	Fecha de Finalización: _____
Extracción Cuantitativa del Asfalto de Mezclas Asfálticas IE-003	
Tipo de Muestra: <input type="checkbox"/> Planta: <input type="checkbox"/> Pavimento: <input type="checkbox"/> Reproducida en el Lab. <input type="checkbox"/>	
CENIZA: Código Balanza: _____ Masa del crisol: _____ (g) Masa del crisol + ceniza: _____ (g) G) Masa de la ceniza: _____ (g) V2) Volumen de la alicuota: 100 (ml) V1) Volumen total del líquido: _____ (ml) % Ceniza (100*W4/W5): _____ W4) Masa del material mineral G * (V1 / V2): _____ (g)	
REFLUX: Código Balanza: _____ C) Humedad de la mezcla: _____ (%) (F-IE-032-1 Registro Masa Constante Humedad Mezcla Asfáltica) W1) Masa del espécimen de ensayo: _____ (g) W2) Masa de Agua (C*W1/100): _____ (g) Masa de filtros: _____ (g) Masa mezcla en cono 1: _____ (g) Masa agregado + filtros: _____ (g) Masa mezcla en cono 2: _____ (g) W3) Masa del agregado: _____ (g) W5) Masa del agregado + Ceniza (W3 + W4): _____ (g) % de Asfalto sobre la mezcla $[(W1-W2) - (W3+W4)/W1 - W2]*100$: _____ % % de Asfalto sobre la agregado $[(W1-W2) - (W3+W4)/W3 + W4]*100$: _____ % Técnico: _____	

Graduación del Agregado Extraído IE-004

Código Balanza: _____

Fecha Realización: _____

W5) Masa seca inicial (W3+W4): _____ (g) Fecha de Finalización: _____

W6) Masa lavada seca: _____ (g)

*El % Pas la N° 200 = $100 \cdot (W5 - W6 + \text{Charola}) / W5$

Malla	Malla (mm)	W7) Masa (g)	W8) % Retenido $100 \cdot (W7/W5)$	W9) % Retenido Acumulado	% Pas.* $100 - W9$
1"	25,4				
3/4"	19,0				
1/2"	12,7				
3/8"	9,5				
N° 4	4,75				
N° 8	2,0				
N° 16	1,18				
N° 30	0,6				
N° 50	0,3				
N° 200	0,075				
Charola					

W10) Suma total masa: _____ (g)

% de variación de masa $100 \cdot (W6 - W10) / W5$ _____ (no debe ser mayor a 0,3%)

Técnico: _____

Anexo 7 Fotografías





