



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO CLASIFICADO POR PENETRACIÓN DE GRADO 60-70, PRODUCIDO EN GUATEMALA

Paul Rubén Tablas Tahuite
Asesorado por el Ing. Francisco Sagastume Rodríguez

Guatemala, junio de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO CLASIFICADO POR PENETRACIÓN
DE GRADO 60-70, PRODUCIDO EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

PAUL RUBÉN TABLAS TAHUITE

ASESORADO POR EL ING. FRANCISO SAGASTUME RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, MARZO DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Murphy Olympos Paiz Recinos
VOCAL I:	
VOCAL II:	Ing. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III:	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV:	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V:	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA:	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR:	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
EXAMINADOR:	Ing. Orlando Posadas Valdez
EXAMINADOR:	Ing. Jaime Domingo Carranza González
SECRETARIO:	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO CLASIFICADO POR PENETRACIÓN DE GRADO 60-70, PRODUCIDO EN GUATEMALA,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela Química, el 18 de abril de 2005.

Paul Rubén Tablas Tahuite

Guatemala, 22 de marzo de 2006

Ingeniero
Julio Rivera
Director de la Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Rivera:

Por medio de la presente me permito informarle a usted, que habiéndose revisado el trabajo de tesis del estudiante **PAUL RUBÉN TABLAS TAHUITE** titulado **CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO CLASIFICADO POR PENETRACIÓN DE GRADO 60-70 PRODUCIDO EN GUATEMALA**, dejo constancia de aprobación para proceder a la autorización del mismo.

Agradeciendo la atención a la presente, aprovecho la oportunidad para suscribirme a usted

Atentamente

Ing. Francisco Sagastume Rodríguez
Colegiado No. 775
ASESOR

Carta de revisor

Carta de Director de Escuela

Carta de Decanatura

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS

Uno y trino. Por su amor y misericordia infinita.

Mis Padres

Rubén Tablas y Clara Luz de Tablas

Gratitud perpetua por el ejemplo, sacrificio y amor hacia mi persona.

Mi Esposa

Herla Giulianna

Por su apoyo, amor y paciencia. A ella con amor especial.

Mi Hijo

Paul Sebastián

Fuente de esperanza, con amor por siempre.

Mis Hermanos

Javier, Sandra, Carlos y Angélica

Agradeciendo los consejos y ejemplos que me han brindado.

Mi familia

Que me ha brindado el cariño y apoyo incondicional.

Mis amigos

A todos ellos como parte importante en mi vida.

Mi asesor y mi revisor

Ing. Francisco Sagastume, Ing. Adolfo Gramajo

Agradeciendo su preciado tiempo dedicado en la elaboración del presente trabajo de graduación.

La Universidad de San Carlos de Guatemala

Por sus enseñanzas y todo aquello que me ha brindado, le estaré siempre agradecido.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
HIPÓTESIS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Composición del asfalto	1
1.2. Usos y datos importantes del asfalto en Guatemala y el mundo	1
1.3. Proceso de refinación del petróleo	3
2. METODOLOGÍA	5
2.1. Tipos de ensayos y mediciones.	5
3. MATERIAL Y EQUIPO	7
3.1. Material y equipo para el ensayo del grado de penetración.	7
3.1.1. Material	7
3.1.2. Equipo	7
3.2. Material y equipo para el ensayo del punto de inflamabilidad.	9
3.2.1. Material	9
3.2.2. Equipo	10
3.3. Material y equipo para el ensayo de la ductilidad.	11
3.3.1. Material	11
3.3.2. Equipo	11
3.4. Material y equipo para el ensayo de la solubilidad en tricloroetileno.	13

3.4.1. Material	13
3.4.2. Equipo	13
3.5. Material y equipo para el ensayo del horno sobre película delgada.	14
3.5.1. Material	14
3.5.2. Equipo	14
3.6. Material y equipo para el ensayo de la penetración retenida después de la prueba del horno sobre película delgada.	16
3.6.1. Material	16
3.6.2. Equipo	16
3.7. Material y equipo para el ensayo de la determinación de la ductilidad después de la prueba del horno sobre película delgada.	17
3.7.1. Material	17
3.7.2. Equipo	17
3.8. Material y equipo para la determinación de peso.	17
3.8.1. Material	17
3.8.2. Equipo	17
3.9. Material y equipo para el ensayo de la gravedad específica.	18
3.9.1. Material	18
3.9.2. Equipo	18
3.10. Material y equipo para el ensayo de la viscosidad mediante el método ASTM D 2171	19
3.10.1. Material	19
3.10.2. Equipo	19
3.11. Material y equipo para el ensayo de la viscosidad mediante el método ASTM D 2170	21
3.11.1. Material	21
3.11.2. Equipo	21

3.12. Material y equipo adicional	22
4. DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES DEL ASFALTO	
60-70.	25
4.1. Ensayo del grado de penetración.	25
4.1.1. Generalidades	25
4.1.2. Preparación de la muestra a ensayar	26
4.1.3. Procedimiento	26
4.2. Determinación del punto de inflamabilidad	27
4.2.1. Generalidades	27
4.2.2. Procedimiento	27
4.3. Ensayo de la ductibilidad.	28
4.3.1. Generalidades	28
4.3.2. Procedimiento	28
4.4. Ensayo de la solubilidad en tricloroetileno	29
4.4.1. Generalidades	29
4.4.2. Procedimiento	30
4.5. Ensayo de la prueba de horno sobre película delgada	31
4.5.1. Generalidades	31
4.5.2. Preparación de la muestra	32
4.5.3. Procedimiento	32
4.6. Ensayo de la penetración retenida después de la prueba de horno sobre película delgada.	33
4.6.1. Procedimiento	33
4.7. Ensayo de la ductilidad después de la prueba de horno sobre película delgada,	34
4.7.1. Procedimiento	34
4.8. Determinación de peso.	34
4.8.1. Generalidades y observaciones	34
4.8.2. Procedimiento	34

4.9. Ensayo de la gravedad específica.	35
4.9.1. Muestreo	35
4.9.2. Preparación del equipo	35
4.9.3. Calibración del picnómetro	36
4.9.4. Procedimiento	36
4.9.5. Cálculos	37
4.10. Ensayo de la viscosidad mediante el método ASTM D 2171	38
4.10.1. Preparación de la muestra	38
4.10.2. Procedimiento	38
4.10.3. Cálculos	39
4.11. Ensayo de la viscosidad mediante el método ASTM D 2170	40
4.11.1. Preparación de la muestra	40
4.11.2. Procedimiento para Cemento Asfáltico	40
4.11.3. Cálculos	42
4.12. Cálculo estadístico	42
5. DETERMINACIÓN DE RELACIÓN ENTRE LA PENETRACIÓN Y VISCOSIDAD ABSOLUTA	43
6. RESULTADOS	45
7. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	55
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	61
BIBLIOGRAFÍA	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Penetrómetro	8
2.	Taza abierta de Cleaveland	10
3.	Clips de ductilómetro	11
4.	Ductilómetro	12
5.	Horno utilizado en la prueba TFOT	15
6.	Contenedores y termómetro para ensayo TFOT	16
7.	Baño y sistema de vacío	20
8.	Baño para determinación de viscosidad según ASTM D 2170	22
9.	Penetración del asfalto clasificado por penetración de grado 60-70, producido en Guatemala, según norma ASTM D 5	46
10.	Punto de inflamabilidad del asfalto clasificado por penetración de grado 60-70, producido en Guatemala, según norma ASTM D 92	46
11.	Ductilidad del asfalto clasificado por penetración de grado 60-70, producido en Guatemala, según norma ASTM D 113	47
12.	Solubilidad en Tricoloroetileno del asfalto clasificado por penetración de grado 60-70, producido en Guatemala, según norma ASTM D 2042	47
13.	Penetración del asfalto 60-70, caracterizado según norma ASTM D 5 sobre muestra a la cual se realizó la prueba de película delgada en horno según ASTM 1754	49
14.	Ductilidad del asfalto 60-70, caracterizado según norma ASTM D 113 sobre muestra a la cual se realizó la prueba de película delgada en horno según ASTM 1754	49

15. Viscosidad del asfalto clasificado por penetración de grado 60-70, producido en Guatemala, según norma ASTM D 2171	50
16. Viscosidad del asfalto clasificado por penetración de grado 60-70, producido en Guatemala, según norma ASTM D 2170	51
17. Peso del asfalto clasificado por penetración de grado 60-70, producido en Guatemala, según norma ASTM 70	51
18. Gravedad específica del asfalto clasificado por penetración de grado 60-70, producido en Guatemala, según norma ASTM D 70	52
19. Comportamiento de la viscosidad y la penetración del asfalto 60-70, caracterizado según normas ASTM	52
20. Relación de valores experimentales y correlacionados de la penetración y la viscosidad absoluta del asfalto 60-70, caracterizado según normas ASTM	53

TABLAS

I. Tipos de ensayo y su norma correspondiente ASTM, para asfaltos clasificados por penetración de grado 60-70.	6
II. Otros ensayos y su norma correspondiente ASTM, realizados al asfalto clasificado por penetración de grado 60-70.	6
III. Resultado de los análisis de penetración, punto de inflamabilidad, ductilidad y solubilidad para el asfalto caracterizado por penetración de grado 60-70, producido en Guatemala.	45
IV Resultado de los análisis de penetración y ductilidad, de ensayos sobre residuos TFOT para el asfalto caracterizado por penetración de grado 60-70, producido en Guatemala.	48
V Resultado de los análisis de viscosidad, peso y gravedad específica para el asfalto caracterizado por penetración de grado 60-70, producido en Guatemala.	50

VI Relación de valores experimentales y correlacionados de la penetración y la viscosidad absoluta del asfalto 60-70, caracterizado según normas ASTM.

54

LISTA DE SÍMBOLOS

a	=	años
bbls	=	barriles americanos
°C	=	grados centígrados
cm	=	centímetro
cSt	=	centistokes
°F	=	grados Fahrenheit
g	=	gramos
gal	=	galones
G.E.	=	gravedad específica
km	=	kilómetros
lbs	=	libras
M	=	millones
mm	=	milímetros
s	=	segundo
TM	=	tonelada métrica
ρ	=	densidad
μm	=	micrómetros

GLOSARIO

- API** American Petroleum Institute (Instituto Americano del Petróleo). También es la denominación usual de la densidad API.
- Asfalto** Un material cementante entre carmelito oscuro y negro, en el cual los constituyentes predominantes son bitúmenes que aparecen en la naturaleza, o se obtienen en el procesamiento del petróleo. El asfalto es un constituyente, en proporciones variables de la mayoría de los crudos.
- ASTM** Siglas en idioma inglés de la institución denominada en español Sociedad Americana de Pruebas de Materiales.
- Cemento asfáltico** Un asfalto con flujo o sin flujo, especialmente preparado en cuanto a calidad y consistencia para ser usado directamente en la producción de pavimentos asfálticos
- Densidad** Masa por unidad de volumen de un material.
- Ensayo** Prueba de laboratorio que se realiza para determinar valores de propiedades en base a procedimientos establecidos.
- Gravedad específica** El ratio de la masa de un volumen dado, de un material por la masa del mismo volumen de agua a la misma temperatura. La gravedad específica es también descrita como densidad relativa

- Poise** Una unidad de centímetro-gramo-segundo de viscosidad absoluta, correspondiente a la viscosidad de un fluido en donde un esfuerzo de una dina por centímetro cuadrado, es requerido para mantener una diferencia de velocidad en un centímetro por segundo entre dos planos paralelos de fluido, orientados en la dirección del flujo y separados por una distancia de un centímetro.
- Stoke** Una unidad de viscosidad cinemática, igual a la viscosidad de un fluido en poises dividida por la densidad del fluido en gramos por centímetro cúbico.
- TFOT** Siglas en idioma inglés de la Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio, que es un procedimiento que expone una muestra de asfalto a unas condiciones que aproximan las ocurridas durante las operaciones de planta en caliente, y es usada para medir el endurecimiento anticipado del material, durante la construcción y durante el servicio del pavimento.

RESUMEN

El presente estudio caracteriza y describe al asfalto clasificado por penetración de grado 60-70, producido en Guatemala.

Se realizó la caracterización del asfalto en cada uno de los aspectos físicos y químicos que se indican en las especificaciones de calidad, para esta clase de asfalto, según las normas internacionales ASTM. Los análisis realizados son los siguientes: penetración, punto de inflamabilidad, ductilidad y solubilidad en tricloroetileno, penetración y ductilidad de muestras a las que se les realizó la prueba de horno sobre película delgada. Además, se determinó la viscosidad, el peso y la gravedad específica por ser propiedades cuyos valores contribuyen a calificar los asfaltos y se estableció la relación matemática de los valores de penetración y viscosidad absoluta.

De los resultados obtenidos se determinó la calidad del asfalto 60-70, confrontando los mismos con lo requerido por las respectivas normas ASTM. Los ensayos fueron realizados en laboratorio con equipo y procedimientos regidos por cada norma utilizada, los cuales aseguran la precisión de los mismos.

Los valores obtenidos del presente estudio prueban que el asfalto clasificado por penetración de grado 60-70, producido en Guatemala, es de buena calidad, por cumplir lo establecido en las especificaciones de las normas ASTM. Se estableció que los valores de penetración y viscosidad son inversamente proporcionales.

OBJETIVOS

General

Caracterizar el asfalto clasificado por penetración de grado 60-70, producido en Guatemala, del petróleo guatemalteco proveniente de la cuenca sedimentaria llamada Petén Norte o Paso Caballos del campo petrolero Xan.

Específicos

1. Elaborar un documento que caracterice y describa las propiedades del asfalto 60-70, producido en Guatemala.
2. Evaluar las características de penetración, punto de inflamabilidad, ductilidad y solubilidad en tricloroetileno del asfalto clasificado por penetración de grado 60-70, producido en Guatemala, según normas ASTM.
3. Determinar la viscosidad, el peso y la gravedad específica del asfalto clasificado por penetración de grado 60-70, producido en Guatemala, según normas ASTM.
4. Determinar la relación matemática entre el valor de la penetración y el valor de la viscosidad absoluta del asfalto caracterizado.

HIPÓTESIS

1. El asfalto clasificado por penetración de grado 60-70, producido en Guatemala, a partir del petróleo proveniente de la cuenca sedimentaria llamada Petén Norte o Paso Caballos del campo petrolero Xan, cumple con las especificaciones de: penetración, punto de inflamabilidad, ductilidad y solubilidad en tricloroetileno, establecidas por la norma ASTM D 946.
2. El valor de penetración y el de la viscosidad absoluta guardan una relación matemática.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala se consumen anualmente grandes cantidades de asfalto, sólo en el año 2005 se consumieron 339,390 barriles de asfalto de diversas denominaciones, utilizado en múltiples aplicaciones y su aplicación más importante es la de ser materia prima en la elaboración de mezclas asfálticas en construcción de carreteras. El valor por su utilidad induce a que en el país se produzcan asfaltos y cuya elaboración utilice como materia prima petróleo crudo proveniente de la cuenca sedimentaria llamada Petén Norte o Paso Caballos, específicamente del campo petrolero Xan.

Con los retos actuales se ha tenido la necesidad de elaborar los asfaltos de tal forma que cumplan con estándares aplicados internacionalmente, para que los mismos sean competitivos y confiables. En materia de asfaltos se han logrado avances en cuanto a su mejoramiento; sin embargo, son los estándares de viscosidad y penetración los más utilizados a nivel internacional y son prácticamente los comúnmente utilizados en Guatemala.

Por su aplicabilidad en nuestro país y por estar en un proceso inminente de globalización, los asfaltos en nuestro país tienen que ser cualitativamente competitivos, es por ello que se realiza el presente estudio para determinar y caracterizar las propiedades del asfalto clasificado por penetración de grado 60-70; para lo cual se han tomado los estándares de la institución ASTM, institución seria de gran respaldo tanto a nivel internacional, y reconocida como estándar en las diversas instituciones que de una u otra manera están relacionadas con el asfalto.

De acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio, se logra definir sus valores y características para una comparación en los parámetros que exhiben su grado de competitividad, comparación con diferentes asfaltos a nivel nacional como internacional. Estas valiosas cualidades incrementan su capacidad de superar los desafíos que presenta la globalización, logrando un buen indicativo del avance y progreso en la industria del asfalto en Guatemala.

Buenos asfaltos exponen competencia y desarrollo de Guatemala para poder prescindir de asfaltos importados, sin que ello implique prescindir de una materia prima de buena calidad. El presente estudio que se realiza abre las puertas a investigaciones para lograr un mejor provecho de los recursos naturales y humanos con que se cuenta actualmente. Asfaltos de diferentes clasificaciones son producidos a nivel internacional y los mismos pueden ser elaborados en Guatemala, teniendo como elemento a transformar y refinar, el petróleo nacional.

1. ANTECEDENTES

1.1 Composición del asfalto

El asfalto es considerado un sistema coloidal complejo de hidrocarburos, en el cual es difícil establecer una distinción clara entre la fase continua y la dispersa. Las primeras experiencias para describir su estructura, fueron desarrolladas por Nellensteyn en 1924, cuyo modelo fue mejorado más tarde por Pfeiffer y Saal en 1940, sobre la base de limitados procedimientos analíticos disponibles en aquellos años.

El modelo adoptado para configurar la estructura del asfalto se denomina modelo micelar, el cual provee de una razonable explicación de dicha estructura, en el cual existen dos fases; una discontinua (aromática) formada por los asfáltenos y una continua que rodea y solubiliza a los asfáltenos, denominada maltenos. Las resinas contenidas en los maltenos son intermediarias en el asfalto, cumpliendo la misión de homogeneizar y compatibilizar a los de otras maneras insolubles asfaltenos. Los maltenos y asfaltenos existen como islas flotando en el tercer componente del asfalto, los aceites.

1.2 Usos y datos importantes del asfalto en Guatemala y el mundo

Es un material de particular interés ya que es un aglomerante firme, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero, además es muy resistente a la mayor parte de los ácidos, álcalis y sales.

Esencialmente, este producto se obtiene de la destilación del petróleo crudo a través de las plantas de destilación primaria y de vacío. Un elevado porcentaje del asfalto producido en la mayor parte de los países se dedica a la preparación de diferentes tipos de mezclas con grava o piedra que constituyen el material con el cual se fabrican las capas superiores de las carreteras.

El asfalto es una materia prima de gran importancia en la actualidad, principalmente en la infraestructura de las comunicaciones viales. En Guatemala su uso es extensivo y constituye el elemento principal para la elaboración de carreteras, es por ello que existen gran cantidad industrias que se dedican a la construcción de las mismas. Su versatilidad hace que sea el material más utilizado como materia prima en carreteras.

En Guatemala se producen los asfaltos clasificados por viscosidad, como lo son los asfaltos AC-20 y AC-30, y los asfaltos clasificado por penetración 60-70 y 85-100. Así mismo se producen el asfalto rebajado MC-70 y el RC-250.

El mercado actual de asfalto en el mundo es de aproximadamente 77 Mtm/a, de los cuales un 80 % es para uso en carreteras y el 20 % es para uso de aplicaciones industriales. Distribuidos de la siguiente forma: Estados Unidos 30 mtm/a; Europa 18 Mtm/a; Rusia-China 10 Mtm/a Asia-Australia 9 Mtm/a y el resto del mundo 10 Mtm/a.

Se estima que la red de carreteras en el mundo se extiende actualmente por unos 25 Mkm, de los cuales solo el 55 % está pavimentado y de estas un 90 % con asfalto y el 10 % restante con concreto. Estas cifras indican que el mercado del asfalto en un futuro está asegurado, por muchos años, no solo en cuanto a las oportunidades de nuevas pavimentaciones, sino principalmente en el mantenimiento y repavimentación de las ya existentes.

Desde el año de 2002 hasta noviembre del año 2005 se ha producido en Guatemala 1,509,230 barriles de asfalto. Así mismo en ese período se han exportado 553,050 barriles de asfalto a diferentes países. En otro aspecto se han importado también en ese periodo 395,350 barriles de asfalto.

La capacidad de elaborar asfalto actualmente es de 2,190,000 barriles al año. Actualmente se instala otra refinería, creando la viabilidad de aumentar la capacidad nacional de producción de asfalto.

1.3 Proceso de refinación

La separación de los componentes del crudo se realiza básicamente mediante proceso de destilación mediante columnas o torres de destilación para separar las fracciones del crudo de acuerdo a su punto de ebullición. La destilación normalmente se divide en dos etapas, primero fraccionando la totalidad del crudo de petróleo a presión atmosférica y luego alimentando la fracción de los residuos de punto de ebullición más alto a una segunda columna que opera al vacío.

El asfalto guatemalteco se obtiene de la refinación del petróleo de Xan. Este crudo a través de una destilación atmosférica se separa en las fracciones livianas nafta, kerosina y diesel, quedando como crudo reducido del cual por medio de una destilación al vacío se obtiene asfalto y gas óleo de vacío; variando las condiciones del proceso se obtiene los diferentes tipos de asfalto.

El proceso requiere pasar por un desalinizador como proceso previo a pasar a la columna de destilación atmosférica. Posteriormente se calienta en un horno y se carga a la zona de alimentación de la columna de destilación atmosférica.

El crudo reducido o crudo de cabeza pasa a una torre de destilación con vacío. Se realiza esta destilación al vacío porque las temperaturas de ebullición para la destilación de las fracciones más pesadas del crudo de petróleo, son tan altas que podrían dar lugar a craqueo térmico, con la consecuente pérdida de producto y ensuciamiento del equipo. Por medio de intercambiadores de calor se reducen los costos de requerimientos de energía.

La capacidad de refinación en Guatemala da la oportunidad de elaborar el asfalto clasificado por penetración de grado 60-70 por medio de la refinación del petróleo crudo, el cual se elabora desde el año 1993.

2. METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO DE GRADO 60-70 PRODUCIDO EN GUATEMALA

La caracterización se realiza en tres etapas; la primera etapa la conforma la recopilación de información a través de entidades involucradas, libros, manuales y medios informáticos, para obtener el fundamento teórico para la realización de la misma; la segunda etapa la conforma la parte práctica y es realizada al nivel de laboratorio, donde se analizan 15 muestras aleatorias de asfalto 60-70 producidas a partir de petróleo guatemalteco.

A partir de muestras de un volumen igual a un galón se sustrae asfalto para realizar cada uno de los respectivos ensayos siguiendo los procedimientos correspondientes en cada caso y utilizando los equipos y materiales necesarios en los mismos; la tercera es la comparación de los análisis de penetración, punto de inflamabilidad, ductilidad y solubilidad en tricloroetileno, así como de la penetración y la ductilidad de muestras a las que se les realizó la prueba de horno sobre película delgada, confrontados con la norma ASTM D 946. Se sigue con responsabilidad y obediencia las prácticas de seguridad industrial y de laboratorio.

2.1 Tipos de ensayos y mediciones

Las determinaciones de los valores de las propiedades se realizan por medio de los ensayos descritos en su respectiva normas internacional ASTM. La Tabla I resume y relaciona los ensayos de las propiedades con su norma correspondiente.

Tabla I. Ensayos y su norma correspondiente ASTM para asfaltos clasificados por penetración de grado 60-70 según norma ASTM D 946.

TIPO DE ENSAYO	NORMA CORRESPONDIENTE
Penetración	ASTM D5
Punto de Inflamabilidad	ASTM D 92
Ductilidad	ASTM D 113
Solubilidad en tricloroetileno	ASTM D 2042
Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio (TFOT)	ASTM D 1754

Para una mejor caracterización del asfalto se determinan otras propiedades las que son descritas en la Tabla II. Se indican los ensayos realizados a estas propiedades y su norma correspondiente

Tabla II. Otros ensayos y su norma correspondiente ASTM realizados al asfalto clasificado por penetración de grado 60-70.

TIPO DE ENSAYO	NORMA CORRESPONDIENTE
Viscosidad 60 °C, Poises	ASTM D 2171
Viscosidad 130 °C, cSt	ASTM D 2170
Peso	ASTM D 70
Gravedad Especifica	ASTM D 70

3. MATERIAL Y EQUIPO

En todos los ensayos de laboratorio se utilizó muestras del asfalto identificado como 60-70 a caracterizar y se dispuso para cada ensayo de los materiales y equipos siguientes:

3.1. Material y equipo para el ensayo del grado de penetración

3.1.1. Material

Se necesitará una muestra de asfalto para el ensayo y como solventes de limpieza se usa tolueno o acetona.

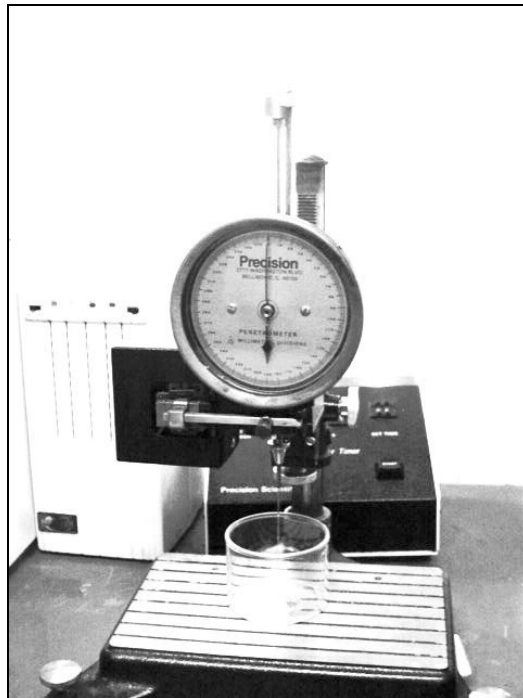
3.1.2. Equipo

Equipo de Penetración

El equipo utilizado usualmente es denominado penetrómetro, posee un sujetador con una aguja que se mueve verticalmente sin fricción y es capaz de indicar la profundidad de penetración de la aguja con incertidumbre de $\pm 0.1\text{mm}$. El peso del eje es de $47.5 \pm 0.05\text{g}$. El peso total de la aguja y el eje ensamblado es de $50.0 \pm 0.05\text{g}$. La superficie del contenedor es plana y el eje del sujetador está a 90° de la superficie. El eje es de fácil desmontaje para chequear el peso. Adicionalmente se proveen pesos de 50 y 100 gramos para completar 100 gramos o 200 gramos de peso total de aguja y sujetador.

El equipo que se utilizó en laboratorio es el Universal Penetrometer Cat. No. 73515, Serial No. BE-10 Precision Scientific Petroleum Instruments Company.

Figura 1. **Penetrómetro**



La aguja de penetración

Es fabricada de acero inoxidable fuerte y templado, de grado 440-C. La aguja estándar es de 50mm (2pul.) de longitud, el diámetro de la agujas es de 1.0 a 1.02mm (0.0394 a 0.0402pul.). Es simétricamente estrechada en una punta tallando un cono con un ángulo entre 8.7 y 9.7° más la longitud del cono. La variación total axial de la intersección entre la superficie cónica y la recta no excede de 0.2mm (0.008pul.).

La punta truncada del cono está dentro de los límites de 0.14 y 0.16mm (0.0055 y 0.0063pul.). El borde total de la superficie truncada en la punta es afilada y libre de asperezas. La rugosidad de la aguja debe ser 0.025 a 125 μ m (1 a 5 μ pul). La longitud expuesta de la aguja está dentro de los límites de 40 a 45mm (1.57 a 1.77pul.) y la longitud expuesta de la aguja larga es de 50 a 55mm (1.97 a 2.19pul.).

Contenedor de Muestra

Es un contenedor de metal cilíndrico de fondo plano de las siguientes medidas: un diámetro de 55 mm y una profundidad interna de 35 mm.

Mecanismo de Cronometraje

Cronómetro provisto con una graduación de 0.1s y con una incerteza de \pm 0.1s por un intervalo de 60s.

Termómetros

Termómetro calibrado de líquido y escala máxima de error de 0.1°C (0.2°F).

3.2. Material y equipo para el ensayo del punto de inflamabilidad

3.2.1. Material

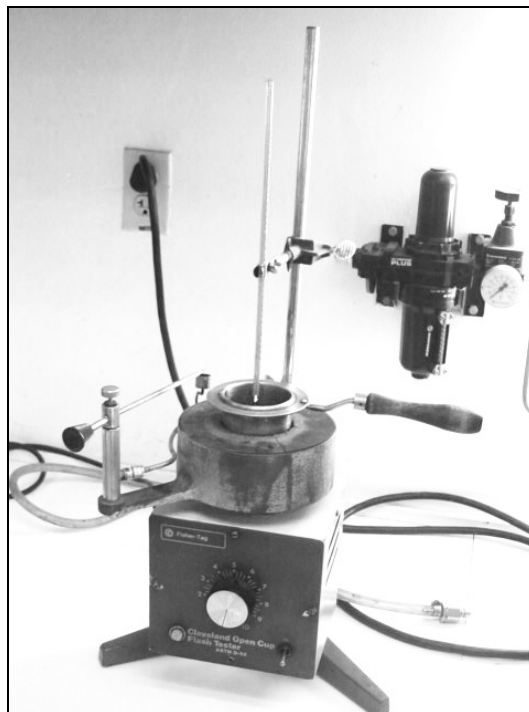
Se necesitará una muestra de asfalto para el ensayo, como solventes de limpieza se usa tolueno o acetona y GLP (propano-butano)

3.2.2. Equipo

Equipo de Taza Abierta de Cleaveland

Este equipo consiste en una taza de ensayo, plato de calentamiento, un aplicador de la flama de ensayo, calentador, y soportes. El equipo que se utilizó en el laboratorio es el Cleaveland Open cup Flash Point Tester Cat. No. 13-528 Serial No. 10800013, Fisher Scientific

Figura 2. Taza abierta de Cleaveland



Instrumento de Medición de Temperatura

Un termómetro de rango de -6 a 400 °C (20 a 760 °F).

Flama de Ensayo

Flama de GLP (butano-propano). (Precaución- el gas que se supe al equipo no debe exceder de 3kP (12pul) de la presión del agua)

3.3. Material y equipo para el ensayo de la ductilidad

3.3.1. Material

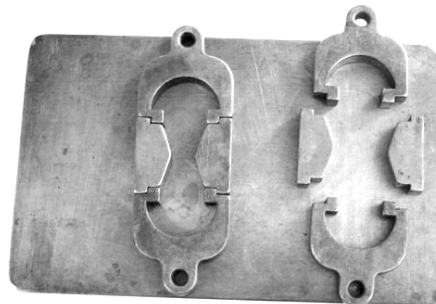
Se necesitará una muestra de asfalto para el ensayo, como solventes de limpieza se usa tolueno o acetona, se utiliza agua destilada, glicerina y arcilla china.

3.3.2. Equipo

Molde

El molde de diseño especial fraccionado en dos puntas que son conocidas como clips y dos partes laterales conocidas como lados del molde.

Figura 3. Clips del Ductilómetro



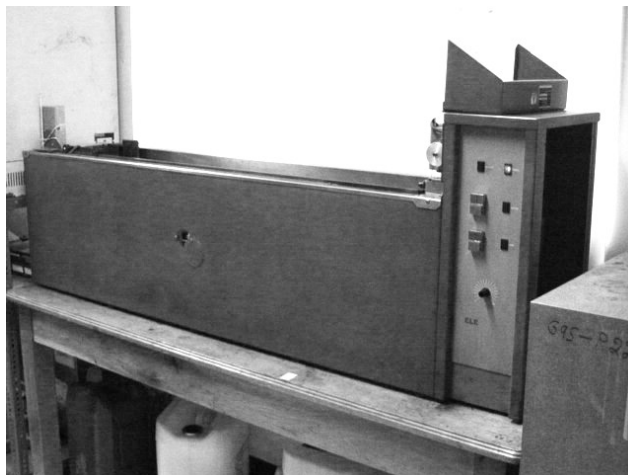
Baño de Agua

El Baño de Agua se mantiene a la temperatura específica del ensayo, con una variación menor de 0.1°C (0.18°F) de esta temperatura. El volumen de agua es mayor a 10 litros y la muestra es sumergida mas de 10cm; la muestra es soportada por una bandeja perforada a una distancia mayor de 5cm del fondo del baño.

Dúctilómetro

Máquina de Ensayo Utilizada para halar la briqueta del asfalto, se usa el equipo diseñado para que la muestra esté continuamente sumergida en agua, mientras las dos puntas se halan para ser separadas a una velocidad uniforme, sin excesiva vibración. El equipo que se utilizó en laboratorio es el Ductilometer Serial No. 1681-1054 ELE Internacional.

Figura 4. **Ductilómetro**



Termómetro

Un termómetro con rangos del ensayo

3.4. Material y equipo para el ensayo de la solubilidad en tricloroetileno

3.4.1. Material

Se necesitará una muestra de asfalto para el ensayo, tricloroetileno en grado técnico y como solventes de limpieza se usa tolueno o acetona

3.4.2. Equipo

Filtro de Gooch

Glaseado por dentro y por fuera con excepción de la salida de la superficie de abajo.

Filtro de Fibra de Vidrio

De 3.2cm, (Filtro de microfibra de vidrio Whatman Grado 934 AH).

Frasco de Filtración

Con paredes gruesas con un tubo al lado, de 500ml de capacidad.

Tubo para Filtrar

De 40 mm de diámetro interno.

Tubo de Hule o Adaptador

Para sostener el filtro de Gooch dentro del tubo para filtrar.

Erlenmeyer

Erlenmeyer de 125ml de capacidad.

Calentador

Sistema de calentamiento que mantiene la muestra a una temperatura de 110°C con una incerteza de $\pm 5^\circ\text{C}$.

3.5. Material y equipo para el ensayo del horno sobre película delgada.

3.5.1. Materiales

Se necesitará una muestra de asfalto para el ensayo, como solventes de limpieza se usa tolueno o acetona

3.5.2. Equipo

Horno

El horno es calentado eléctricamente y cumple los requerimientos de especificación E 145, Tipo IB (Convección de Gravedad), opera temperaturas arriba de 180°C (356°F) durante los ensayos; el estante del horno está en el centro y hace girar los contenedores sobre un eje central. El equipo que se

utilizó en el laboratorio es el Asphalt Drying Oven (TFOT) Model No. RS18A-1 Serial No. N27N-618113-ON Lindber Blue M

Figura 5. Horno utilizado en la prueba TFOT



Termómetro

Un termómetro de pérdida de masa con un rango de 155 a 170°C. El termómetro está sujeto al eje del estante circular en una posición vertical al punto equidistante del centro y el borde del estante. El fondo del bulbo del termómetro está 40mm (1.5pul) arriba del tope de estante. El termómetro está radialmente centrado sobre una posición del contenedor de muestra.

Contenedor

Una bandeja cilíndrica, 140mm (5½pul) de diámetro interno y 9.5mm (⅜pul).

Figura 6. **Contenedores y termómetro para ensayo TFOT**



3.6. Material y equipo para el ensayo de penetración retenida después de la prueba de horno sobre película delgada.

3.6.1. Material

Se utiliza una muestra de asfalto a la que se le realizó la Prueba de horno sobre película delgada.

3.6.2. Equipo

Se utiliza el mismo empleado para el ensayo de penetración.

3.7. Material y equipo para el ensayo de la ductilidad después de la prueba del horno sobre película delgada.

3.7.1. Material

Se utiliza una muestra de asfalto a la que se le realizó la Prueba de horno sobre película delgada.

3.7.2. Equipo

Se utiliza el mismo empleado para el ensayo de la ductilidad.

3.8. Material y equipo para la determinación del peso.

3.8.1. Observaciones

Para esta determinación no se requiere material, debido a que se realiza de forma indirecta a partir de la gravedad específica. Véase las anotaciones de las generalidades de la determinación del peso descritas en el numeral 4.8.

3.8.2. Equipo

Se necesita una calculadora de operaciones básicas para realizar los cálculos correspondientes.

3.9. Material y equipo para la determinación de la gravedad específica.

3.9.1. Materiales

Muestra de asfalto para el ensayo y agua destilada recientemente y enfriada.

3.9.2. Equipo

Picnómetro de Vidrio

Envase cónico cuidadosamente rimado para recibir con precisión una tapa de vidrio de 22 a 26mm de diámetro interno. La tapa está provista de un hoyo de 1.0 a 2.0mm de diámetro interno, centralmente localizado en referencia al eje vertical. La superficie de arriba de la tapa es lisa y substancialmente plana, y la parte de abajo es cóncava para dejar que todo el aire escape a través del agujero. La altura de la sección cóncava es de 4.0 a 18.0mm al centro. El picnómetro tapado tiene una capacidad de 24 a 30ml y no pesa más de 40g.

Baño de Agua de Temperatura Constante

Es capaz de mantener la temperatura dentro de 0.1°C de la temperatura de ensayo.

Termómetros Calibrados

Termómetro calibrado líquido en vidrio, tipo de total inmersión, con graduaciones de 0.1°C.

3.10. Determinación de la viscosidad. 60 °C, Poises mediante el método ASTM D 2171

3.10.1. Material

Se utiliza una muestra de asfalto para el ensayo y aceite mineral.

3.10.2. Equipo

Viscosímetros

De tipo capilar hecho de borosilicato de vidrio

Termómetro

Se utiliza un termómetro calibrado líquido en vidrio con una precisión de 0.02°C (0.004°F) Los termómetros especificados están calibrados a “total inmersión” cuya inmersión al tope de la columna de mercurio con el resto de vapor y la cámara de expansión al tope del termómetro expuesto a temperatura ambiente.

Baño

Un baño disponible para la inmersión del viscosímetro donde el reservorio del líquido o el tope del capilar o cualquiera que sea el más alto esté al menos 20mm por debajo de la parte superior del líquido del baño y provisto de visibilidad del viscosímetro y del termómetro. Se provee de soportes para afirmar el viscosímetro. La eficiencia entre la agitación y el balance entre la pérdida de calentamiento y la entrada de calentamiento es tal que la

temperatura media del baño no varia mas de $\pm 0.03^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0.05^{\circ}\text{F}$) sobre la longitud del viscosímetro ó entre viscosímetros en las distintas posiciones del baño. Los equipos que se utilizaron en el laboratorio fueron el Constant Temperatura Bath Model Ha-A Serial No. 2212 Cannon Instrumet Company, y el Presure Regulador Model PR2 Serial No. 2188 Cannon Instrumet Company.

Sistema de Vacío

Un sistema de vacío que mantiene un vacío de $\pm 0.5\text{mm}$ del nivel deseado ó incluyendo 40.0kPa (300mm Hg). Una bomba de vacío es utilizada como fuente de vacío.

Figura 7. **Baño y sistema de vacío**



Cronómetro

Un cronómetro calibrado con divisiones de 0.1s

3.11. Determinación de la viscosidad. 130 °C, cSt mediante el método ASTM D 2170

3.11.1. Material

Se utiliza una muestra de asfalto para el ensayo y aceite mineral.

3.11.2. Equipo

Viscosímetros

Se utiliza un viscosímetro tipo capilar hechos de borosilicato de vidrio templado

Termómetros

Se utilizan termómetros líquido en vidrio calibrado con una precisión 0.02°C (0.004°F)

Baño

Un baño para sumergir el viscosímetro tal que el reservorio del líquido o el tope del capilar, cualquiera que sea el más alto, esté al menos 20mm por abajo del nivel superior del baño y provisto de visibilidad para el viscosímetro y el termómetro. Se provee de soportes firmes para el viscosímetro. El equipo que se utilizó en el laboratorio es el Constant Temperatura Bath Model CT-1000 Serial No. 468 Cannon Instrument Company.

Figura 8. Baño para determinación de viscosidad según ASTM D 2170



Cronómetro

Se utilizó un cronómetro graduado en divisiones de 0.1s

3.12. Material y equipo adicional

Material de oficina

Se usa material de oficina para anotaciones y notas claves. Así mismo se utiliza material de laboratorio, tanto de limpieza como de seguridad.

Equipo de Seguridad

Para cada una de los ensayos se requiere uso de accesorios de seguridad en laboratorio y seguridad industrial, para cumplir con los requerimientos de seguridad de la planta donde se encuentra el laboratorio, como el uso de lentes de seguridad, guantes, ropa de laboratorio y otros

Medios electrónicos

Se utiliza computadora personal que utiliza programas como herramienta de trabajo,

4. DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES DEL ASFALTO 60-70 PRODUCIDO EN GUATEMALA

Se han determinado las especificaciones mediante los respectivos métodos ASTM los que son descritos a continuación.

4.1. Ensayo del grado de penetración.

4.1.1. Generalidades del método

El método comprende la determinación de penetración en materiales bituminosos sólidos y semi-sólidos. Los valores en unidades SI son las consideradas como estándar. Se realiza según norma ASTM D5. El ensayo de Penetración es una medida de consistencia, que se realiza con un Penetrómetro por medio de una aguja estándar aplicada a la muestra bajo condiciones específicas. La prueba normal consiste, como primera medida, en estabilizar una muestra de cemento asfáltico a una temperatura de 25°C (77°F) en un baño de agua con temperatura controlada. Seguidamente una aguja de dimensiones prescritas se coloca sobre la superficie de la muestra bajo una carga de 100 gramos y un tiempo exacto de 5 segundos. La distancia que la aguja penetra en el cemento asfáltico es registrada en unidades de 0.1 mm. La cantidad de estas unidades es llamada “penetración” de la muestra. Altos valores de penetración indican una consistencia suave.

4.1.2. Preparación de la Muestra a Ensayar

Se calienta la muestra con cuidado, se agita para evitar el sobrecalentamiento, hasta que se ponga lo suficientemente fluida para verter. No se calienta las muestras por más de 30 minutos. Se evita incorporar burbujas de aire dentro de la muestra. Se vierte la muestra dentro del contenedor a una profundidad tal que cuando se enfríe la muestra a la temperatura de ensayo la profundidad de la muestra es por lo menos 170mm. Se ponen dos porciones separadas para cada variación en condiciones de ensayo. Se cubre holgadamente cada contenedor como una protección contra el polvo y se deja enfriar a temperatura ambiente entre 15 y 30°C de 1 a 1.5 horas para el contenedor pequeño y entre 1.5 y 2 horas para el alto.

4.1.3. Procedimiento

Se examina el sujetador de la aguja y la guía para establecer de que no contengan agua y otros materiales extraños. Se limpia la aguja de penetración con solvente, se seca con un trapo limpio y se inserta la aguja dentro del penetrómetro. Se coloca el peso de 50g arriba de la aguja, teniendo un peso total, aguja, eje y peso, de $100.0 \pm 0.1g$. Se pone el contenedor sobre la plataforma del penetrómetro. Se posiciona la aguja suavemente hasta que la punta justamente haga contacto con la superficie de la muestra. Se verifica la lectura del dial y se pone el punto en cero. Rápidamente se suelta el sujetador de la aguja por el período específico de 5 segundos y se ajusta el instrumento para medir la distancia penetrada en décimas de un milímetro. Si el contenedor se mueve, se ignora el resultado. Se hace por lo menos tres determinaciones, en puntos sobre la superficie con una distancia de separación mayor de 10mm respecto del perímetro del contenedor y a una distancia mayor de 10mm

respecto de la ubicación de la determinación anterior. Se usa una aguja limpia para cada determinación.

4.2. Ensayo del Punto de Inflamabilidad

4.2.1. Generalidades del método.

Este ensayo de punto inflamabilidad es un método dinámico y depende de rangos definidos de incrementos de temperatura para controlar la precisión del método. El principal uso es para materiales que tiene un punto de flama entre 79°C (175°F) y 400 °C (120 °F). Este también es usado para determinar el punto de fuego que es una temperatura arriba del punto de flama en la que la muestra a ensayar podría soportar la combustión por un mínimo de 5s. No se debe confundir éste método de ensayo con el Método de Ensayo D 4206 que es un ensayo substancial de quema, de tipo taza abierta, a una temperatura específica de 49°C (120°F). La taza de ensayo debe ser llenada con aproximadamente 70ml de la muestra. La temperatura de ensayo se incrementa rápidamente al inicio y luego despacio según el rango del punto de flama se esté acercando. A intervalos específicos una flama de ensayo se pasa a través de la taza. El punto de inflamabilidad es la temperatura baja del líquido, en la que se aplica la flama de ensayo y hace que los vapores de la muestra de ensayo se incendien. Para determinar el punto de llama se continúa el análisis hasta que la flama de ensayo causa que la muestra de ensayo se incendia y se mantenga una llama continua por lo menos 5s.

4.2.2. Procedimiento

La taza de ensayo se llena con aproximadamente 70ml de la muestra. La temperatura de ensayo se incrementa rápidamente al inicio y luego despacio

conforme se acerca al punto de inflamación esperado. En este punto, intervalos específicos de 5 °C una flama de ensayo se pasa a través de la taza. El punto de flama es la temperatura baja del líquido, en la que se aplica la flama de ensayo y hace que los vapores de la muestra de ensayo se incendien. La temperatura de la taza del ensayo y la muestra no debe exceder de 56°C (100°F) abajo del punto de flama esperado. Se debe destruir cualquier burbuja de aire o espuma sobre la superficie de la muestra de ensayo con un cuchillo afilado, u otro instrumento disponible y se mantiene el nivel requerido para la muestra de ensayo.

4.3. Determinación de la ductilidad

4.3.1. Generalidades

La ductilidad de materiales bituminosos es medida por la longitud que se alarga antes de que se rompa una briqueta hecha con la muestra cuando se hala desde sus extremos a una velocidad determinada y a una temperatura específica. El ensayo debe ser realizado a una temperatura de $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y con una velocidad de 5cm/min. $\pm 5\%$.

4.3.2. Procedimiento

Se ensambla el molde sobre la plancha de latón. Se cubre totalmente la superficie de la plancha y el interior del molde con una capa de la mezcla de glicerina y dextrina ó caolín (arcilla China) para evitar la adherencia del material de ensayo. La plancha en la que el molde está montado está perfectamente plana y nivelada tal que el fondo del molde este totalmente en contacto. Cuidadosamente se calienta la muestra para prevenir el sobrecalentamiento local hasta que esté suficientemente fluida para verter. Se pasa la muestra

fundida a través de un colador de 300µm. Después de una agitación completa se vierte dentro del molde. Al llenar el molde se tiene cuidado de no desarmar las partes de la briqueta y así deformarla. Para llenar se vierte el material en forma de chorro hacia atrás y hacia adelante de punta a punta del molde hasta que el molde esté lleno más que el nivel de llenado. Se deja enfriar el molde que contiene la muestra a temperatura ambiente por un período de 30 a 40min; y luego se pone dentro del baño de agua se mantiene la temperatura de ensayo por 30min; luego se corta el exceso de bitumen con la hoja de una espátula caliente para hacer que el molde quede lleno a nivel.

Posteriormente se mantiene la muestra a una temperatura estándar poniendo la plancha de latón y el molde con la muestra en un baño de agua manteniendo la temperatura especificada por un período entre 85 y 95min. Luego se remueve la briqueta de la plancha, se quita las piezas de los lados, e inmediatamente se hace el ensayo para el cual se engancha los anillos de cada punta del clip a los pines o ganchos en la máquina de ensayo y se hala los dos clips separados a una velocidad constante de 5cm/min. \pm 5%. Se mide la distancia en centímetros desde que los clips fueron jalados hasta producir la ruptura. Mientras el ensayo se está realizando el baño de agua de la máquina y la muestra se tapan abajo y arriba por lo menos 2.5cm y se mantiene la temperatura $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

4.4. Ensayo de la solubilidad en Tricloroetileno

4.4.1. Generalidades

Este método de ensayo cubre la determinación del grado de solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno, teniendo o no material mineral.

4.4.2. Procedimiento

Preparación del Filtro de Gooch

Se pone el filtro de Gooch más el filtro de fibra de vidrio en un horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 15 minutos y se deja enfriar a temperatura ambiente dentro de la desecadora, luego se determina la masa con incerteza \pm de 0.1mg. se designa a esta masa como **A**. Se guarda dentro de la desecadora hasta que se usa.

Preparación de la Muestra

Si la muestra no es fluida, se calienta. Normalmente la temperatura a que este ensayo se corre no es crítica y ésta puede ser hecha a temperatura ambiente del laboratorio. El erlenmeyer como la muestra en solución se ponen en baño de agua manteniendo una temperatura de $37.8 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ durante una hora antes de filtrar.

Procedimiento

Se transfiere aproximadamente 2g de muestra en un erlenmeyer de 125ml previamente tarado. Se deja que la muestra se enfríe a temperatura ambiente y luego se determina la masa con exactitud de $\pm 0.1\text{mg}$. Se designa esta masa como B. Luego se agrega 100 ml de tricloroetileno en el contenedor en pequeñas porciones agitando de forma continua hasta que todo grumo desaparezca y la muestra no disuelta no se adhiera al contenedor. Se tapa el frasco o contenedor y se deja reposar por lo menos 15 minutos. Se pone el filtro de Gooch previamente preparado y pesado en el tubo de filtración, se humedece el filtro de fibra de vidrio con una pequeña porción de tricloroetileno y

se decanta la solución a través del filtro de fibra de vidrio del filtro de Gooch con vacío si es necesario. Se lava el contenedor con una pequeña porción de solvente con una pizeta, se transfiere toda la materia insoluble al filtro; se lava totalmente el contenedor y el filtro hasta que el filtrado sea substancialmente sin color, luego se aplica una fuerte succión para eliminar algún remanente de solvente. Se remueve el filtro del tubo para filtrar, se lava el fondo de forma que esté libre de materia soluble y se pone el filtro en la parte de arriba de un horno hasta que todo el olor de tricloroetileno haya desaparecido. Se pone el filtro en un horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por lo menos 20 minutos. Se enfría el filtro en un desecador por 30 minutos y se determina su masa con incerteza de $\pm 0.1\text{mg}$. Se repite el secado y el peso hasta que una masa constante ($\pm 0.3\text{mg}$) sea obtenida. Designe esta masa como C. Luego se calcula el porcentaje de solubilidad mediante la formula siguiente:

$$\% \text{ Solubilidad} = \{[B - (C - A)] / B\} \times 100$$

Donde: A = masa del filtro de Gooch más el filtro de fibra de vidrio, B = masa de muestra, y C = masa del filtro de Gooch más filtro de fibra de vidrio más materia insoluble.

4.5. Ensayo de la prueba de horno sobre película delgada

4.5.1. Generalidades

Este método cubre la determinación de los efectos de aire y calentamiento sobre una capa de material asfáltico semisólido. Los efectos de este tratamiento son determinados de las mediciones de propiedades de asfaltos seleccionados antes y después del ensayo. Los valores en unidades SI son las consideradas como estándar.

4.5.2. Preparación de la muestra

Se pone suficiente material de ensayo en un contenedor disponible y se calienta hasta que esté fluido. Se debe tomar especial cuidado para que no exista un sobrecalentamiento de la muestra y que la temperatura más alta alcanzada no sea mayor de 150°C (302°F). Se agita la muestra durante el período de calentamiento, sin incorporar burbujas de aire en la muestra. Se pesa $50 \pm 0.5\text{g}$ en dos o más contenedores tarados, al mismo tiempo, se pone una porción de la muestra original dentro de los contenedores específicos para medir las propiedades del asfalto original. Se deja enfriar la muestra a temperatura ambiente antes de ponerlas en el horno.

4.5.3. Procedimiento

Se nivela el horno tal que el estante gire en un plano horizontal. La inclinación máxima durante la inclinación no debe ser más de 3° de la horizontal. Se pone un contenedor de muestra vacío en la posición predeterminada para los contenedores de muestra sobre el estante giratorio. Se ajusta el control de temperatura tal que el termómetro indique $163 \pm 1^\circ\text{C}$ ($325 \pm 2^\circ\text{F}$) la temperatura debe estar constante. Una vez que los ajustes estén completos los contenedores deben ser removidos según discreción del operador. El control de temperatura no debe reajustarse una vez que los contenedores son removidos.

Con el horno calentado y ajustado rápidamente se ponen las muestras de asfalto en las posiciones predeterminadas para los contenedores de muestra sobre el estante circular. Se llena cualquier posición vacante vacía con contenedores de muestra vacío tal que cada posición de contenedores sea la que le corresponda. Se cierra la puerta del horno y se inicia la rotación del

estante. Manteniendo el rango de la temperatura especificada por 5h después que la muestra haya sido introducida y el horno haya alcanzado la temperatura de 162°C (323°F) y en ningún caso el total del tiempo de la muestra exceda 5¼ horas. Al concluir el tiempo del período de calentamiento se remueven las muestras del horno. Si se determina el cambio de masa se enfría a temperatura ambiente, se pesa lo más cercano a 0.001g y se calcula el cambio de masa con base al asfalto de cada contenedor. Este método de ensayo permite colocar una muestra de asfalto en la posición debajo del termómetro. Sin embargo es recomendable que esta posición no sea usada para una muestra y es aconsejable que una bandeja vacía sea la que ocupe esta posición para minimizar el riesgo asociado con el rompimiento del termómetro.

Se transfiere el material de cada bandeja dentro de un contenedor de caja de ungüento de 240ml (8oz), removiendo substancialmente todo el material de las bandejas con una espátula disponible, se agita completamente los residuos combinados, poniendo el contenedor de 240ml (8oz) sobre una estufa para mantener el material en una condición fluida deseada. Estas muestras se deben utilizar dentro de las siguientes 72h, para realizar los ensayos sobre el residuo con métodos de ensayo apropiados de ASTM.

4.6. Ensayo de la penetración retenida después de la prueba de horno sobre película delgada.

4.6.1. Procedimiento

El procedimiento para este ensayo es el mismo que el ensayo de penetración con la salvedad de que la muestra empleada es una muestra a la que se le realizó el procedimiento de Prueba de horno sobre película delgada descrito en el numeral 4.5.

4.7. Determinación de la ductilidad después de la prueba de horno sobre película delgada

4.7.1. Procedimiento

El procedimiento para este ensayo es el mismo que el ensayo de ductilidad con la salvedad de que la muestra empleada es una muestra a la que se le realizó el procedimiento de Prueba de horno sobre película delgada descrito en el numeral 4.5.

4.8. Determinación del peso

4.8.1. Generalidades y observaciones

Para los cementos asfálticos se utiliza el ensayo ASTM D 70 para la determinación de la gravedad específica y de ella se determina el peso.

4.8.2. Procedimiento

Se realiza el cálculo mediante las fórmulas 1 y 2:

$$\rho = G.E. \times \rho_{H_2O} \quad (1)$$

donde

ρ = densidad del asfalto

G.E. = gravedad específica del asfalto

ρ_{H_2O} = densidad del agua a la temperatura de ensayo.

Luego teniendo la densidad del asfalto se calcula su peso para un volumen de un galón. Como en la industria del asfalto se calcula en libras teniendo el valor de peso igual al de la masa.

Utilizando la formula

$$m = \rho/V (2)$$

donde

m = masa del asfalto

ρ = densidad del asfalto

V = volumen

El valor de la masa es equivalente al del peso en el sistema inglés.

$$W \equiv \rho (3)$$

Donde

W = peso

ρ = densidad del asfalto

Determinando de esta forma el peso de un galón de asfalto.

4.9. Ensayo de la Gravedad Específica.

4.9.1. Muestreo

La muestra deben estar libres de sustancias extrañas, se agita la muestra completamente antes de remover la porción representativa de la muestra a utilizar en el ensayo.

4.9.2. Preparación del Equipo

Se llena parcialmente un beaker de 600ml con agua destilada y enfriada a un nivel donde pueda llegar a la parte superior de la tapa del picnómetro, el cual se sumergirá a una profundidad mayor de 40mm. Se sumerge el beaker parcialmente en el baño de agua a una profundidad mayor de 100 mm, con la parte superior del beaker sobre el nivel del baño de agua. Se sujeta el beaker

en esta posición, se mantiene la temperatura del baño de agua dentro de 0.1°C de la temperatura de ensayo.

4.9.3. Calibración del Picnómetro

Está completamente limpio y seco, pesado con incerteza de $\pm 0.1\text{mg}$. y se designa a esta masa A. Se remueve el beaker del baño de agua, se llena el picnómetro con agua desionizada y enfriada, se coloca la tapa despacio en el picnómetro. Se pone el picnómetro dentro del beaker y se presiona fuerte la tapa. Se retorna el beaker al baño de agua. Se deja que el picnómetro permanezca dentro del agua por un período mayor a 30min. Se remueve el picnómetro, inmediatamente se seca la parte superior de la tapa con un trozo de una toalla entonces rápidamente se seca la parte restante externa del picnómetro y pese con incerteza de $\pm 1\text{mg}$. Se designa el peso del picnómetro mas agua como B.

4.9.4. Procedimiento

Se calienta con cuidado la muestra, se agita para prevenir el sobrecalentamiento local hasta que la muestra sea suficientemente fluida para verterla. No se calienta por más de 30min. y se evita incorporar burbujas de aire dentro de la muestra.

Se vierte suficiente muestra dentro del picnómetro limpio, seco y calentado y se llena cerca de tres cuartos de la capacidad. Se debe tomar precauciones y cuidados de que el material no toque los lados del picnómetro en la parte de arriba y debe prevenirse la inclusión de burbujas de aire. Se deja que el picnómetro y su contenido se enfríen a temperatura ambiente por un período no menor a 40 minutos y se pesa con el tapón con incerteza de $\pm 1\text{mg}$. Se designa

la masa del picnómetro mas la muestra como C. Si existe alguna burbuja de aire, se debe remover aplicando calor con una llama suave de un mechero bunsen. No se debe sobrecalentar el asfalto al aplicar la llama por exceder el tiempo de aplicación.

Remueva el beaker del baño de agua. Se llena el picnómetro que contiene el asfalto con agua destilada, se coloca la tapa suavemente sobre el picnómetro sin dejar alguna burbuja dentro del mismo. Se pone el picnómetro dentro del beaker y se presiona firmemente la tapa retornando luego el beaker al baño de agua. Se deja que el picnómetro permanezca dentro del baño de agua por un período mayor a 30 minutos. Posteriormente se remueve del baño se seca y se pesa, designando esta masa como D.

4.9.5. Cálculos

Se realiza el cálculo de la densidad relativa con incerteza de ± 0.001 de la siguiente manera:

$$\text{Densidad Relativa} = (C - A) / [(B - A) - (D - C)]$$

Donde:

A = masa del picnómetro (mas tapa)

B = masa del picnómetro lleno de agua

C = masa del picnómetro lleno parcialmente con asfalto y

D = masa del picnómetro mas asfalto más agua.

Se calcula la densidad incerteza de ± 0.001 de la siguiente manera:

$$\text{Densidad} = \text{gravedad específica} \times WT$$

Donde :

WT = densidad del agua a la temperatura de ensayo

Temperatura °C	Densidad de Agua Kg/m ³
15.0	999.1
25.0	997.0

4.10. Ensayo de la Viscosidad 60 °C, Poises mediante el método ASTM D 2171

4.10.1.Preparación de la Muestra

Se calienta la muestra evitando el sobrecalentamiento local, hasta que esté suficientemente fluida para verterla, se agita la muestra para transferir el calor y asegurar uniformidad. Se transfiere un mínimo de 20ml dentro de un contenedor disponible y se calienta a $135 \pm 5.5^{\circ}\text{C}$ ($275 \pm 10^{\circ}\text{F}$), se agita para evitar el sobrecalentamiento y evitar el retener aire.

4.10.2. Procedimiento

Se mantiene la temperatura del baño a $60 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ ($140 \pm 0.05^{\circ}\text{F}$). Se utiliza el viscosímetro CANONN – MANING 12 202 A precalentado a $135 \pm 5.5^{\circ}\text{C}$ ($275 \pm 10^{\circ}\text{F}$). Se llena el viscosímetro introduciendo la muestra preparada dentro de $\pm 2\text{mm}$ de la línea de llenado E (Fig. 2, Fig. 3 y Fig. 4).

Se coloca el viscosímetro cargado en baño a $135 \pm 5.5^{\circ}\text{C}$ ($275 \pm 10^{\circ}\text{F}$), por un tiempo de $10 \pm 2\text{min.}$ para dejar escapar las burbujas de aire. Se remueve el viscosímetro del baño y dentro de los 5min se inserta el viscosímetro en el sujetador y se posiciona el viscosímetro de forma vertical en el baño a $60 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ ($140 \pm 0.05^{\circ}\text{F}$) tal que la marca superior de tiempo sea por lo menos 20mm bajo el nivel del líquido del baño.

Se establece vacío a $40.0 \pm 0.07\text{kPa}$ ($300\text{mm} \pm 0.5\text{mm Hg}$) abajo de la presión atmosférica en el sistema de vacío y se conecta el sistema de vacío al viscosímetro con la palanca de la válvula o llave de paso cerrada en la línea principal al viscosímetro.

Después que el viscosímetro esté en el baño por $30 \pm 5\text{min}$, inicie el flujo del asfalto dentro del viscosímetro al abrir la palanca de la válvula o llave de paso en la línea principal al sistema de vacío. Se mide con incerteza de $\pm 0.1\text{s}$ el tiempo requerido para que el borde principal del menisco que pase sucesivamente dentro de las dos marcas de tiempo.

Una vez completado el ensayo, se limpia completamente el viscosímetro con varias lavadas con un solvente apropiado completamente miscible con la muestra, seguidamente de un solvente volátil. Se seca el tubo al pasar un flujo bajo de aire filtrado y seco dentro del capilar por 2min, o hasta que las trazas del solvente hayan sido removidas. El viscosímetro puede limpiarse por medio de un horno de limpieza de cristalería a una temperatura que no exceda de 500°C (932°F), seguida de lavado con agua destilada, acetona libre de residuos y aire filtrado y seco.

4.10.3. Cálculos

Se tiene como factor de calibración para el primer bulbo un valor de 20.68 y para el segundo bulbo un factor de 5.84, que corresponden al par de marcas de tiempo usados para la determinación. Se calcula y reporta la viscosidad con tres decimales significativos usando la siguiente ecuación:

$$\text{Viscosidad, Pa} \cdot \text{s} = (Kt)$$

Donde: K = factor de calibración seleccionado $\text{Pa} \cdot \text{s/s}$, y

t = tiempo de flujo, s

Si el factor de la constante de calibración del viscosímetro (Kcgs) es conocido en unidades CGS (Poise/s) calcule el factor de calibración (Ksi) en unidades SI

$$Ksi = (Pa \cdot s/s) = Kcgs / 10 \text{ ó } (P/s) / 10$$

4.11. Determinación de la Viscosidad 135 °C, cSt mediante el método ASTM D 2170

4.11.1. Preparación de la Muestra

Para minimizar la pérdida de componentes volátiles y para mantener resultados reproducibles se procede como sigue: se deja las muestras selladas como se recibieron, para que alcance la temperatura ambiente. Se abre el contenedor de la muestra y se mezcla la muestra completamente por medio de agitación por 30s teniendo cuidado para prevenir la retención de aire. Inmediatamente cargue el viscosímetro o si el ensayo se hace mas tarde ponga aproximadamente 20ml en un contenedor limpio y seco de aproximadamente 30ml de capacidad e inmediatamente séllelo con un sello hermético.

4.11.2. Procedimiento para Cemento Asfáltico

Se calienta la muestra con cuidado de prevenir el sobrecalentamiento local hasta que esté suficientemente fluida para trasvasar, ocasionalmente se agita la muestra para ayudar la transferencia de calor y para asegurar uniformidad. Transferir un mínimo de 20ml dentro del contenedor disponible y caliente a $275 \pm 10^{\circ}\text{F}$ ($135 \pm 5.5^{\circ}\text{C}$), se agita ocasionalmente la muestra para evitar el sobrecalentamiento y tenga cuidado para prevenir el aire atrapado. Se mantiene el baño a la temperatura de ensayo dentro de $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0.02^{\circ}\text{F}$) para la temperatura de ensayo de 135°C (275°F). Se selecciona el viscosímetro CANNON – FENSKE 500 W156, con factor para el primer bulbo de 7.97917 y

para el segundo bulbo de 5.70592, limpio y seco pre-calentándolo a la temperatura de ensayo. Se carga el viscosímetro en la manera dirigida según el diseño del instrumento. Se deja el viscosímetro cargado para que permanezca en el baño hasta que alcance la temperatura de ensayo. Se inicia el flujo del asfalto dentro del viscosímetro, luego se mide dentro de ± 0.1 s el tiempo requerido para que la cabeza del menisco pase de la primer marca de cronometraje a la segunda. Una vez completado el ensayo limpie profundamente el viscosímetro con un solvente adecuado que sea miscible completamente con la muestra, seguido de un solvente completamente volátil. Secar el tubo al pasar un pequeño flujo de aire seco a través del capilar por 2 minutos, o hasta que las trazas de solvente sean removidas. Alternativamente el viscosímetro puede ser limpiado en un horno de limpieza para vidrio a una temperatura que no exceda de 500°C (932°F), luego se lava con agua destilada ó agua desionizada, acetona libre de residuos y aire seco filtrado. Periódicamente limpie el instrumento con una solución de ácido fuerte para remover los depósitos orgánicos, limpie profundamente con agua destilada y acetona libre de residuos y seque con aire filtrado y seco. Una solución limpiadora de ácido crómico puede ser preparado por adición con las precauciones adecuadas de 800ml de ácido sulfúrico concentrado a una solución de 92g de dicromato de sodio en 458ml de agua. El uso de una solución limpiadora de ácido sulfúrico comercialmente disponible es aceptable. Soluciones limpiadoras de ácido no cromógeno conteniendo fuertes oxidantes pueden ser usados, y así evitar los problemas de desechos que contienen cromo. El uso de soluciones limpiadoras alcalinas puede resultar en un cambio de la calibración del viscosímetro y no es recomendado.

4.11.3. Cálculos

Se calcula la viscosidad cinemática a tres significantes decimales usando la siguiente ecuación:

$$\text{Viscosidad cinemática, mm}^2/\text{s (cSt.)} = Ct$$

Donde:

C = constante de calibración del viscosímetro mm²/c² cSt./s, y

T = tiempo transcurrido, s.

4.12. Cálculo estadístico

Para el cálculo estadístico se determinó la desviación estándar de las muestras, mediante la siguiente ecuación

$$s = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}}$$

donde **s** es el valor de la desviación estándar, **x** es el valor de la muestra y **n** es la cantidad de muestras analizadas.

5. DETERMINACION DE RELACION ENTRE LA PENETRACION Y LA VISCOSIDAD ABSOLUTA

Las muestras analizadas proporcionaron valores como resultado de las pruebas de penetración y viscosidad absoluta para cada muestra las cuales se analizaron para determinar su relación matemática entre dichas propiedades.

Para determinar la relación matemática, se utilizó el método de mínimos cuadrados, ajustando esta relación a una ecuación del tipo $y = a + b \cdot x$; para lo cual se realizaron los siguientes cálculos

$$a = \frac{\sum y - b \cdot \sum x}{n}$$

$$b = \frac{n \sum xy - \sum x \cdot \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

en donde y representa el valor de la viscosidad absoluta y x representa el valor de la penetración y n representa el número de muestras .

Para determinar el coeficiente de correlación r , mediante el mismo método, se realizó el siguiente cálculo.

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \cdot \sum y}{\sqrt{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)(n \sum y^2 - (\sum y)^2)}}$$

6. RESULTADOS

Tabla III. Resultado de los análisis de penetración, punto de inflamabilidad, ductilidad y solubilidad para el asfalto caracterizado por penetración de grado 60-70 producido en Guatemala.

Número de Muestra	Penetración 25°C, 100 g, 5 seg.	Punto de Inflamabilidad Tasa abierta, °F, COC (°C)	Ductilidad 25°C 5 cm/minuto	Solubilidad en Tricoloroetileno %
1	64	561 (293.9)	105	100
2	65	570 (298.9)	106	100
3	63	536 (280.0)	105	100
4	63	541 (282.8)	107	100
5	67	540 (282.2)	105	100
6	61	540 (282.2)	105	100
7	65	565 (296.1)	107	100
8	62	571 (299.4)	105	100
9	66	530 (276.7)	105	100
10	68	531 (277.2)	106	100
11	65	572 (300.0)	105	100
12	62	541 (282.8)	107	100
13	62	539 (281.7)	105	100
14	65	537 (280.6)	105	100
15	64	550 (287.8)	106	100
Promedio	64.13	548 (286.7)	105.6	100
Requerido	Mínimo 60 Máximo 70	Mínimo 450	Mínimo 100	Mínimo 99.0
Desviación estándar	1.9952	15.2009	0.8	0.0

Figura 9. **Penetración del asfalto 60-70 caracterizado según norma ASTM D 5**

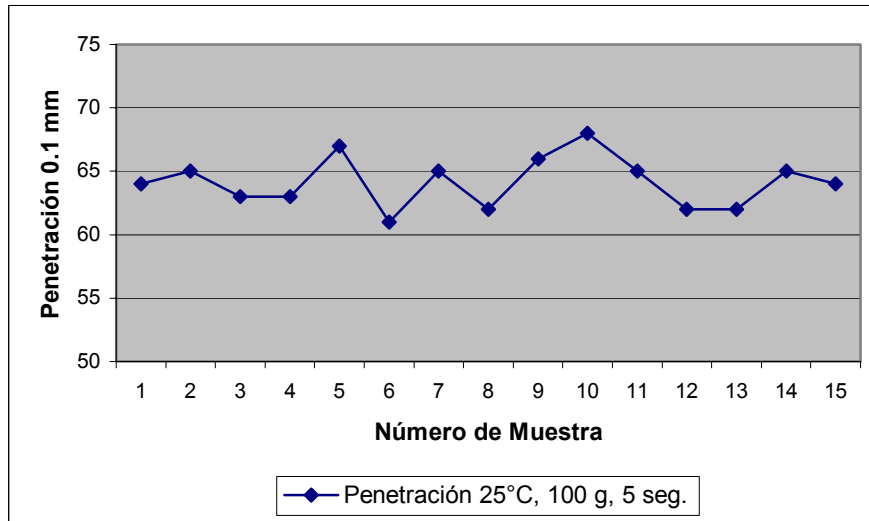


Figura 10. **Punto de inflamabilidad del asfalto 60-70 caracterizado según norma ASTM D 92**

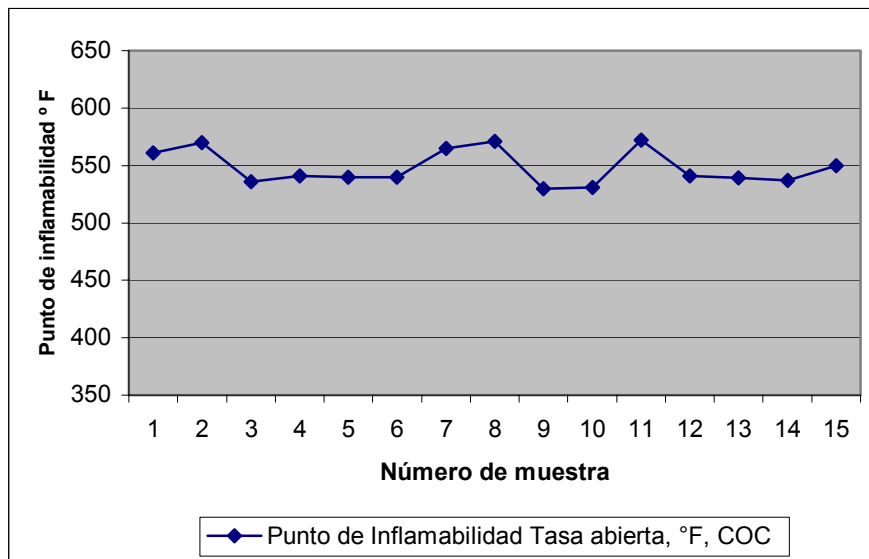


Figura 11. **Ductilidad del asfalto 60-70 caracterizado según norma ASTM D 113**

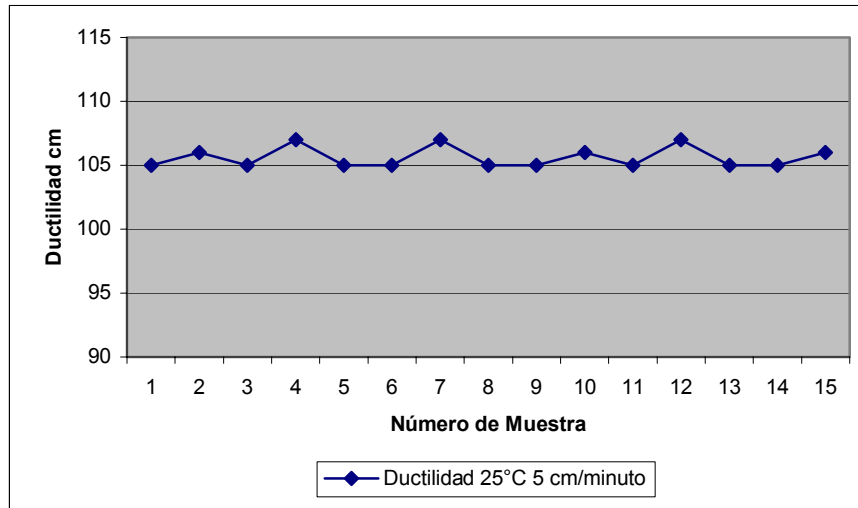


Figura 12. **Porcentaje de solubilidad en tricloroetileno del asfalto 60-70 caracterizado según norma ASTM D 2042**

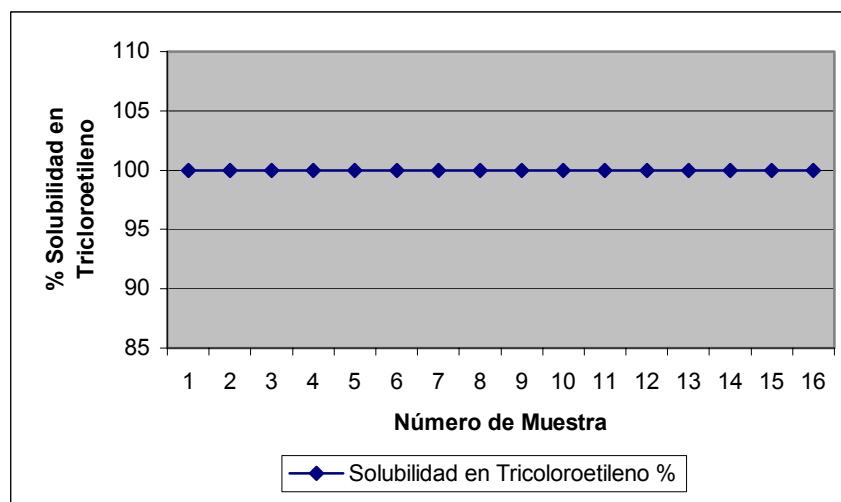


Tabla IV. Resultado de los análisis de penetración, y ductilidad, de ensayos sobre residuos TFOT para el asfalto caracterizado por penetración de grado 60-70 producido en Guatemala

Número de Muestra	Penetración 25°C, 100 g, 5 s %	Ductilidad 25°C 5 cm/minuto
1	63	105
2	67	106
3	67	105
4	67	107
5	64	105
6	61	105
7	66	107
8	67	105
9	67	105
10	68	106
11	66	105
12	64	107
13	63	105
14	66	105
15	65	106
Promedio	65.4	105.6
Requerido	Mínimo 47	Mínimo 75
Desviación estándar	1.9928	0.8619

Figura 13.

Penetración del asfalto 60-70 caracterizado según norma ASTM D 5, sobre muestra a la cual se realizó la prueba de película delgada en horno rotatorio, según norma ASTM D 1754

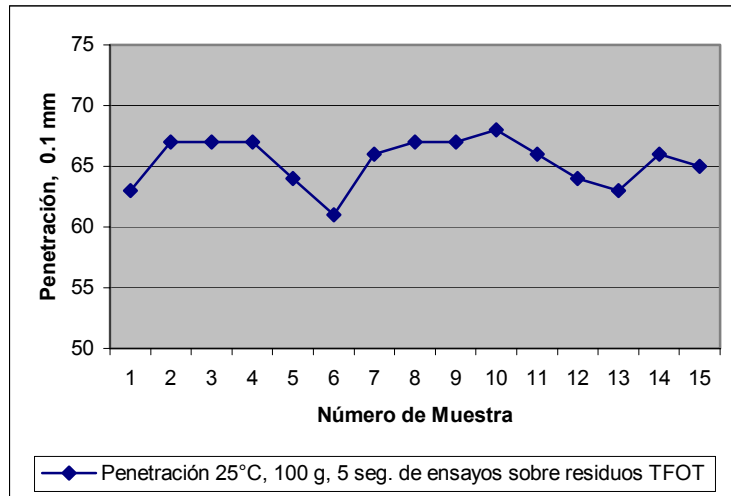


Figura 14.

Ductilidad del asfalto 60-70 caracterizado según norma ASTM D 113, sobre muestra a la cual se realizó la prueba de película delgada en horno rotatorio, según norma ASTM D 1754

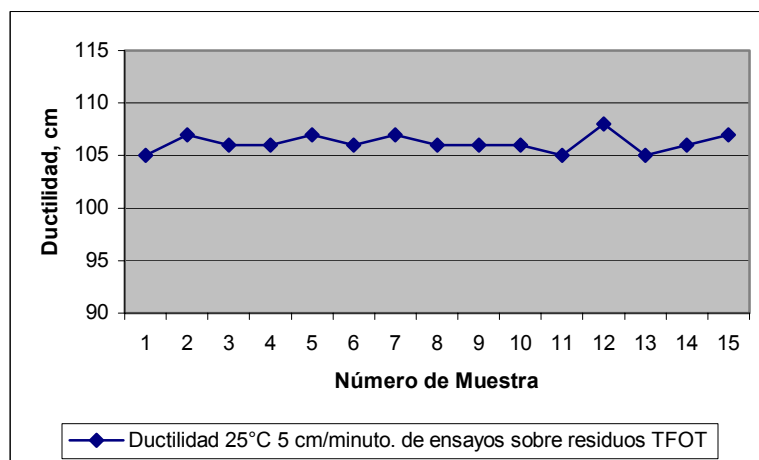


Tabla V. **Resultado de los análisis de viscosidad, peso y gravedad específica para el asfalto caracterizado por penetración de grado 60-70 producido en Guatemala.**

Número de Muestra	Viscosidad 60°C. Poises	Viscosidad 135 °C. cSt	Peso (lbs/gal) g/litro	Gravedad específica. 15°C
1	2,899	518	8.879 (1063.9)	1.065
2	2,674	490	8.862 (1061.9)	1.063
3	2,961	548	8.879 (1063.9)	1.065
4	2,921	519	8.879 (1063.9)	1.065
5	2,640	491	8.862 (1061.9)	1.063
6	3,004	546	8.871 (1063.0)	1.064
7	2,680	495	8.879 (1063.9)	1.065
8	2,985	539	8.880 (1064.0)	1.065
9	2,700	500	8.879 (1063.9)	1.065
10	2,600	490	8.880 (1064.0)	1.066
11	2,685	495	8.862 (1061.9)	1.063
12	2,975	535	8.878 (1063.8)	1.065
13	2,780	537	8.878 (1063.8)	1.065
14	2,680	495	8.875 (1063.5)	1.065
15	2,880	540	8.875 (1063.5)	1.065
Promedio	2804.27	515.87	8.875 (1063.5)	1.065
Desviación estándar	145.6162	22.9903	0.006906174	0.00091

Figura 15. **Viscosidad del asfalto 60-70 caracterizado, según norma ASTM D 2171**

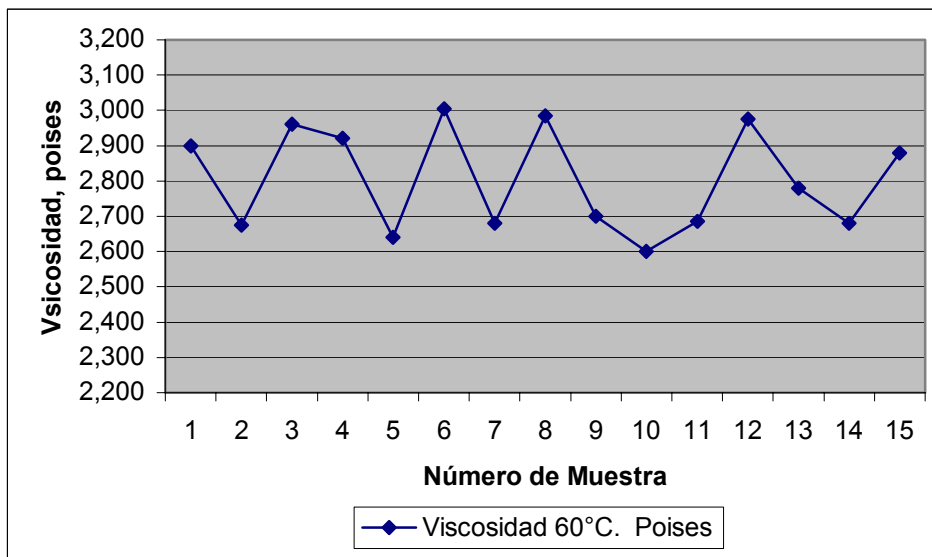


Figura 16. **Viscosidad del asfalto 60-70 caracterizado según norma ASTM D 2170**

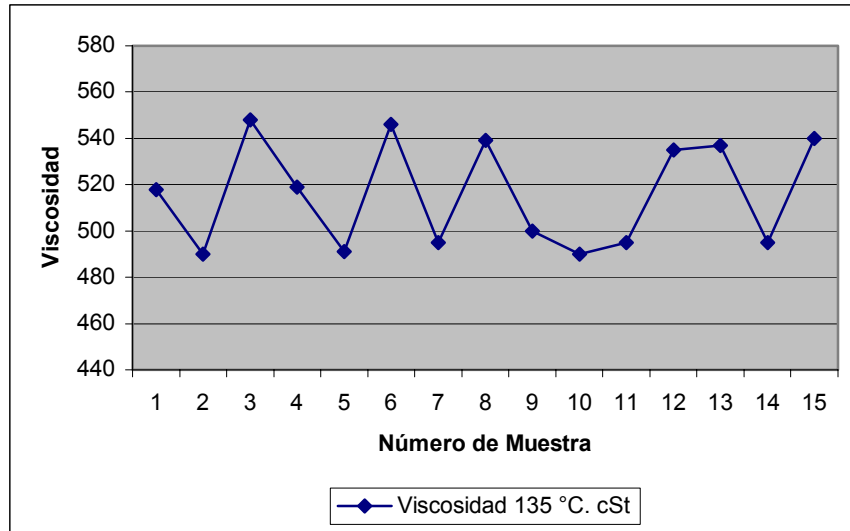


Figura 17. **Peso del asfalto 60-70 caracterizado, según norma ASTM D 70**

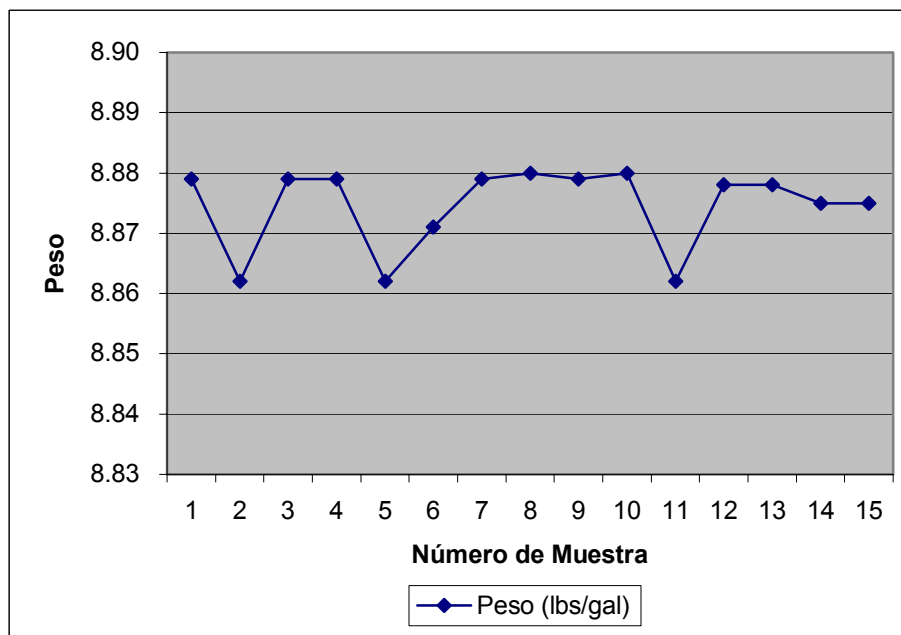


Figura 18. **Gravedad específica del asfalto 60-70 caracterizado según norma ASTM D 70**

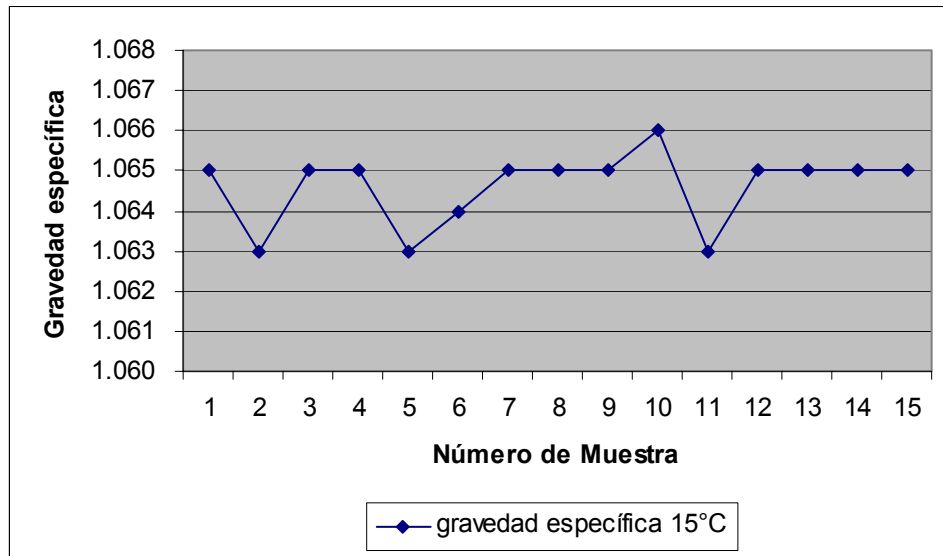
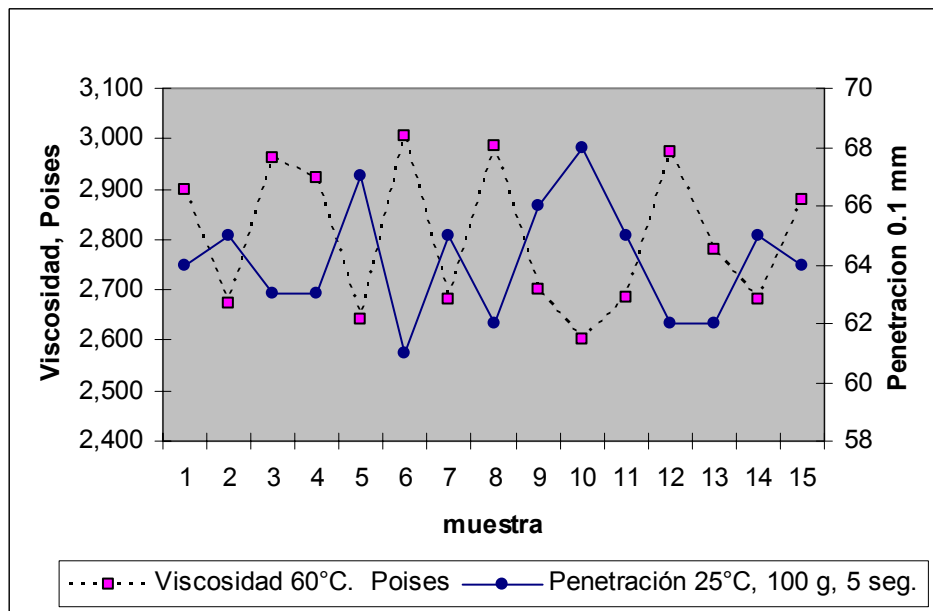


Figura 19. **Comportamiento de la viscosidad y la penetración del asfalto 60-70 caracterizado según normas ASTM**



De los valores obtenidos de penetración y viscosidad absoluta se obtuvo mediante análisis de regresión lineal la siguiente ecuación.

$$P = \frac{7392.15 - V}{71.36}$$

Donde

P = Valor de la penetración (25°C, 100 g, 5 seg.) y

V = Valor de la viscosidad (60°C. Poises) del asfalto caracterizado.

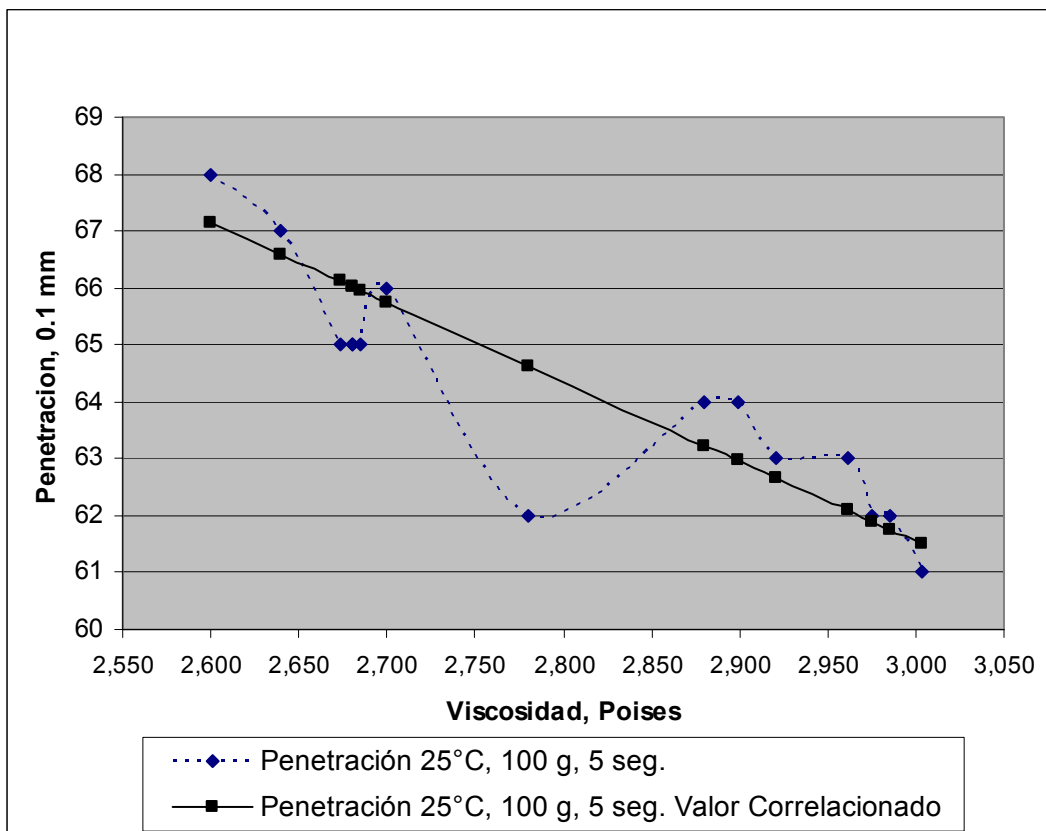
Con un coeficiente de correlación $r = -0.9245$

La relación entre los valores experimentales y correlacionados de la penetración y la viscosidad absoluta se describen en la Tabla VI

Tabla VI. Relación de valores experimentales y correlacionados de la penetración y la viscosidad absoluta del asfalto 60-70 caracterizado según normas ASTM

Viscosidad 60°C. Poises	Penetración 25°C, 100 g, 5 seg.	Penetración 25°C, 100 g, 5 seg. Valor Correlacionado
2,600	68	67.15
2,640	67	66.59
2,674	65	66.12
2,680	65	66.03
2,680	65	66.03
2,685	65	65.96
2,700	66	65.75
2,780	62	64.63
2,880	64	63.23
2,899	64	62.96
2,921	63	62.66
2,961	63	62.10
2,975	62	61.90
2,985	62	61.76
3,004	61	61.49

Figura 20. **Relación de valores experimentales y correlacionados de la penetración y la viscosidad absoluta del asfalto 60-70 caracterizado según normas ASTM**



El resultado del valor del coeficiente de correlación de la relación entre la penetración y la viscosidad absoluta es de $r = -0.9245$

7. INTERPRETACION DE RESULTADOS

El cumplimiento de los parámetros establecidos en las normas ASTM 2003, para el asfalto clasificado por penetración de grado 60-70 producido en Guatemala, a partir de petróleo guatemalteco, en todos los ensayos practicados a las muestras analizadas, de acuerdo a las especificaciones establecidas por las mismas, definen la buena calidad del asfalto 60-70. Determinando que se aplica un proceso de producción de asfalto correcto en la producción del asfalto en cuestión. Los datos estadísticos indican a través de cada desviación estándar la confiabilidad del asfalto en sus especificaciones y así mismo del proceso. El comportamiento de los resultados se pueden observar en las figuras 1 a la 6 en los resultados.

El resultado del principal parámetro de clasificación, el grado de penetración, dio como resultado promedio de 64.13 décimas de mm y con una desviación estándar de 1.99. El valor según la especificación debe estar dentro del rango de 60 a 70, en este caso siempre se mantuvo dentro de lo establecido, lo cual hace del asfalto en estudio, un material confiable, logrando que su elección sea satisfactoria al utilizarlo por su comportamiento esperado y requerido para satisfacer las necesidades impuestas por las condiciones propias del lugar de aplicación.

El siguiente parámetro en estudio es el punto de inflamabilidad, el cual siempre presentó valores superiores al mínimo requerido (450 °F), con un valor promedio igual a 548.27 °F con una desviación estándar de 15.20, lo que hace del asfalto un material estable para trabajar aportando condiciones seguras, representa un beneficio al constructor y sobre todo en la integridad del trabajador, siendo un material ventajoso.

Los resultados de ductilidad del asfalto en estudio muestran valores que están sobre el parámetro indicado, con valor promedio de 105.6 cm y desviación estándar de 0.8, lo que manifiesta la capacidad para su aplicación y su aptitud para poder trabajar el mismo con los demás elementos que intervienen en el proceso de construcción para el cual se utiliza.

Los valores de la solubilidad del asfalto en tricloroetileno, fueron del 100 %, lo que muestran la carencia de impurezas en el mismo, resultado que lo hace confiable como materia prima de trabajo y lo proyecta como un producto de alta calidad de fabricación.

Después de realizar los ensayos TFOT a las muestras se realizaron los ensayos de penetración y ductilidad, los cuales también cumplieron con las especificaciones mínimas requeridas por las normas ASTM. Dichos resultados vienen a corroborar y reforzar la calidad del asfalto y los beneficios que representan el cumplimiento de cada uno de estas características, así como de su confiabilidad como producto. Siendo los resultados 65.4 % de penetración retenida con desviación estándar 1.99 y ductilidad 106.2 cm con desviación estándar de 0.86

Los análisis de viscosidad a 60°C expresado en poises, de viscosidad a 135 °C expresados en cSt, peso y gravedad específica son parámetros ampliamente utilizados en la industria del asfalto tanto en su comercialización como en referencias, comparaciones y estudios. Los resultados obtenidos muestran valores estables y cuyas desviaciones estándar les dan confiabilidad para ser utilizados. Viscosidad a 60°C con valor promedio de 2,804.27 poises, con desviación estándar de 145.62. Viscosidad a 135°F de 515.87 cSt, con desviación estándar de 22.99. Densidad promedio de 8.875 lb/galón con desviación estándar de 0.007 y gravedad específica de 1.065 con desviación

estándar de 0.0009. Los comportamientos se pueden observar en las Figuras 7 a la 9 en los resultados.

Al analizar la relación de los valores de penetración y viscosidad absoluta se determinó que los son inversamente proporcionales, realizándose la confrontación mediante el método del análisis de regresión lineal. El resultado se describe mediante la ecuación $P = (7392.15 - V) / 71.36$. De esta determinación se logra establecer valores probables de una de estas propiedades a partir del valor de la otra. El resultado del valor del coeficiente de correlación de la relación entre la penetración y la viscosidad es de $r = - 0.9245$; valor que determina una alta correlación y por lo tanto un nivel aceptable de confiabilidad de la ecuación de relación, es además indicativo del nivel de relación entre las propiedades de penetración y viscosidad.

CONCLUSIONES

1. El asfalto clasificado por penetración de grado 60-70, producido en Guatemala a partir del petróleo proveniente de la cuenca sedimentaria llamada Petén Norte o Paso Caballos del campo petrolero Xan, cumple con los estándares de la norma ASTM D 946.
2. Todas las características evaluadas mantienen resultados estables dentro de los rangos establecidos, haciendo del asfalto caracterizado un producto confiable.
3. El valor de la penetración es inversamente proporcional al valor de la viscosidad absoluta.

RECOMENDACIONES

1. Es necesario realizar la caracterización de todos los asfaltos producidos en Guatemala, para determinar su calidad y optimizar su uso sobre la base de sus diferentes propiedades.
2. Se requiere analizar y comparar las propiedades de los diferentes tipos de asfaltos e identificar relaciones entre ellos.
3. Se debe hacer de uso público los resultados de los diferentes estudios y caracterizaciones de asfaltos producidos a partir del petróleo guatemalteco.
4. Se debe hacer el estudio de nuevos análisis que se puedan realizar a los asfaltos y de los requerimientos que necesitan.

BIBLIOGRAFÍA

1. Asphalt Institute. **Mix Designs Methods for Asphalt Concrete and Hot Mix Types Ms-2**. Six Edition, Asphalt Institute Manual Series No. 2 MS-2 March 1995.
2. Asphalt Institute. **Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente**. Serie de Manuales No. 22 MS-22 USA
3. Asphalt Institute. **Maintenance, Asphalt in Paviment Maintenance, MS-16, Third Edition**. Manual Series No. 16 MS-16 USA
4. Gary, James H. y Glenn E. Handwerk. **Refino de petróleo**. España: Editorial Reverté, 1980. 392 pp.
5. Hines, William W. y Montgomery, Douglas C. **Probabilidad y estadística**. 3 ed. México: Compañía Editorial Continental, S.A. de CV, 1995. 834 pp.
6. MCGennis, Robert B y otros. **Superpave, Antecedentes de los ensayos de ligantes asfálticos de Superpave**. Trad. Ing. Vargas de Morgado Myriam e Ing. Osio, Horacio. USA 1994. 150 pp.
7. Naiman, Arnold y otros. **Introducción a la estadística**. 3 ed. México: Editorial Mc Graw Hill, 1987. 402 pp.

8. **Normas ASTM Vol 04-03.** Junio 2003 Road and Paving Materials; Vehicle-Pavement Systems, USA 2003.
9. **Normas ASTM Vol 05-01** Junio 2003 Road and Paving Materials; Vehicle-Pavement Systems, USA 2003.
10. Robb Luis A. **Diccionario para Ingenieros.** 39a. Impresión Febrero 1992.