

**MODIFICACIÓN DE ASFALTO OXIDADO CON POLIESTIRENO ESPUMADO  
POST CONSUMO PARA IMPERMEABILIZACIÓN**



**DIANA CAROLINA GOMEZ  
MARIA ALEJANDRA MELGAREJO SALAZAR**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2010**

**MODIFICACIÓN DE ASFALTO OXIDADO CON POLIESTIRENO ESPUMADO  
POST CONSUMO PARA IMPERMEABILIZACIÓN**



**DIANA CAROLINA GOMEZ  
MARIA ALEJANDRA MELGAREJO SALAZAR**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar el título de  
Ingenieras Químicas.**

**Director de Proyecto  
JOSE CARLOS GUTIERREZ GALLEGO  
Químico M.Sc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA  
2010**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan su agradecimiento:

A **Dios**, por llenarnos de bendiciones y sabiduría durante el trayecto de la carrera profesional y el desarrollo de este trabajo.

A la **Universidad Industrial de Santander**, por darnos la oportunidad de crecer como personas y formarnos como excelentes profesionales.

A **José Carlos Gutiérrez Gallego**, Químico M.Sc. Director de proyecto de grado, por haber compartido sus conocimientos como profesional y darnos la orientación necesaria para el desarrollo de la investigación.

A aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en el desarrollo de este trabajo de grado.

## DEDICATORIA

A DIOS,

Por darme salud y sabiduría,  
por la hermosa familia que tengo,  
por haberme permitido crecer como persona y formarme como profesional  
y darme la oportunidad de alcanzar este logro que me llena de satisfacción y alegría.

A mi Madre ROSA MARÍA GÓMEZ y Abuelita ISABEL

Por ser el motor y constante apoyo durante el desarrollo de esta etapa de mi vida,  
por su esfuerzo, dedicación y preocupación por mi futuro.

Las amo.

A mis Hermanos CAMILO, SEBASTIÁN y WENDY,

por existir siendo mi mayor motivación y alegría.

A LINA JULIANA GONZÁLEZ,

por haber sido la persona que me apoyo durante casi todo el transcurso de mi carrera.

A mi Novio ALBERTO SANCHEZ,

por estar a mi lado, por sus consejos, colaboración y momentos de alegría

A MARÍA ALEJANDRA MELGAREJO,

Por ser mi compañera y amiga durante el trayecto de la carrera y desarrollo de este  
trabajo, por su desempeño, y PORQUE ESTE LOGRO TAN ANHELANDO LO  
CONSEGUIMOS LAS DOS.

A mis Amigos CAMILITO AGUILAR, ALEXANDER, SANDRA, LINA

Que me apoyaron en mi formación profesional, apoyándome y entendiéndome

En muchas circunstancias de la vida.

CAROLINA GÓMEZ.

DEDICATORIA

A DIOS

*Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr  
Mis Objetivos, además de su infinita bondad y amor por esa hermosa  
y maravillosa familia que tengo aunque mi hermanito esté en el  
Cielo; se que desde allá nos cuida y protege*

A mis padres TEOFILO SALAZAR Y ABELARDO MELGAREJO  
*Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por los  
ejemplos de perseverancia y constancia que me ha permitido ser una persona  
de bien, pero más que nada, por su amor. LOS AMO*

A mis hermanas PAULA MELGAREJO Y LIDIA FERNANDEZ  
*Por existir por darme alegría. LOS AMO.*

A mi mejor amiga a ti DIANA CAROLINA GOMEZ Por ser mi compañera, mi amiga  
Durante el trayecto de la carrera y el desarrollo de este trabajo, por tu carisma, por  
entenderme y tenerme tanta paciencia porque al fin terminamos este logro tan  
anhelado.

*A mis amigos sobre todo a ustedes, ALEXANDER, SOFIA, LIDIA, CAROL,  
JIMENA, SANDRA que en todo tiempo me han  
Apoyado y ayudado.*

*Por último, a cada una de nosotras, que formamos parte de este proyecto DIANA  
CAROLINA Y MARIJA ALEJANDRA, Gracias por conocernos, y porque supimos callar y  
hablar, en pro de nuestro trabajo.*

MARIJA ALEJANDRA

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCION	1
1.1. Poliestireno	2
1.1.1. Generalidades	2
1.1.2. Síntesis	3
1.1.3. Tipos de poliestireno	3
1.1.3.1. Poliestireno expandible (EPS)	3
1.2. ASFALTO	4
1.2.1. Generalidades	4
1.2.2. Composición	5
1.2.3. Síntesis	5
1.3. ASFALTOS OXIDADOS	6
1.3.1. Generalidades	6
1.3.2. Aplicaciones	6
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	7
2.1. MATERIALES EMPLEADOS	8
2.1.1. Asfalto Oxidado	8
2.1.1.1. Caracterización	8
2.1.2. Poliestireno espumado	8
2.2. PREPARACIÓN DEL ASFALTO MODIFICADO CON EPS POST-CONSUMO	8
2.3. CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO OXIDADO MODIFICADO CON EPS POST-CONSUMO	9
2.3.1. Punto de ablandamiento (ANILLO Y BOLA)	9
2.3.2. Ductilidad de materiales asfálticos	9
2.3.3. Penetración de materiales asfálticos	10

2.4. COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO OXIDADO MODIFICADO CON EPS POST-CONSUMO	10
2.4.1. Resistencia al ataque químico con agentes diluidos al 10%	10
2.4.2. Resistencia al ataque químico con ácido sulfúrico concentrado	11
2.4.3. Peso específico	11
2.4.4. Ensayo de impermeabilización	11
2.4.5. Ensayo de inflamabilidad	12
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	13
3.1. MATERIALES EMPLEADOS	13
3.1.1. Asfalto oxidado	13
3.1.1.1. Caracterización	13
3.2. PREPARACIÓN DEL ASFALTO MODIFICADO CON EPS POST-CONSUMO	14
3.3. CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO MODIFICADO CON EPS POST-CONSUMO	15
3.3.1. Punto de ablandamiento (ANILLO Y BOLA)	15
3.3.2. Ductilidad de materiales asfálticos	16
3.3.3. Penetración de materiales asfálticos	17
3.4. COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON EPA POST-CONSUMO	17
3.4.1. Resistencia al ataque químico con agentes diluidos al 10%	17
3.4.2. Resistencia al ataque químico con ácido sulfúrico concentrado	19
3.4.3. Peso específico	20
3.4.4. Ensayo de impermeabilización	21
3.4.5. Ensayo de inflamabilidad	21
4. CONCLUSIONES	23
5. RECOMENDACIONES	24
6. BIBLIOGRAFIA	25
7. ANEXOS	28

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Estructura Molecular del Estireno	28
Figura 2. Polimerización del Estireno	28
Figura 3. Estructura Molecular del Poliestireno	29
Figura 4. Clasificación del Poliestireno	30
Figura 5. Composición del asfalto	31
Figura 6. Obtención del asfalto	32
Figura 7. Obtención Asfaltos Oxidados	33
Figura 8. Anillo soportador sujetador de anillo guía para centrar esfera y montaje que muestra dos anillos del aparato	38
Figura 9. Molde y placa para ductilímetro	42
Figura 10. Agujas para ensayo de penetración	46

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

	Pág.
Foto 1. Asfalto Oxidado	54
Foto 2. EPS- post-consumo	54
Foto 3. Esquema calentamiento del asfalto oxidado	55
Foto 4. Incorporación del EPS- post consumo al asfalto oxidado	55
Foto 5. Muestras obtenido de asfalto oxidado modificad con EPS-post consumo	56
Foto 6. Esquema ensayo de punto de ablandamiento (Anillo y Bola)	57
Foto 7. Punto de Ablandamiento	57
Foto 8. Esquema ensayo de Ductilidad	58
Foto 9. Ductilómetro	58
Foto 10. Placas de bronce con asfalto, sumergida en un baño de agua destilada a 25°C	58
Foto 11. Montaje de la probeta en el Ductilómetro	59
Foto 12. Estiramiento hasta su rotura	59
Foto 13. Esquema ensayo de Penetración	60
Foto 14. Penetrómetro Manual	60
Foto 15. Penetración de la aguja en unidades de 0.1 mm	60
Foto 16. Muestras	61
Foto17. Resistencia al Acido Acético 10% p/p	61
Foto 18. Resistencia al Acido Sulfúrico 10% p/p	61
Foto 19. Resistencia al Acido Clorhídrico 10% p/p	62

Foto 20. Resistencia Hidróxido de Sodio 10% p/p	62
Foto 21. Resistencia al Acido Acético % p/p a (25°C y 50°C)	62
Foto 22. Resistencia al Acido Sulfúrico 10% p/p a (25°C y 50°C)	63
Foto 23. Resistencia al Acido Clorhídrico 10% p/p a (25°C y 50°C)	63
Foto 24. Resistencia al Hidróxido de Sodio 10% p/p a (25°C y 50°C)	63
Foto 25. Muestra 70:30. Resistencia Acido Sulfúrico 10% p/p a (70 °C)	64
Foto 26. Muestra 90:10,80:20, Resistencia Acido Sulfúrico 10% p/p a (70°C)	64
Foto 27. Muestra Hidróxido de sodio 10% p/p a (70 °C)	64
Foto 28. Resistencia al Acido Sulfúrico puro a los 5 min	65
Foto 29. Resistencia al Acido Sulfúrico puro a los 15 min	65
Foto 30. Resistencia al Acido Sulfúrico puro Después de 1 hora	65
Foto 31. Solución disuelta en agua	66
Foto 32. Residuo terminada la sulfonación	66
Foto 33. Residuos de la mezcla después de la sulfonación	66
Foto 34. Solido irregular asfalto modificado con EPS post- consumo 67	
Foto 35. Peso Solido Irregular	67
Foto 36. Volumen Inicial	68
Foto 37. Volumen Final	68
Foto 38. Aplicación asfalto oxidado modificado sobre lámina de papel	69
Foto 39. Cajas de cada muestra para impermeabilización	69
Foto 40. Ensayo de impermeabilización	69
Foto 41. Ensayo de impermeabilización	70
Foto 42. Ensayo de impermeabilización Desprendimiento del papel	70
Foto 43. Esquema ensayo de inflamabilidad	71
Foto 44. Muestras 1, 2, 3, 4, 5, 6. Resistencia a la llama	71

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Especificaciones del asfalto oxidado encontrado en la literatura	13
Tabla 2. Especificaciones del asfalto oxidado	13
Tabla 3. Observaciones asfalto oxidado modificado con EPS post-consumo	14
Tabla 4. Muestras utilizadas en la prueba Punto de Ablandamiento	15
Tabla 5. Muestras utilizadas en la prueba de Ductilidad	16
Tabla 6. Mezclas utilizadas en la prueba de Penetración	17
Tabla 7. Mezclas utilizadas en la resistencia al ataque químico	18
Tabla 8. Resistencia al ataque químico	18
Tabla 9. Resistencia al ataque químico	18
Tabla 10. Resistencia al ataque químico con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> concentrado	19
Tabla 11. Peso Específico	20
Tabla 12. Resultados de Inflamabilidad	22
Tabla 13. Composición Asfáltenos	31
Tabla 14. Composición Máltenos	31
Tabla 15. Características definidas en la especificación ASTM E1	36
Tabla 16. Dimensiones de los recipientes para la muestra	46
Tabla 17. Valores penetración promedio	50

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. ESTRUCTURAS MOLECULARES	28
ANEXO B. CLASIFICACION DEL POLIESTIRENO	30
ANEXO C. COMPOSICION DEL ASFALTO	31
ANEXO D. OBTENCION DEL ASFALTO	32
ANEXO E. OBTENCION ASFALTOS OXIDADOS	33
ANEXO F. NORMAS INV E	34
ANEXO G. COMPLEMENTO TEORICO	51
ANEXO H. ASFALTO OXIDADO	53
ANEXO I. MATERIALES UTILIZADOS	54
ANEXO J. PREPARACIÓN ASFALTO MODIFICADO CON EPS POST-CONSUMO	55
ANEXO K. CARACTERIZACIÓN ASFALTO MODIFICADO CON EPS POST-CONSUMO	57
ANEXO L. RESISTENCIA AL ATAQUE QUÍMICO CON AGENTES DILUIDOS AL 10%	61
ANAEXO M. RESISTENCIA AL ATAQUE QUÍMICO CON ACIDO SULFÚRICO CONCENTRADO	65
ANEXO N. ENSAYO PESO ESPECÍFICO	67
ANEXO O. ENSAYO DE IMPERMEABILIZACION	69
ANEXO P. ENSAYO DE INFLAMABILIDAD	71
ANEXO Q. FICHAS DE SEGURIDAD	

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>PS</b>	Poliestireno
<b>EPS</b>	Poliestireno Expandido

## RESUMEN

**TITULO:** MODIFICACION DE ASFALTO OXIDADO CON POLIESTIRENO ESPUMADO POST-CONSUMO PARA LA IMPERMEABILIZACIÓN\*

**AUTORES:** DIANA CAROLINA GOMEZ  
MARIA ALEJANDRA MELGAREJO \*\*

**PALABRAS CLAVES:** Polímeros, Poliestireno Espumado, Asfalto Oxidado, Reciclaje, Asfalto Oxidado Modificado.

### CONTENIDO

El consumo de los materiales plásticos en el mundo moderno es evidente, debido a sus diversas aplicaciones, y la recuperación de estos materiales post-consumo capta la mayor atención, pues se busca disminuir los niveles de contaminación generada por estos residuos plásticos como el poliestireno espumado, pues es un material que ocupa gran volumen y es difícilmente biodegradable, por estas razones es necesario crear otras opciones de aplicación después de su uso, como ofrecer nuevas alternativas como materia prima en la formación de nuevos productos.

El objetivo de este proyecto fue aprovechar las características del poliestireno espumado post-consumo utilizándolo como modificador de asfalto oxidado, logrando su dispersión, mejorando sus propiedades fisicoquímicas y fisico-mecánicas. El asfalto oxidado modificado resultó ser un material con buena adherencia y homogeneidad al ser aplicado sobre láminas de papel, además su comportamiento como impermeabilizante resultó más eficaz que el del asfalto oxidado sin modificar. La adición del poliestireno espumado post-consumo al asfalto oxidado permite reducir costos de producción y a la vez mejora sus características aportándole dureza, rigidez, mayor resistencia a sustancias químicas y a temperaturas altas.

La modificación del asfalto oxidado con poliestireno espumado post-consumo se convierte en una gran alternativa de reciclaje, debido a que se busca mitigar el impacto ambiental, pues el EPS demora hasta tres siglos en degradarse en el ambiente, además se produce un material con valor agregado de amplio uso e importancia a nivel industrial y comercial.

---

\* Proyecto de Grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físico Químicas Escuela de Ingeniería Química. Director José Carlos Gutiérrez Gallego. Químico M.Sc

## ABSTRACT

**TITLE:** MODIFICATION OF RUSTED TARMAC WITH FOAMED LATER-CONSUMPTION POLYSTYRENE TO THE WATERPROOF\*

**AUTHORS:** DIANA CAROLINA GOMEZ  
MARIA ALEJANDRA MELGAREJO\*\*

**KEY WORDS:** Polymers, Foamed Polystyrene, Rusted Tarmac, Recycling, Rusted Changed Tarmac.

## CONTENTS

The consume of plastic materials on the modern world is clear, because of it is different applications and the recover of these later-consumption materials, capturing the biggest attention, looking forwards to reduce the pollution levels, created for these plastic wastes, like foamed polystyrene, because it's a material that takes up a big volume and it's too difficult to biodegradable, for these reasons is necessary to create different application's options after its use, like to offer new alternatives like raw material about information of new products.

The project's target is to use the foamed later-consumption polystyrene qualities, using it like modifier of rusted tarmac, getting it's dispersion, improving it's physical-chemistry and physical-mechanical properties. The rusted modified tarmac is a good adhesive and homogeneous material when it's applied over papersheets, also it's behaviour like waterproof is more effective than rusted not-changed tarmac. To stick foamed later-consumption polystyrene to rusted tarmac, let to reduce production costs and to improve it's characteristics, making it strong, rigid, more resistant to chemistry substances and high temperatures.

Rusted tarmac's modification with foamed later-consumption polystyrene makes a good alternative to recycling, because what we are looking for, is to reduce the environmental impact, because foamed polystyrene needs until three centuries to be degraded into the environment, besides, we get a material to be used at the industry and trade.

---

\*Graduation Project

\*\* Physical and chemical Engineering Faculty. Chemical Engineering School. Director José Carlos Gutiérrez Gallego. Chemical M.Sc.

## INTRODUCCIÓN

Los polímeros y sus procesos en el mundo de hoy se encuentran activos en desarrollo e investigación. Los plásticos los podemos encontrar en diversas aplicaciones de la vida moderna, son versátiles, fáciles de fabricar y muy económicos. El uso de estos es cada día más común debido a que pueden reemplazar a muchos materiales como madera, metal, etc. Además son el segundo material más consumido y su crecimiento es evidente, por estas razones la recuperación de materiales post-consumo capta la mayoría de atención en el mundo moderno, pues cuidar el medio ambiente es uno de los principales enfoques y la legislación se hace más estricta, con los productores en la manera como ellos recuperan y le dan un nuevo uso a los productos ya desechados.

El EPS es reciclable 100%, se utiliza para aplicaciones duraderas como el aislamiento térmico de los edificios, además se usa de materia prima para la fabricación de otros materiales. El hecho de que cada vez se recicle una mayor cantidad de bloques de EPS implica que la cantidad de residuos de este material que finalizan en la corriente de residuos sólidos urbanos sea cada vez más reducida. El reciclado químico, resulta una de las alternativas más limpias y prometedoras, consiste en la transformación de residuos de naturaleza polimérica en productos químicos de interés industrial, que pueden ser los monómeros de partida o mezclas de compuestos con posibles aplicaciones como combustibles o materias primas de la Industria Química.

Con el desarrollo de este proyecto se pretende elaborar un estudio para la utilización del poliestireno espumado post- consumo como modificador de asfalto oxidado, logrando su dispersión, disminuyendo costos y mejorando las propiedades del asfalto oxidado. Generando un material con mayor valor agregado.

## 1. MARCO TEÓRICO.

En este primer capítulo se realizará una breve descripción teórica acerca de los aspectos básicos relacionados con la ciencia básica de los polímeros y del asfalto. Como primer aspecto es tratado el poliestireno, enfocándose principalmente en el poliestireno espumado, y como segundo aspecto, el asfalto convencional, oxidado y la modificación de estos con polímeros.

### 1.1. POLIESTIRENO

**1.1.1. Generalidades.** El poliestireno (PS) es el tercer termoplástico más usado debido a sus propiedades y la facilidad de su fabricación, polímero termoplástico amorfo, rígido, quebradizo, transparente con alto brillo superficial, incoloro, de baja densidad, estabilidad térmica y bajo costo, fluye fácilmente, resistente y duro a temperaturas normales de uso, se reblandece a una temperatura de aproximadamente 100°C [1]. Estructuralmente es una cadena larga hidrocarbonada, unida con un grupo fenilo cada dos átomos de carbono presentando pesos moleculares elevados [2]. (Ver anexo A. Figura 3. a) y b). Estructura molecular del poliestireno). Debido a que las fuerzas intermoleculares de estos polímeros son débiles, al calentar las cadenas de poliestireno pueden moverse unas con relación a otras [3].

El PS resiste al ataque químico de varias sustancias y no reacciona ni absorbe de manera significativa estas sustancias ni el agua; pero cuando es atacado, este se manifiesta en forma de corrosión en la superficie o de fisuración cuando hay tensiones internas o solvatación o la combinación de estos dos efectos [4]. El PS es permeable a los gases y a la humedad, aunque no es una barrera contra gases, se usa mucha para impedir el paso de la humedad [5].

**1.1.2. Síntesis.** El poliestireno es un polímero que se obtiene por un proceso denominado polimerización, que consiste en la unión de muchas moléculas pequeñas llamadas monómeros. En la polimerización el doble enlace entre los átomos de carbono ( $\text{CH}=\text{CH}_2$ ) tiene un papel decisivo, ya que el proceso consiste en el acoplamiento de monómeros, mediante la abertura de sus dobles enlaces y la consiguiente unión de eslabones individuales para formar la cadena, sin que el proceso desprenda ningún producto secundario. El PS es el producto resultante de la polimerización del estireno [8, 9]. (Ver anexo A. Figura 1. Estructura molecular del estireno. Figura 2. Polimerización del estireno.)

**1.1.3. Tipos de poliestireno.** Se distinguen varios tipos de poliestireno debido a las diferentes propiedades que estos presentan lo cual permite la producción de diversidad de artículos para varios usos. (Ver Anexo B. Figura 4. Clasificación del poliestireno.) Uno de los mas utilizables es el poliestireno expandible o espumado.

**1.1.3.1. Poliestireno expandible (EPS).** Material plástico espumado celular y rígido, fabricado a partir de uno de sus copolímeros, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire. También se obtiene a partir de compuestos de poliestireno en forma de perlitas que contiene un agente expansor del 5 al 8% habitualmente pentano [5, 10]. Se caracteriza por ser extraordinariamente ligero aunque resistente. El color del EPS es blanco, debido a la refracción de la luz [10]. Es un material dúctil y resistente a temperaturas bajo cero, pero a temperaturas elevadas, aproximadamente a  $88^\circ\text{C}$ , pierde sus propiedades. Debido a esto, y a su bajo coeficiente de conductividad térmica, se utiliza como aislante a bajas temperaturas. Es resistente a la intemperie y no es tóxico. Posee poder de amortiguamiento, por lo tanto absorbe la energía producida por golpes y vibraciones, es muy ligero y resistente a la humedad. Flota en el agua y es completamente inerte a los

metales. Resiste a la mayoría de los ácidos, soluciones salinas y alcalinas sin importar su concentración, sin embargo, no es resistente a solventes orgánicos o aceites minerales [11].

## **1.2. ASFALTO**

**1.2.1. Generalidades.** Es una sustancia negra, pegajosa, sólida o semisólida según la temperatura ambiente; a la temperatura de ebullición del agua tiene consistencia pastosa, por lo que se extiende con facilidad [12]. Es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes. Debido a estas propiedades el asfalto cumple diferentes aplicaciones en la construcción de pavimentos como impermeabilizar la estructura, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación. Además proporciona una íntima unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos [13]. También se utiliza como impermeabilizante de estructuras, como depósitos, techos o tejados [12]. El asfalto presenta un comportamiento termoplástico, es decir, que al incrementarse la temperatura presenta las características de un flujo newtoniano, donde la velocidad de desplazamiento es proporcional al esfuerzo de corte aplicado y la viscosidad es el coeficiente de proporcionalidad a esa temperatura, por lo cual es independiente del tiempo de carga aplicado. Así mismo, al disminuir la temperatura o al sufrir envejecimiento se comporta como un flujo no newtoniano, así la viscosidad depende de los cambios que se producen en el esfuerzo aplicado [14].

**1.2.2. Composición.** Es considerado un sistema coloidal complejo de hidrocarburos, en el cual es difícil establecer una distinción clara entre la fase continua y la dispersa, los componentes de más alto peso molecular constituyen la fase dispersa (micelas) y los componentes de bajo peso molecular constituyen la fase continua (intermicelar). El modelo micelar es aquel con que se configura el asfalto, en este modelo existen dos fases: una discontinua (aromática) formada por asfáltenos y una continua que rodea y solubiliza a los asfáltenos, denominada maltenos. Los asfáltenos son los que constituyen la fracción del asfalto que permanece disuelta, cuando estos se precipitan en la solución disolvente, además, son los que le proporcionan las características estructurales y de dureza al asfalto. Los maltenos regulan las propiedades químicas de los asfaltos ya que se encuentran en mayor proporción y son fracciones solubles en hidrocarburos saturados, también son líquidos viscosos compuesto por resinas que asumen las propiedades cementantes o aglutinantes por aceites que aportan la consistencia para mejor desempeño (ver Anexo C. Figura 5. Composición del asfalto. Tabla 13. Composición Asfáltenos. Tabla 14. Composición Máltenos). [12, 16].

**1.2.3. Síntesis.** Tiene dos orígenes, el natural y los derivados del petróleo; el primero se encuentra en la naturaleza en forma de yacimientos que pueden explotarse sin dificultad y no requiere de operaciones industriales de ningún tipo para su preparación. Estos yacimientos se han producido a partir del petróleo por un proceso natural de evaporación de las fracciones volátiles dejando las asfálticas. La segunda forma de obtención se da artificialmente como producto de la refinación del crudo, donde las cantidades de asfalto residual varían según las características de este; pudiendo oscilar entre el 10 y el 70%. (Ver Anexo D. Figura 6. Obtención del asfalto). Este asfalto se produce en una variedad de tipos y grados que van desde sólidos duros y quebradizos a líquidos casi tan fluidos como el agua. La forma semisólida conocida como betún asfáltico es el material básico. [14].

### 1.3. ASFALTOS OXIDADOS

**1.3.1. Generalidades.** Son asfaltos elaborados a partir de cementos asfálticos o bases asfálticas seleccionadas, la oxidación del asfalto es un proceso en el cual se le altera la composición química al asfalto, sometiéndolos a un proceso de deshidrogenación, en el cual, al soplar oxígeno sobre una masa de asfalto en caliente se produce una mayor cantidad de asfáltenos en detrimento de los maltenos, ocasionando una mayor fragilidad, una variación de las condiciones reológicas y físico-químicas iniciales, en forma irreversible como el aumento del peso específico y la viscosidad, varía la ductilidad, mayor resistencia a altas temperaturas y a la acción de la mayoría de los ácidos, sales y alcoholes, menor susceptibilidad térmica, presenta un buen comportamiento a temperaturas bajas y es un material bastante eficiente cuando se requiere trabajo a prueba de agua y humedad. Además logra un amplio espectro de puntos de ablandamiento y penetraciones, especificadas para una gran variedad de productos de uso industrial y especial. (Ver Anexo E. Figura 7. Obtención Asfaltos oxidados). [17,18].

**1.3.2. Aplicaciones.** Debido a que su punto de reblandecimiento es superior a los asfaltos normalmente refinados de penetración comparable, son adecuados para revestimientos de techos y otras aplicaciones similares, [19] fabricación de telas asfálticas, sellador de pozos petroleros, revestimientos de cañerías, sellados asfálticos para rellenar cavidades debajo de pavimentos rígidos (hormigón), como protección anticorrosiva para fundaciones de tanques, columnas y otras construcciones [20]. Además se usa como barrera de protección frente a los cambios excesivos de temperatura y humedad. Excelente superficie para adherir otros materiales de cubierta. Es un impermeabilizante de gran estabilidad, ductibilidad y tenacidad, elástico, plástico, resistente y duradero, impermeable 100%, no se agrieta, resistente a la intemperie y a los efectos destructivos de los rayos solares [21].



## **2.1. MATERIALES EMPLEADOS.**

**2.1.1. Asfalto Oxidado.** Al asfalto se le realizaron pruebas para corroborar las propiedades de éste, y así, tener datos de entrada como base de comparación con el asfalto modificado con EPS post-consumo. (Ver Tabla 1. Especificaciones técnicas asfaltos oxidados encontrado en la literatura), (Ver anexo I. Foto 1. Asfalto Oxidado)

**2.1.1.1. Caracterización.** La caracterización del asfalto oxidado, escogido para el desarrollo de la investigación, fue determinada a partir de diferentes pruebas de laboratorio, como ductilidad, punto de ablandamiento y penetración.

**2.1.2. Poliestireno espumado (EPS post-consumo).** Para la obtención del asfalto modificado con icopor (poliestireno espumado), se uso un poliestireno que se obtuvo de los desechos no biodegradables, al cual se le realizó una trituración, para una reducción en el tamaño de partícula (Aprox. 2 mm), para lograr una más rápida y fácil agitación, mejorando así la calidad de la homogenización de la mezcla. (Ver anexo I. Foto 2. EPS- post-consumo).

## **2.2. PREPARACIÓN DEL ASFALTO MODIFICADO CON EPS POST CONSUMO**

Prueba realizada en el Laboratorio de Química Industrial de la UIS. Para la obtención del porcentaje óptimo de poliestireno a adicionar en el asfalto y obtener una mezcla homogénea, se realizó un barrido de proporciones de mezcla, que tuvo como base 100 gramos , obteniendo 9 mezclas a 97:3, 96:4, 95:5, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60 de concentración en porcentaje en peso de asfalto- EPS, respectivamente; con el fin de observar el

comportamiento de cada una de ellas y así obtener finalmente el valor de concentración óptimo para la mezcla. Esta preparación se realizó calentando previamente la muestra de asfalto escogido para el desarrollo de la tesis a una temperatura entre (160-170°C), luego se le incorporó el modificador (poliestireno-espumado), posteriormente se realizó el proceso de mezclado del modificador con el asfalto. (Ver anexo J. Foto 3, 4 y 5)

### **2.3. CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO MODIFICADO CON EPS POST-CONSUMO**

Prueba realizada en el laboratorio de pavimentos de la UIS. Se realizó con el fin de observar las propiedades fisicoquímicas y comparar cada muestra obtenida, con el asfalto oxidado sin modificar.

**2.3.1. Punto de ablandamiento (ANILLO Y BOLA):** Prueba realizada en el laboratorio de pavimentos de la UIS. Según la norma INV. E-712 (Ver Anexo G). Con las mezclas 97:3, 96:4, 95:5, 90:10, 80:20, 70:30, de concentración en porcentaje en peso de asfalto- EPS post consumo, luego se calentaron a una temperatura máxima de 170°C, hasta lograr un asfalto fundido, las condiciones durante el ensayo fueron: el baño de agua destilada se inició a una temperatura de (-10°C) con un volumen de 500 ml. (Ver anexo K. Foto 6, 7).

**2.3.2. Ductilidad de materiales asfálticos:** Prueba realizada en el laboratorio de pavimentos de la UIS. Según la norma ASTM D-113 / INV. E-702 (Ver Anexo G). Con las mezclas 97:3, 96:4, 95:5, 90:10, 80:20, 70:30, de concentración en porcentaje en peso de asfalto- EPS post consumo, luego se calentaron a una temperatura máxima de 170°C, hasta lograr un asfalto fundido; las condiciones de operación que se manejaron durante el ensayo fueron de 1 hora a temperatura ambiente (25°C) y 1 hora en un baño de agua destilada a 25°C, respectivamente. (Ver anexo K. Foto 8, 9, 10, 11, 12).

**2.3.3. Penetración de materiales asfálticos:** Prueba realizada en el laboratorio de pavimentos. Según la norma ASTM D-5 / INV. E-706 (Ver Anexo G). Con las mezclas 97:3, 96:4, 95:5, 90:10, 80:20, 70:30, de concentración en porcentaje en peso de asfalto- EPS post consumo, luego se calentaron a una temperatura máxima de 170°C, hasta lograr un asfalto fundido, las condiciones de operación que se manejaron durante el ensayo fueron de 1 hora a temperatura ambiente (25°C) y 1 hora inmerso en baño de agua destilada a (25°C), respectivamente. La medición de la dureza se realizó usando un penetrómetro manual, penetrando una aguja normalizada de 100 y 150 g, en el recipiente con la muestra por un tiempo de 5 segundos, midiéndose después la penetración de la aguja en unidades de 0.1 mm. (Ver anexo K. Foto 13, 14 15).

## **2.4. COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON EPS- POST CONSUMO**

**2.4.1. Resistencia al ataque químico con agentes diluidos al 10%:** Prueba realizada en el laboratorio de Química Industrial de la UIS. Los agentes químicos escogidos para la prueba fueron soluciones diluidas de Acido Acético al 10% p/p, Acido Clorhídrico al 10% p/p, Acido Sulfúrico al 10% p/p, Hidróxido de Sodio al 10% p/p. (Ver anexo L. Foto 16). Se tomaron láminas de papel de 2 x 2 cm aproximadamente recubiertas con cada una de las mezclas de concentración en porcentaje en peso 97:3, 96:4, 95:5, 90:10, 80:20, 70:30, de asfalto- EPS post consumo. (Ver anexo L. Foto 16). Luego se colocaron en contacto con los agentes químicos anteriormente nombrados durante 5 min a 25°C y 1 Atm. Posteriormente las láminas se dejaron a la intemperie, durante 5 días. (Ver anexo L. Foto 17, 18, 19, 20). Posteriormente se tomaron tiras de papel de 0.5 x 3 cm aproximadamente con cada una de las mezclas de concentración en porcentaje en peso 97:3, 96:4, 95:5, 90:10, 80:20, 70:30, de asfalto- EPS post consumo, y se depositaron en recipientes con volúmenes de aprox. 5 ml, de cada uno de los agentes químicos, durante 1 día a una

temperatura de 25°C y 1 atm. (Ver anexo L. Foto 21, 22, 23, 24). Seguidamente los recipientes fueron introducidos con cada muestra en una estufa de calentamiento a 50°C y 70°C y 1 atm, durante 2 días.

#### **2.4.2. Resistencia al ataque químico con ácido sulfúrico concentrado:**

Prueba realizada en el laboratorio de Química Industrial de la UIS. Se tomaron tiras de papel de 0.5 x 3 cm aproximadamente con cada una de las mezclas de concentración en porcentaje en peso 97:3, 96:4, 95:5, 90:10, 80:20, 70:30, de asfalto- EPS post consumo, y se depositaron en recipientes con volúmenes de aprox. 5 ml, de ácido sulfúrico concentrado, luego de 5, 15 y 60 minutos se observó el comportamiento de cada muestra. (Ver anexo M. Foto 28, 29, 30). Después se depositó la solución de cada recipiente en una caja de petri, incorporando agua hasta que finalizó la sulfonación, así se observó el grado del ataque por el agente químico a cada lámina. (Ver anexo M. Foto 31, 32 ,33).

#### **2.4.3. Peso específico:**

Prueba realizada en el laboratorio de Química Industrial de la UIS. Con las mezclas 96:4, 95:5, 90:10, 80:20, 70:30, de concentración en porcentaje en peso, de asfalto- EPS post consumo, se calentaron a una temperatura máxima de 170°C, hasta lograr un asfalto fundido, después se vertió a un baño de agua y así se logro la manipulación del asfalto consiguiendo un sólido irregular (Ver anexo N. Foto 34), luego se procedió a hallar el peso especifico de cada muestra con un volumen inicial determinado de agua para cada probeta. (Ver anexo N. Foto 35, 36, 37).

#### **2.4.4. Ensayo de impermeabilización:**

Prueba realizada en el laboratorio de Química Industrial de la UIS. Con las mezclas 97:3, 96:4, 95:5, 90:10, 80:20, 70:30, de concentración en porcentaje en peso de asfalto- EPS post consumo, se calentaron a una temperatura máxima de 170°C, durante un tiempo determinado hasta lograr un asfalto fundido, luego se untaron láminas de papel

de 9 x 9 cm, con cada probeta de asfalto oxidado modificado (Ver anexo O. Foto 38), y posteriormente se armaron cajas (Ver anexo O. Foto 39), a las cuales se les adicionó 40 ml de agua (Ver anexo O. Foto 40), y se dejaron durante 20 días en reposo, después las cajas se colocaron en un recipiente con agua (Ver anexo O. Foto 41), y se dejaron durante 10 días en reposo.

**2.4.5. Ensayo de inflamabilidad:** Prueba realizada en el laboratorio de Química Industrial de la UIS. Con las mezclas 97:3, 96:4, 95:5, 90:10, 80:20, 70:30, de concentración en porcentaje en peso de asfalto- EPS post consumo, esta prueba se realizó con láminas de papel de 2 x 2 cm aproximadamente, recubiertas con cada una de las mezclas, las cuales se tomaron con una pinza y se colocaron dentro de una llama pequeña. Una vez encendida la muestra se retiró de la llama realizando las respectivas observaciones. (Ver anexo P. Foto 43),

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se muestran una serie de pruebas detalladas que llevaron a escoger el porcentaje óptimo de poliestireno para la modificación del asfalto, empezando por la caracterización de este, el comportamiento y caracterización de cada una de las muestras obtenidas según el porcentaje de poliestireno en el asfalto, comprobando los cambios que puede presentar la mezcla como la resistencia al ataque de agentes químicos, también se da un análisis del comportamiento como impermeabilizante de cada muestra .

#### 3.1. MATERIALES EMPLEADOS.

##### 3.1.1. Asfalto Oxidado.

Tabla 1. Especificaciones del asfalto oxidado encontrado en la literatura.

Características	Método de Ensayo	TIPO	
		85/25	100/15
Punto de Ablandamiento (Anillo y Bola), °C	D36	85-95	100-112
Ductilidad a 25 °C, 5 cm/min, cm min	D113	3	2
Penetración a 25 °C, 100g, 5 s, 1/10 mm	D5	15-25	8--18

##### 3.1.1.1. Caracterización.

Tabla 2. Especificaciones del asfalto oxidado.

Características	Método de Ensayo	TIPO
		15/100
Punto de Ablandamiento (Anillo y Bola), °C	D36/712	98-100
Ductilidad a 25 °C, 5 cm/min, cm min	D113/702	2
Penetración a 25 °C, 100 g, 5 s, 1/10 mm	D5/706	8-15

Comparando estos resultados obtenidos de las pruebas de caracterización, se puede observar que son muy similares a los que presenta la literatura, por lo tanto se pudo afirmar que el asfalto que se escogió para el desarrollo de la tesis fue un asfalto oxidado pues cumplió con las condiciones indicadas.

### 3.2. PREPARACIÓN DEL ASFALTO MODIFICADO CON EPS POST-CONSUMO

Tabla 3. Observaciones asfalto oxidado modificado con EPS post-consumo

Muestra	Asfalto (% p/p)	Poliestireno (% p/p)	Tiempo	Observaciones a 25 ± 2 °c y 1Atm
1	95	5	1 (hora) 10 min	Consistente, fácil agitación, tenue, uniformidad en la mezcla, dispersión de Poliestireno en el asfalto.
2	96	4	1 (hora) 10 min	Consistente, fácil agitación, tenue, uniformidad en la mezcla, dispersión de Poliestireno en el asfalto
3	97	3	1(hora) 10 min	Consistente, fácil agitación, tenue, uniformidad en la mezcla, dispersión de Poliestireno en el asfalto
4	90	10	3 (horas) 50 (min)	Consistente, fácil agitación, tenue, formación hilos tizotrópicos fácilmente quebradizos en frío, fácil dispersión, dispersión de Poliestireno en el asfalto
5	80	20	4 (horas) 30 (min)	Consistente, tenue, formación de hilos tizotrópicos resistentes, fácil agitación, dispersión de Poliestireno en el asfalto
6	70	30	6 (horas)30(min)	Hilos tizotrópicos quebradizos, viscoso, agitación más complicada, hinchamiento del Poliestireno en el asfalto
7	60	40	11 (horas) 40 (min)	Difícil agitación, maleable, muy viscoso, formación hilos tizotrópicos resistentes, no se presento dispersión del Poliestireno en el asfalto,
8	50	50		Hilos tizotrópicos frágiles, no se presento dispersión de Poliestireno en el

			16 (horas) 20 (min)	asfalto, bastante viscoso por lo cual no se pudo agitar la mezcla.
9	40	60	17 (horas) 10 (min)	Hilos tizotrópicos frágiles, no se presentó dispersión de Poliestireno en el asfalto, no se pudo agitar, demasiado viscoso.

Las muestras 1-6, fueron las que presentaron mejor desempeño en el momento de la preparación del asfalto oxidado modificado con EPS post-consumo, debido a su mejor y fácil dispersión del poliestireno en el asfalto oxidado, esto facilitó la preparación y agitación de la mezcla, ahorrando tiempo y consumo energético y generando un asfalto oxidado modificado de alta estabilidad y rigidez. Mientras que las muestras 7-9, presentaron un comportamiento contrario a las demás probetas, razón por la cual se decidió excluir estas muestras de las siguientes etapas en el desarrollo de la investigación.

### 3.3. CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO MODIFICADO CON EPS POST-CONSUMO

#### 3.3.1. Punto de ablandamiento (anillo y bola):

Tabla 4. Muestras utilizadas en la prueba Punto de Ablandamiento

Muestra	To (C)	Ti. (C)	Vo (ml)	Vi (ml)	Tiempo	Punto de Ablandamiento (Anillo y Bola), °C
1	8	98	500	500	1 (hora) 20 (min)	98
2	12	99	500	300	4 (horas) 10(min)	-----

Para la muestra número 1, los resultados arrojados se dieron dentro de los límites de la norma y no se observó ninguna modificación respecto al asfalto oxidado sin modificar, mientras que la muestra número 2, se salió del límite de calentamiento establecido por la norma, luego el punto de ablandamiento no

se pudo establecer, debido a que el punto de ebullición del agua (100°C), se salió de los parámetros del punto de ablandamiento del asfalto después de ser modificado, además llegó un punto en que la muestra no se calentó más; debido a que el baño no tuvo más capacidad de calentamiento y empezó a evaporarse, por estas razones se omitió la realización de esta prueba para las demás muestras, pues estas poseen mayor cantidad de poliestireno, la norma su pudo haber realizado con una baño de glicerina USP, pues esta cubre la determinación del punto de ablandamiento de productos bituminosos en el intervalo encima de 80° a 157° C.

### 3.3.2. Ductilidad de materiales asfálticos.

Tabla 5. Muestras utilizadas en la prueba de Ductilidad

Muestra	Ductilidad a 25 °C, 5 cm/min, cm min
1	2
2	2
3	1.5
4	1
5	1

Las muestras de Asfalto modificado con EPS post consumo, presentaron resultados muy bajos, lo cual se interpreta como un material con un alto grado de rigidez y un bajo nivel de susceptibilidad a la deformaciones plásticas. Para la muestra de asfalto oxidado se obtuvieron valores muy bajos teniendo en cuenta que la máxima lectura que se puede registrar en el ductilómetro es de 150 cm, y este solo llegó a 2 cm, al igual las probetas registraron valores similares alcanzando la rotura. Tanto la muestra convencional como la muestra modificada con EPS post consumo se pueden considerar como materiales poco dúctiles. (Ver anexo K. Foto 12).

### 3.3.3. Penetración de materiales asfálticos.

Tabla 6. Mezclas utilizadas en la prueba de Penetración

Muestra	Pen. (1) a 25 °C, 100 g, 5 s, 1/10 mm	Pen. (2) a 25 °C, 100 g, 5 s, 1/10 mm	Pen.(3) a 25 °C, 100 g, 5 s, 1/10 mm	Pen,(prom) a 25 °C, 100 g, 5 s, 1/10 mm
1	15	12	12	13
2	12	11	10	11
3	10	9	10	9.7
4	8	8	7	7.7
5	6	7	6	6.3
Muestra	Penetración (1) a 25 °C, 150 g, 5 s, 1/10 mm	Penetración (2) a 25 °C, 150 g, 5 s, 1/10 mm	Penetración (3) a 25 °C, 150 g, 5 s, 1/10 mm	Penetración (prom) a 25 °C, 150 g, 5 s, 1/10 mm
1	12	14	12	12.7
2	10	12	14	12
3	8	9	11	9.3
4	7	6	7	6.7
5	7	6	7	6.7

Respecto a la dureza la muestra de asfalto oxidado sin modificar arrojó resultado inferiores a 15 decimas de mm (Ver anexo K. Foto 15). A medida que se aumentó la concentración de modificador, el asfalto oxidado se tornó más duro, donde la muestra modificada con mayor concentración de modificador se redujo 8 décimas de mm, respecto al valor del asfalto oxidado. La muestra modificada con EPS post-consumo, presentó valores de penetración inferiores al asfalto oxidado convencional. Esto indica que el modificador generó un endurecimiento en el asfalto lo cual se evidenció en las muestras con mayor contenido de éste.

### 3.4. COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON EPS- POST CONSUMO

### 3.4.2. Resistencia al ataque químico con agentes diluidos al 10%.

Tabla 7. Mezclas utilizadas en la resistencia al ataque químico

Lámina de papel 2 x 2 cm	Asfalto oxidado (%p/p)	EPS post-consumo (%p/p)
1	97	3
2	96	4
3	95	5
4	90	10
5	80	20
6	70	30

Tabla 8. Resistencia al ataque químico

Agente Químico	Lamina 2 x 2 cm	Tiempo de Contacto en (min)	Observaciones a 25 ± 2 °c y 1Atm
Ácido Acético Solución al 10%	1, 2,3,4,5,6	15	No presentó deterioro ni cambios
Acido sulfúrico Solución al 10%	1, 2,3,4,5,6	15	No presentó deterioro ni cambios
Acido Clorhídrico Solución al 10%	1, 2,3,4,5,6	15	No presentó deterioro ni cambios
Hidróxido de Sodio Solución al 10%	1, 2,3,4,5,6	15	Se presentó un ataque a las láminas, observando una leve fundición.

Tabla 9. Resistencia al ataque químico

Agente Químico	Lámina 0.5 x 2 cm	Tiempo de contacto (horas)	T (°C)	Observaciones
Ácido Acético Solución al 10%	1,2,3,4,5,6	48	25	No presentó deterioro ni cambios
	1,2,3,4,5,6	48	50	No presentó deterioro ni cambios
	1,2,3,4,5,6	48	70	No presentó deterioro ni cambios
Acido sulfúrico Solución al 10%	1,2,3,4,5,6	48	25	No presentó deterioro ni cambios
	1,2,3,4,5,6	48	50	No presentó deterioro ni cambios
	1,2,3	48	70	No presentó deterioro ni cambios
	4,5			Presentó coloración amarilla

	6			Presentó coloración negra
Acido Clorhídrico Solución al 10%	1,2,3,4,5,6	48	25	No presentó deterioro ni cambios
	1,2,3,4,5,6	48	50	No presentó deterioro ni cambios
	1,2,3,4,5,6	48	70	No presentó deterioro ni cambios
Hidróxido de Sodio Solución al 10%	1,2,3,4,5,6	48	25	No presentó deterioro ni cambios
	1,2,3,4,5,6	48	50	No presentó deterioro ni cambios
	1,2,3,4,5	48	70	No presentó deterioro ni cambios
6	Se presentó desprendimiento de la capa asfáltica del papel y coloración amarilla			

Aunque el asfalto oxidado modificado fue generado entre un polímero termoplástico y asfalto oxidado los cuales de forma individual presentan resistencia al ataque de ácidos y bases, se puede observar que a medida que se aumentó la temperatura, las muestras con mayor proporción de modificador sufrieron ataque por el Ácido Sulfúrico e Hidróxido de Sodio, representados en cambios de color (Ver anexo L. Foto 18, 20), por lo tanto no se conservaron las propiedades específicas, en cambio empeoró sus condiciones y comportamiento a medida que se aumentó la temperatura. (Ver anexo L. Foto 25, 26, 27).

### 3.4.3. Resistencia al ataque químico con ácido sulfúrico concentrado.

Tabla 10. Resistencia al ataque químico con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado.

Agente Químico	Lámina 0.5 x 3 cm	Tiempo de contacto en (min)	Observaciones a 25 ± 2 °c y 1Atm
Ácido Sulfúrico concentrado	1, 2,3,4,5,6	5	Se presentó coloración amarilla repentina y se disolvió la lámina de papel inmediatamente.
	1, 2,3,4,5,6	15	Se presentó cambio de color más intenso,
	1, 2,3,4,5,6	60	Coloración negra.

Para corroborar que las mezclas no resisten de forma adecuada a sustancias químicas se repitió la prueba utilizando ácido sulfúrico concentrado, para lo cual se presentó un ataque químico más rápido que con los ácidos diluidos, lo cual se representó en cambios de color (Ver anexo M. Foto 28, 29, 30). Aunque en la literatura se encontró que el asfalto oxidado resiste al ataque de ácidos hay que tener en cuenta que este es un hidrocarburo con sustituyentes polares, por esta razón el ataque se dio en todas las muestras, este ataque se observó primero en las láminas de papel debido a su composición de celulosa, mientras que a medida que se aumentó el modificador la sulfonación se hizo más lenta. Por lo cual se concluye que asfalto oxidado modificado no resiste al ataque de sustancias químicas concentradas.

#### 3.4.4. Peso específico.

$$\frac{M_{sol.irregular}/V_{sol.irregular}}{M_{agua}/V_{agua}} = \eta_{especifico\ sol.irregular}$$

Densidad agua (25°C): 0.9970479 g/cm<sup>3</sup>

Tabla 11. Peso Específico

Muestra	V <sub>Inicial</sub> (cm <sup>3</sup> )	V <sub>Final</sub> (cm <sup>3</sup> )	V <sub>Sólido Irregular</sub> (cm <sup>3</sup> )	m <sub>sólido irregular</sub> (grs)	Peso específico
2	20	50	30	31	1,0364
3	30	42	12	12	1,0029
4	40	63	23	22	0,9593
5	30	44	14	13	0,9313
6	40	65	25	23	0,9227

Para el asfalto oxidado convencional los ensayos arrojaron un valor de 1.080. Luego de modificar el asfalto oxidado con EPS post-consumo, el valor de peso específico presentó un descenso. Los resultados de pesos específicos de las muestras de asfalto oxidado modificado por debajo del valor obtenido en el asfalto oxidado convencional se deben principalmente a una de las características principales de los polímeros que es la de poseer un bajo peso específico. También hay que tener en cuenta que la nueva dispersión formada tiene una estructura diferente a la del asfalto oxidado. En términos generales los resultados se ajustaron a los valores esperados, ya que gran parte de estos se encuentran al rededor de la unidad. Los valores que se encuentran alejados de la unidad son los que presentan mayor concentración de EPS post-consumo.

**3.4.5. Ensayo de Impermeabilización:** La muestra de asfalto oxidado presentó buenas características de impermeabilizante y buena adherencia a la lámina de papel, aunque a medida que se aumentó la cantidad de modificador, se observó mejor comportamiento y adherencia, ya que el agua que se adicionó dentro de las cajas compuestas por mayor cantidad de EPS post-consumo, demoró más tiempo en evaporarse (Ver anexo O. Foto 40). En el momento en que las cajas se colocaron en un recipiente con agua no se presentaron filtraciones de afuera para adentro, pero en las muestras 1, 2, 3, 6, y asfalto oxidado convencional, la capa de asfalto se desprendió en ciertas zonas de la lámina de papel (Ver anexo O. Foto 42). Esto indicó que el modificador generó un mejor comportamiento como impermeabilizante de las muestras.

### 3.4.5. Ensayo de Inflamabilidad

Tabla 12. Resultados de Inflamabilidad.

Muestra	Inflamable	Observaciones
1	Sí	Se fundió con descomposición, se presentaron hilos de humo largos poco densos de color gris, la resistencia a la llama se dio de forma, que siguió ardiendo, goteó y finalmente se autoextinguó a los 4 seg.
2	Sí	Se fundió con descomposición, se presentaron hilos de humo largos poco densos de color gris, la resistencia a la llama se dio de forma, que siguió ardiendo, goteó y finalmente se autoextinguó a los 6 seg.
3	Sí	Se fundió con descomposición, se presentaron hilos de humo largos poco densos de color negro, la resistencia a la llama se dio de forma, que siguió ardiendo, goteó y finalmente se autoextinguó a los 7 seg.
4	Sí	Se fundió con descomposición, se presentaron hilos de humo largos densos de color negro, la resistencia a la llama se dio de forma, que siguió ardiendo, goteó no se autoextinguó.
5	Sí	Se fundió con descomposición, se presentaron hilos de humo muy densos de color negro, la resistencia a la llama se dio de forma, que siguió ardiendo, goteó, no se autoextinguó, olor a caucho quemado fuerte.
6	Sí	Se fundió con descomposición, se presentaron hilos de humo demasiado densos de color negro, la resistencia a la llama se dio de forma, que siguió ardiendo, goteó no se autoextinguó, olor a caucho quemado fuerte.

Para el asfalto oxidado sin modificar dio como resultado un material inflamable el cual no se autoextingue. La resistencia a la llama se presentó sin goteo y siguió ardiendo, se fundió con descomposición y el humo fue de hilos poco densos de color gris. Respecto a las muestras modificadas, a medida que se aumentó la concentración del modificador, la llama se hizo más intensa, sin goteo y no se autoextinguó, con hilos de humo mucho más densos, de color negro y con olor fuerte similar a caucho quemado, debido a la presencia de carbón en la composición del modificador (Ver anexo P. Foto 44). Las muestras 1,2 y 3 se autoextinguieron después de cierto tiempo, lo cual se pudo presentar debido a la poca presencia del modificador.

#### 4. CONCLUSIONES

Se determinó que la mejor mezcla asfalto oxidado- EPS post consumo, fueron las de concentración 90:10, 80:20, ya que presentaron una buena dispersión del poliestireno en el asfalto oxidado, requirió de menor tiempo y gasto energético para su preparación, mejores propiedades físico químicas y mecánicas, buena adherencia y homogeneidad al ser aplicado sobre láminas de papel, mejor comportamiento como impermeabilizante.

Se determinó que el asfalto oxidado modificado con EPS post-consumo reveló un aumento en la rigidez, en comparación con el asfalto convencional, evidenciado en la disminución de la ductilidad en el asfalto oxidado modificado. Debido al efecto del poliestireno, se obtuvo un material con un bajo nivel de susceptibilidad a la deformación plástica, lo cual se confirmó con los resultados obtenidos tanto en el ensayo de punto de ablandamiento (>98°C) como en el de penetración (15/100).

La adición de EPS post-consumo al asfalto oxidado permite reducir costos de producción, mejorando la características del asfalto como impermeabilizante, proporcionando consistencia, estabilidad, resistencia al envejecimiento, obteniendo así un material con mayor vida útil.

La modificación de asfalto oxidado a partir de EPS post-consumo se convierte en una gran alternativa de reciclaje, debido a que se busca mitigar el impacto ambiental, que aporta el manejo y disposición de este tipo de material, pues el EPS demora hasta tres siglos en degradarse en el ambiente, además se produce un material con valor agregado de amplio uso e importancia a nivel industrial y comercial.

## 5. RECOMENDACIONES

Como el uso de EPS post-consumo como materia prima disminuye los costos, se recomienda evaluar su factibilidad económica con el fin de automatizar el proceso para ser aplicada a escala industrial y así conseguir una forma de agitación intensa logrando mejor rendimiento y menor gasto energético.

Tomando como base este estudio, evaluar la posibilidad de utilizar otros polímeros post- consumo u otra clase de poliestireno (PS cristal), que permitan ser procesados en condiciones óptimas y presenten ventajas fisicoquímicas para la adición en asfalto oxidado o ya sea en otra clase de asfalto; y a su vez, permita aumentar los campos de aplicación y se convierta en un método de reciclaje que disminuya los niveles de contaminación.

Se recomienda establecer líneas de investigación enfocándose en la forma de enfriamiento del asfalto oxidado modificado con EPS post-consumo, ya que se pueden presentar cambios en las propiedades mecánicas aun teniendo la misma composición, variando el tiempo de enfriamiento, pues si se da de forma rápida hay formación de cristales, mientras que si el enfriamiento se da de forma lenta tiende a comportarse plásticamente, por lo cual, estas variaciones pueden permitir encontrar diversas aplicaciones.

Teniendo en cuenta que para obtener el asfalto modificado se requiere someter a altas temperaturas (170°C) los materiales, lo cual implica un alto costo energético, se recomienda agregar el poliestireno durante el proceso y obtención del asfalto, lo cual permitiría un ahorro de operaciones.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

1. REPOSITORIO DE DOCUMENTOS ELECTRÓNICOS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL IPN ESME-UA. Historia del Plástico. Noviembre 26 2009. Disponible en internet <<http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/544/1/TESSpdfmanillamunoz.pdf>>.
2. POLYESTYRENE. Departamento de Ciencia de Polímeros. Universidad del Sur de Mississippi. Disponible en Internet: <<http://www.pslc.ws/spanish/styrene.htm>>.
3. MEYSENBUG, C. Tecnología de plásticos para ingenieros. Ediciones Urmo. España: 1967; p. 20-22.
4. BAEZ, D. Y HERRERA, G. Reciclaje de Poliestireno para la obtención de resinas de intercambio iónico. Tesis. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia: 2002.
5. RUBIN, I. Materiales Plásticos, Propiedades y Aplicaciones, Editorial Limusa. México: 2004. p. 131-169.
6. ESPESO, J Y PEREZ, E. El Poliestireno Expandido, Aplicaciones en la Construcción. Revista de Plásticos Modernos. España: Diciembre 2002. Vol. 84. No 558.
7. HEMEROTECA DE PLASTICOS UNIVERSALES [online]. Las Propiedades del Poliestireno. Diciembre 2002. No. 81. Disponible en internet: <<http://plasticosuniversales.com>>.

8. CHEREMISINOFF, N. Polymer Characterization. Laboratory Techniques and Analysis. Noyes Publications. Westwood, New Jersey, U.S.A: 1996.p. 64, 101, 109, 115, 207, 218.
9. SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE SENA. Introducción a los Materiales Plásticos. Cali, Colombia: Abril 2005.
- 10.TEXTOS CIENTIFICOS. Propiedades Químicas del Poliestireno Expandido. Noviembre 28 2009. Disponible en internet: <<http://www.textoscientificos.com/polimeros/poliestireno-expandido>>.
- 11.COMISION DE LA INDUSTRIA DEL PLASTICO, RESPONSABILIDAD Y DESARROLLO SUSTENTABLE [online]. Historia y Clasificación de los Plásticos. Asociación Nacional Mexicana de la Industria Química. Noviembre 28 2009.Disponible en internet:<<http://www.aniq.org.mx>>.
12. CASA ACTUAL. Información Sobre el Asfalto. Noviembre 30 2009. Disponible en Internet: <<http://www.casaactual.com/articulo.asp?Id=193>>.
13. ASOCIACION DE PRODUCTORES Y PAVIMENTOS ASFALTICOS DE COLOMBIA. Asfalto. Diciembre 01 2009. Disponible en Internet: <[http://www.asopac.com/07\\_el\\_asfalto.html](http://www.asopac.com/07_el_asfalto.html). 01 dic.2009>.
14. SCIELO. Análisis de un Asfalto Modificado con Icopor y su Incidencia en una Mezcla Asfáltica Densa en Caliente. Noviembre 30 2009. Disponible en Internet: <<http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-5609200700030000>>.
15. ARQHYS. Funciones del Asfalto. Diciembre 01 2009. Disponible en Internet: <<http://www.arqhys.com/arquitectura/asfalto-funciones.html> >.

16. MÉNDEZ A, NUÑEZ Y. Mezclas de Asfaltos Naturales de Refinería para Producir Asfaltos Duros en la Elaboración de Mezclas con un Modulo Alto. Tesis. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. 2008. p.2-3.
  
17. FABRICA ARGENTINA DE ASFALTOS. Asfaltos Oxidados. Diciembre 13. 2009. Disponible en Internet: <<http://www.asfaltos-faa.com.ar/>>.
  
18. E-ASPHALT. Origen del Asfalto. Diciembre 13 2009.p.4. Disponible en Internet:< [http://www.e-asfalto.com/orig\\_asf/](http://www.e-asfalto.com/orig_asf/)>.
  
19. BIBLIOTECA USON. Diferentes Tipos de Asfalto. Diciembre 13. 2009. p.15. Disponible en Internet: <<http://www.biblioteca.uson.mx/digital/tesis/docs/5675/Capitulo4.pdf>>.
  
20. E-ASPHALT. Especificaciones Técnicas Cementos Asfálticos. Diciembre 15. 2009. Disponible en Internet: <<http://www.e-asphalt.com/espectecnicas/esptecnica.htm>>.
  
21. VIRTUAL PAPER. Sistema de Asfalto Oxidado. Diciembre 15. 2009. Disponible en Internet: <<http://www.myvirtualpaper.com/doc/virtualvue/impermiabilizantesop/2009060901/6.html>>.

## ANEXOS

### ANEXO A. ESTRUCTURAS MOLECULARES

Figura 1. Estructura Molecular del Estireno.

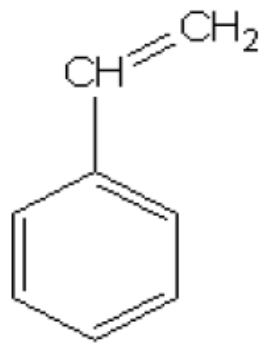


Figura 2. Polimerización del Estireno.

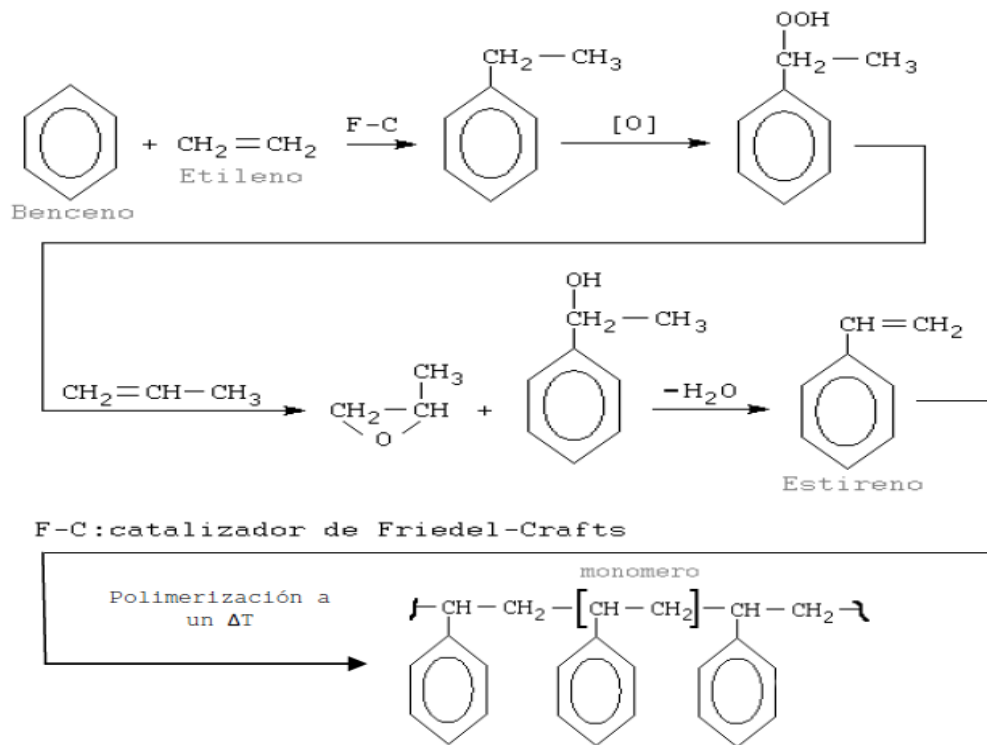
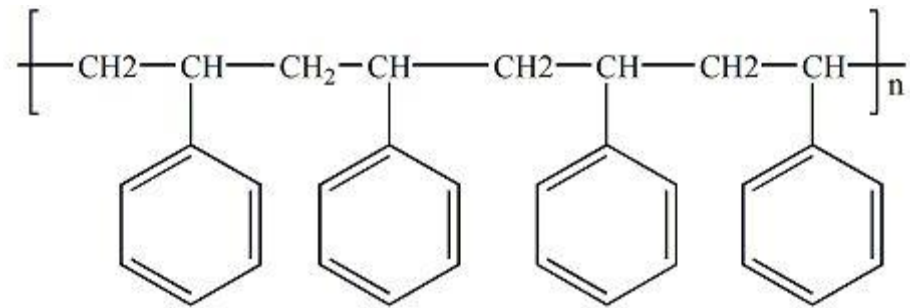
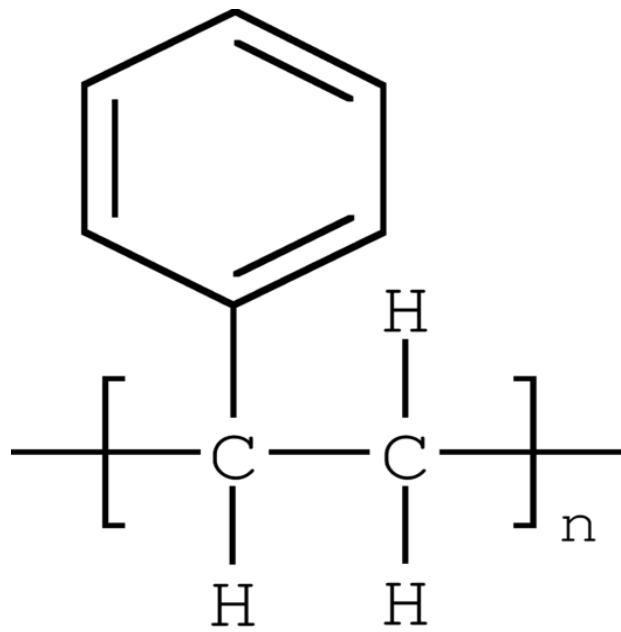


Figura 3. Estructura Molecular del Poliestireno.

a).

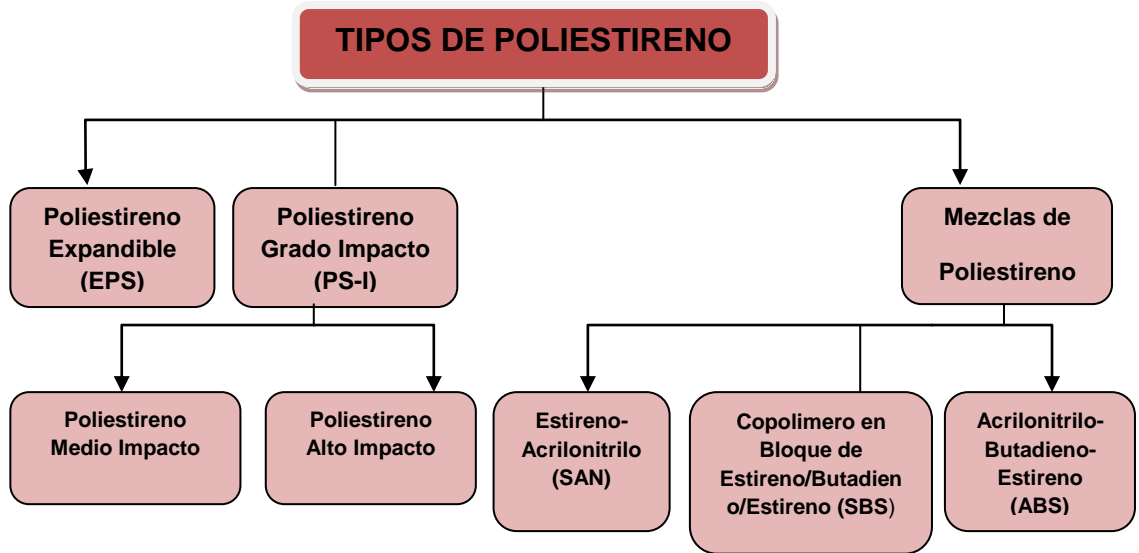


b).



## ANEXO B. CLASIFICACION DEL POLIESTIRENO

Figura 4. Clasificación del Poliestireno.



## ANEXO C. COMPOSICION DEL ASFALTO

Figura 5. Composición del asfalto.

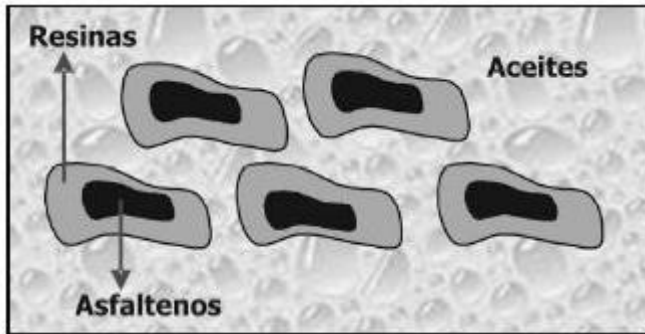


Tabla 13. Composición Asfáltenos.

<b>ASFALTENOS</b>
<b>Compuestos Polares</b>
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>
<b>Peso Molecular Mayor 1.000</b>
<b>Pre</b> cipitan como sustancias oscuras por dilución con parafinas de bajo punto de ebullición. (pentano-heptano).

Tabla 14. Composición Máltenos.

<b>MALTENOS</b>
<b>Compuestos No Polares</b>
<b>Hidrocarburos Alifáticos mas Nafténicos y Aromáticos</b>
<b>Peso Molecular Hasta 1.000</b>
<b>Medio Continuo.</b>

## ANEXO D. OBTENCION DEL ASFALTO.

Figura 6. Obtención del asfalto.

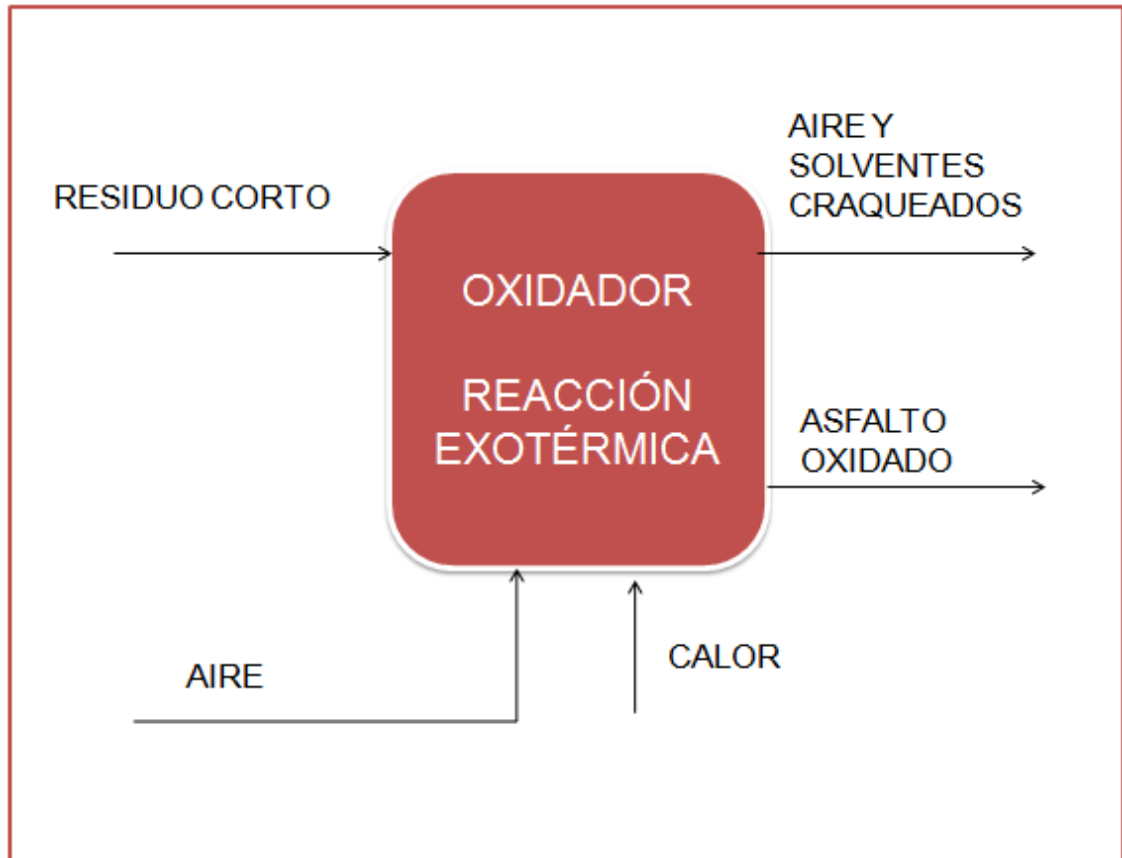
### DESTILACIÓN DE PETRÓLEO

Una vez que el crudo llega a la refinería se calienta en un gran horno a temperaturas superiores a los 370 °C, para después transportarlo a la torre de destilación, el corazón de la refinería. En la torre se fragmenta el crudo en diferentes componentes:



## ANEXO E. OBTENCION ASFALTOS OXIDADOS.

Figura 7. Obtención Asfaltos Oxidados.



## **ANEXO F. NORMAS INV E**

### **PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE MATERIALES BITUMINOSOS (APARATO DE ANILLO Y BOLA) I.N.V. E – 712 – 07**

#### **1. OBJETIVO**

**1.1** Este método cubre la determinación del punto de ablandamiento de productos bituminosos en el intervalo de 30° a 157° C (86° a 315° F), utilizando el aparato de anillo y bola, sumergido en agua destilada (30° a 80° C), glicerina USP (encima de 80° a 157° C), o glicol etileno (30° a 110° C).

#### **2. RESUMEN DEL MÉTODO**

Dos discos horizontales de material bituminoso, fundidos entre anillos de bronce, se calientan a una rata controlada en un baño líquido, mientras cada uno de ellos soporta una bola de acero. El punto de ablandamiento se considera como el valor promedio de las temperaturas, a la cuales los dos discos se ablandan lo suficiente, para permitir que cada bola envuelta en material bituminoso, caiga desde una distancia de 25 mm (1").

#### **3. USO Y SIGNIFICADO**

**3.1.** Los productos bituminosos son materiales viscoelásticos y no cambian del estado sólido al estado líquido a una temperatura definida, sino que gradualmente se tornan más blandos y menos viscosos cuando la temperatura se eleva. Por esta razón, el punto de ablandamiento se debe determinar por medio de un método arbitrario fijo, pero definido que produzca resultados reproducibles y comparables.

**3.2.** El punto de ablandamiento es útil para clasificar productos bituminosos y es un valor índice de la tendencia del material a fluir cuando está sometido a temperaturas elevadas, durante su vida de servicio. También, puede servir para establecer la uniformidad de los embarques o fuentes de abastecimiento.

#### **4. EQUIPO Y MATERIALES.**

**4.1. Anillos:** De bronce, de bordes cuadrados, conforme con las dimensiones mostradas en la Figura 1a.

**4.2. Platos de base:** Hechos de material no absorbente, con espesor suficiente para prevenir la deformación y de tamaño adecuado (50 x 75 mm (2 x 3")) para mantener dos o más anillos. Los platos serán planos.

**4.3. Bolas:** Esferas de acero, de 9.5 mm de diámetro (3/8"), pesando cada una  $3.5 \pm 0.05$  g.

**4.4. Baño:** Recipiente de vidrio que se pueda calentar, con un diámetro interno no menor de 85 mm, y altura entre la base y el borde de 120 mm como mínimo, con capacidad de 800 ml.

**4.6. Soporte de anillos y montaje completo:** Un soporte de bronce diseñado, para sostener los dos anillos en posición horizontal con la forma y dimensiones mostradas en la Figura 1b. El montaje completo está indicado en la Figura 1d, con la base de los anillos colocada 25 mm (1") por encima de la superficie superior del plato de base. La superficie inferior de este último deberá estar  $16 \pm 3$  mm ( $5/8 \pm 1/8$ ") por encima del fondo del baño.

**4.7 Termómetros:** Serán de dos tipos, con las características definidas en la especificación ASTM E1:

**Tabla 15. Características definidas en la especificación ASTM E1.**

<b>TERMÓMETRO</b>	<b>INTERVALO DE TEMPERATURAS</b>
<b>15C ó 15F</b>	<b>-2° a + 80°C (30 ° a 180°F)</b>
<b>16C ó 16F</b>	<b>30° a 200°C (85° a 392°F)</b>

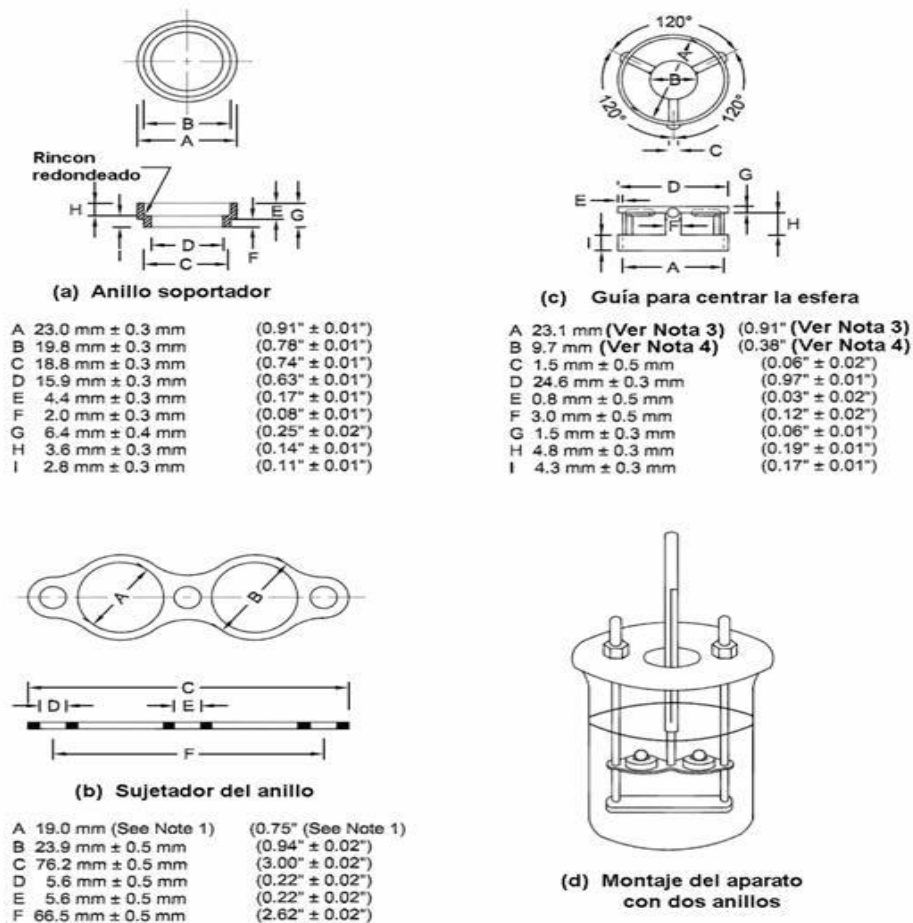
El termómetro adecuado se colocará en el montaje como se indica en la Figura 8d, cuidando que el extremo del bulbo esté a nivel con el fondo de los anillos y dentro de los 13 mm (0.5") alrededor de ellos, pero sin tocar los anillos ni el soporte.

#### **4.8 Líquido para el baño:**

**4.8.1** Agua destilada recién hervida, para evitar la formación de burbujas sobre la superficie del espécimen.

**4.9 Agentes aislantes:** Consisten en aceites o grasas con siliconas que se usan para evitar la adherencia del producto bituminoso sobre el plato de base, cuando se hacen los discos. Se coloca en una ligera capa sobre la superficie que se quiere proteger. También se pueden usar mezclas de glicerina con talco, dextrin o arcilla china. Cuando se usen siliconas, se debe evitar la contaminación de otros elementos del equipo de ensayo, pues puede producir errores en las determinaciones de penetración o punto de ignición. En estos casos, se deben emplear guantes desechables de caucho.

**Figura 8. Anillo soportador sujetador de anillo guía para centrar esfera y montaje que muestra dos anillos del aparato**



## 5. PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES

**5.1.** Antes de iniciar labores se debe verificar que todo haya sido planeado (equipos, materiales, etc.) para terminar el ensayo dentro de 6 horas. Se calienta la muestra de material bituminoso en forma cuidadosa, se agita frecuentemente para evitar sobrecalentamientos localizados, hasta asegurar que esté suficientemente fluida para poderla verter. Al agitarse, se deberá evitar la formación de burbujas. El calentamiento de la muestra no debe tomar

más de 2 horas; y, en ningún caso, la temperatura será mayor que 110° C (200° F) por encima del punto de ablandamiento esperado. Si el ensayo se debe repetir, no se recalentará la muestra, sino que se deberá utilizar una muestra fresca.

**5.2.** Se calientan los dos anillos de bronce sin el plato de base, aproximadamente a la misma temperatura del producto asfáltico, y se colocan sobre el plato de base, tratado con un agente aislante.

**5.3.** Se vierte, con un ligero exceso, el producto bituminoso dentro de los anillos y se deja enfriar a temperatura ambiente durante 30 minutos. Para materiales que estén blandos a la temperatura ambiente, se enfrían los especímenes, al menos durante 30 minutos a una temperatura inferior, 10° C (18° F) por debajo del punto de ablandamiento esperado. Desde el momento en que se forman los discos, no deberán transcurrir más de 240 minutos hasta la terminación del ensayo.

**5.4.** Cuando los especímenes estén fríos, se corta el exceso de material de la parte superior, con un cuchillo o espátula precalentada, para que la superficie del disco coincida con el nivel superior del anillo.

## **6. PROCEDIMIENTO**

**6.1.** Se escoge, dependiendo del punto de ablandamiento esperado, el baño líquido y el termómetro adecuado, entre los siguientes casos:

**6.1.1.** Baño con agua destilada recién hervida, para ablandamiento esperado entre 30° y 80° C (86° y 176° F); se debe usar un termómetro 15C (ó 15F). La temperatura, al comenzar el baño, deberá ser de 5° ± 1° C (41° ± 2° F).

**6.1.2.** Baño con glicerina USP, para obtener ablandamientos por encima de 80° C (176° F) y hasta 157° C (315° F); se debe usar un termómetro 16C (ó

16F). La temperatura de iniciación del baño deberá ser de  $30^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{ C}$  ( $86^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{ F}$ ).

**6.1.3.** Baño con glicol etileno para ablandamiento entre  $30^{\circ} \text{ C}$  ( $86^{\circ} \text{ F}$ ) y  $110^{\circ} \text{ C}$  ( $230^{\circ} \text{ F}$ ); se debe usar un termómetro 16C (ó 16F). La temperatura de iniciación del baño deberá ser de  $5^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{ C}$  ( $41^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{ F}$ ).

**6.2.** Se hace el montaje de los aparatos en un laboratorio ventilado, colocando los anillos con los especímenes, las guías para las bolas y los termómetros en posición, y se llena el baño con el líquido apropiado hasta una altura de  $105 \pm 3 \text{ mm}$  ( $4 \frac{1}{8}'' \pm \frac{1}{8}''$ ). Si se usa glicol etileno, se debe asegurar que el ventilador de la campana extractora esté funcionando antes de depositar el líquido. Usando unas tenazas apropiadas, se colocan las dos bolas en el fondo del baño para que adquieran la misma temperatura de iniciación que el resto del montaje.

**6.3.** Se coloca todo el conjunto del baño, en agua con hielo o se calienta muy suavemente, para alcanzar y mantener durante 15 minutos la temperatura de iniciación apropiada. Se debe cuidar de no contaminar el líquido del baño.

**6.4.** Usando otra vez las tenazas, se coloca cada una de las bolas en la guía para su centrado.

**6.5** Se calienta el baño en forma pausada (Nota 1), para asegurar que la rata de elevación de la temperatura sea constante a  $5^{\circ} \text{ C/min}$  ( $9^{\circ} \text{ F/minuto}$ ). Se protege el baño de corrientes de aire usando pantallas, si es necesario. No se debe promediar la rata de elevación de la temperatura durante el período del ensayo.

La máxima variación permitida para un período de 1 minuto, después de transcurridos los 3 primeros minutos, será de  $\pm 0.5^{\circ} \text{ C}$  ( $\pm 1^{\circ} \text{ F}$ ). Se repite cualquier ensayo en el cual la rata de elevación de la temperatura no caiga

dentro de estos límites. Para el ensayo usando glicerina, el control de temperatura se puede establecer a partir de los 32° C, luego se continúa el procedimiento controlando la aplicación de temperatura tal como se describe en la Sección 6.5.

## **DUCTILIDAD DE LOS MATERIALES ASFALTICOS**

### **I.N.V. E – 702 – 07**

#### **1. OBJETIVO**

**1.1.** Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación de la ductilidad de los materiales asfálticos, de consistencia sólida y semisólida.

**1.2.** El procedimiento consiste en someter una probeta del material asfáltico a un ensayo de tracción, en condiciones determinadas de velocidad y temperatura, en un baño de agua de igual densidad, definiéndose la ductilidad como la distancia máxima en cm que se estira la probeta hasta el instante de la rotura.

**1.3.** Normalmente, el ensayo se realiza con una velocidad de tracción de  $50 \pm 2.5$  mm por minuto y la temperatura de  $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  ( $77 \pm 1.0^{\circ}\text{F}$ ); aunque se puede realizar en otras condiciones de temperatura, debiendo concretarse en este caso la velocidad correspondiente.

#### **2. EQUIPO Y MATERIALES**

**2.1. Moldes:** Los moldes para fabricar las probetas serán de bronce o zinc, con la forma y dimensiones de la Figura No.9. A las partes b y b' se las denomina "pinzas" y a las a y a' "piezas laterales". Un molde correctamente montado, proporcionará probetas para ensayo con las siguientes dimensiones:

- Distancia entre centros  $112.5 \pm 1.0$  mm
- Longitud total  $75.0 \pm 0.5$  mm
- Distancia entre pinzas  $30.0 \pm 0.3$  mm
- Borde de la pinza  $7 \pm 0.2$  mm
- Radio de la pinza  $16 \pm 0.25$  mm
- Ancho de boca de las pinzas  $20.0 \pm 0.2$  mm
- Ancho de la sección mínima (equidistante entre pinzas)  $10.0 \pm 0.1$  mm
- Distancia entre centros de radio  $42 \pm 0.1$  mm
- Diámetro del orificio de la pinza  $6.6 \pm 0.1$  mm
- Espesor uniforme  $10.0 \pm 0.1$  mm

**2.2 Placa:** Para el llenado de los moldes, se dispondrá de una placa de bronce plana, provista de un tornillo lateral de sujeción y con la forma y dimensiones que se detallan en la Figura 9.

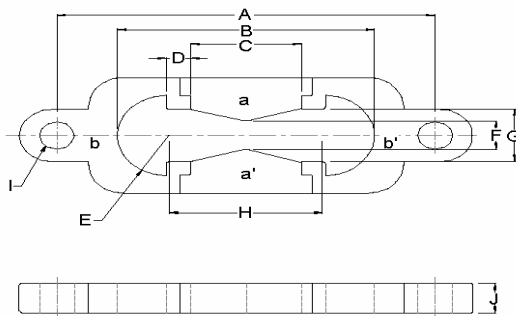
**2.3 Baño de agua:** Un baño de agua que pueda mantener la temperatura de ensayo con una variación máxima de  $0.1^{\circ}$  C ( $0.2^{\circ}$  F). Su volumen de agua no será inferior a 10 litros y estará equipado con una placa perforada para la colocación de las probetas, situada a una distancia mínima de 50 mm del fondo y 100 mm de la superficie. El agua del baño debe estar libre de sustancias aceitosas y orgánicas.

**2.4 Ductilómetro:** El aparato para el ensayo de tracción se denomina ductilómetro (Ver Figura No.9) y, en esencia, consta de un tanque de agua en el que se sumergen las probetas, provisto de un mecanismo de arrastre que no produzca vibraciones, capaz de separar a la velocidad especificada un extremo de la probeta del otro, que permanece fijo. La tolerancia máxima admitida en la velocidad especificada será del 5%.

### 3. PROCEDIMIENTO

**3.1. Preparación de las probetas:** Para evitar la adherencia del material a la placa y partes interiores del molde, se cubren éstas con una ligera película de una mezcla de partes iguales de glicerina y dextrina, talco o Kaolin, montándose a continuación el molde como se indica en la Figura 9, sujetándolo sobre la placa mediante el tornillo lateral. La placa con el molde se colocan sobre una superficie horizontal, debiendo comprobarse que todas las piezas del molde se apoyen completamente sobre la placa.

**Figura 9. Molde y placa para ductilímetro**



- A: Distancia entre los centros: 111.5 a 113.5 mm.
- B: Largo total de la briquea: 74.5 a 75.5 mm.
- C: Distancia entre clips: 29.7 a 30.3 mm.
- D: Borde del clip: 6.8 a 7.2 mm.
- E: Radio del clip: 15.75 a 16.25 mm.
- F: Ancho mínimo de la sección transversal: 9.9 a 10.1 mm.
- G: Ancho de la boca del clip: 19.8 a 20.2 mm.
- H: Distancia entre los centros de radio: 42.9 a 43.1 mm.
- I: Diámetro del orificio del clip: 6.5 a 6.7 mm.
- J: Espesor: 9.9 a 10.1 mm

**3.2. Ejecución del ensayo:** La probeta se monta en el ductilómetro, introduciendo cada pareja de clavijas de los sistemas fijo y móvil en los correspondientes orificios de cada pinza, poniendo a continuación en marcha el mecanismo de arrastre del ensayo a la velocidad especificada hasta que se

produzca la rotura, se mide la distancia que se hayan separado ambas pinzas hasta este instante en cm.

Durante la realización del ensayo la probeta, al irse estirando, deberá permanecer en todo momento sumergida en el agua del ductilómetro, sin aproximarse a la superficie o al fondo una distancia menor de 25 mm. La temperatura del agua será la normalizada, con una tolerancia de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 1^{\circ}\text{F}$ ). En un ensayo normal, el material asfáltico entre las pinzas se va paulatinamente estirando hasta formar un hilo, produciéndose la rotura en un punto en el que el hilo no tiene apenas sección transversal. Si durante el ensayo, el material bituminoso al estirarse tiene tendencia a subir hasta la superficie del agua o tocar la placa de fondo del ductilómetro, se deberá ajustar la densidad relativa del agua a la del material ensayado, añadiendo alcohol metílico o cloruro de sodio según el caso, hasta conseguir que el hilo quede lo más recto posible, sin elevarse o descender.

#### **4. RESULTADOS**

**4.1.** La distancia en cm que se han separado las pinzas desde su posición inicial hasta que se produce la rotura en un ensayo normal, es del valor de la ductilidad de una probeta.

**4.2.** Se ensayarán tres probetas por muestra, y el valor medio obtenido en un ensayo normal se expresará como el resultado de la ductilidad, especificando las condiciones de velocidad y temperatura a las que se haya realizado el ensayo.

**4.3.** Si no se puede conseguir que un ensayo se desarrolle en las condiciones normales anteriores, se informará que la ductilidad no se puede realizar en esas condiciones.

# **PENETRACIÓN DE LOS MATERIALES ASFÁLTICOS**

**I.N.V. E – 706 – 07**

## **1. OBJETIVO**

**1.1.** Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la consistencia de los materiales asfálticos sólidos o semisólidos en los cuales el único o el principal componente es un asfalto.

**1.2.** Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como la norma. Los valores en paréntesis son de información, únicamente.

## **2. DEFINICIONES**

**2.1.** La penetración se define como la distancia, expresada en décimas de milímetro hasta la cual una aguja normalizada penetra verticalmente en el material en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura. Normalmente, el ensayo se realiza a 25° C (77° F) durante un tiempo de 5 segundos y con una carga móvil total, incluida la aguja, de 100 g, aunque se pueden emplear otras condiciones previamente definidas.

**2.2.** Los aparatos y el procedimiento descrito en esta norma son de aplicación general en productos asfálticos con una penetración máxima de 350; en la Sección 5.3 se indican el material y procedimiento para penetración hasta 500.

## **3. USO Y SIGNIFICADO**

El ensayo de penetración se usa como una medida de consistencia. Altos valores de penetración indican consistencias más blandas.

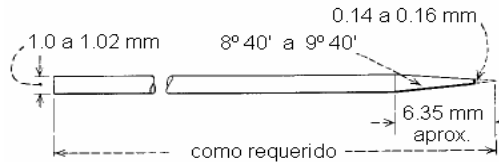
## 4. EQUIPO Y MATERIALES

**4.1. Penetrómetro:** El aparato para la medida de las penetraciones se denomina penetrómetro y, en esencia estará constituido por un mecanismo que permita el movimiento vertical sin rozamiento apreciable de un vástago o soporte móvil al cual se pueda fijar firmemente por su parte inferior, la aguja de penetración; y que permita, además, la colocación sobre el mismo, de diferentes cargas lectura en unidades de penetración, según la Sección 2.1, y debe ser capaz de indicar la profundidad de penetración con una aproximación de 0.1 mm. La masa del vástago será de  $47.5 \pm 0.05$  g, y la masa total del conjunto móvil formado por el vástago juntamente con la aguja, de  $50.0 \pm 0.05$  g. Se deberá disponer, igualmente, de pesas individuales suplementarias de  $50.0 \pm 0.05$  g y  $100.0 \pm 0.05$  g para obtener otras cargas totales móviles de acuerdo con las condiciones del ensayo. El penetrómetro deberá estar provisto, además, de una base de apoyo para la colocación del recipiente con la muestra, de forma plana y que forme un ángulo de 90 grados con el sistema móvil, así como de un nivel de burbuja y tornillos de nivelación. Este vástago se deberá poder separar fácilmente del conjunto del penetrómetro para verificar y ajustar correctamente su peso.

**4.2. Aguja de penetración:** La aguja (ver Figura 10) será de acero inoxidable endurecido y templado, (ASTM Grado 440 C ó similar), con una dureza Rockwell HRC54 a HRC60, tendrá unos 50 mm (2") de longitud y entre 1.00 y 1.02 mm (0.039 a 0.040) de diámetro, con uno de sus extremos simétricamente afilado hasta formar un cono de ángulo comprendido entre  $8^{\circ} 40'$  y  $9^{\circ} 40'$  en toda su longitud, y cuyo eje sea coaxial con el de la aguja; la variación total axial entre las intersecciones de las superficies del cono y del cilindro, medida como proyección sobre el eje de simetría de la aguja, no deberá exceder de 0.02 mm (0.08"). Después de dada la conicidad, se corta su punta para formar un cono truncado, cuya base tenga un diámetro comprendido entre 0.14 y 0.16

mm (0.0055 y 0.0063") y esté situado en un plano perpendicular al eje de la aguja, con una tolerancia máxima de 2° y con sus bordes filosos y libres de rebabas.

**Figura 10. Agujas para ensayo de penetración**



**4.3 Recipiente o molde para la muestra:** Los recipientes para las muestras serán de metal o vidrio, de forma cilíndrica y fondo plano, y con las siguientes dimensiones interiores:

**Tabla 16. Dimensiones de los recipientes para la muestra.**

	<b>Diámetro mm (")</b>	<b>Profundidad mm (")</b>
<b>Penetración hasta 200</b>	55 (2.17)	35 (1.38)
<b>Penetración entre 200 y 350</b>	55 (2.17)	70 (2.75)

**4.4. Baño de agua:** Para la inmersión de los recipientes con las muestras, se dispondrá de un baño de agua con una capacidad mínima de 10 litros y provisto de un dispositivo capaz de mantener la temperatura especificada para el ensayo con una variación de  $\pm 0.1^\circ \text{C}$  ( $0.2^\circ \text{F}$ ). El baño irá equipado con una placa de soporte perforada, colocada a una distancia no menor de 50 mm del fondo, ni mayor de 100 mm del nivel superior del líquido en el baño. Si la penetración se va a realizar en el mismo baño de agua, éste deberá disponer, además, de una plataforma resistente para soportar el penetrómetro. Para ensayos de penetración a bajas temperaturas, se pueden utilizar solución salina como líquido del baño.

**Nota 1.-** Se recomienda agua destilada para el baño. Se debe evitar la contaminación del agua del baño por agentes superficiales activos, agentes residuales u otros agentes químicos, pues su presencia puede afectar los valores de penetración.

**4.6. Dispositivo medidor de tiempo:** Control de precisión. La precisión de los instrumentos empleados para medir la duración de los tiempos de carga, se deberá comprobar inmediatamente antes de cada ensayo.

**4.6.1. Penetrómetros manuales:** Cuando se empleen penetrómetros de este tipo, el tiempo del ensayo se deberá medir mediante un reloj eléctrico, un cronómetro u otro instrumento cualquiera graduado en 0.1 segundos o menos, y que tenga una exactitud de  $\pm 0.1$  segundos en un intervalo de 60 segundos. Se puede utilizar igualmente un contador sonoro que emita una señal cada 0.5 segundos, y en el que la cuenta de 11 señales equivalga a un tiempo total de  $5 \pm 0.1$  segundos.

**4.6.2. Penetrómetros automáticos:** En estos aparatos, el dispositivo medidor de tiempo estará calibrado para proporcionar el tiempo del ensayo con exactitud de  $\pm 0.1$  segundos.

## **5. PROCEDIMIENTO**

**5.1. Preparación de la muestra:** Se tomarán las precauciones necesarias para que la muestra del ensayo sea verdaderamente representativa, de aspecto homogéneo y sin contaminación. De la muestra de laboratorio, se separarán con una espátula caliente unos 400 a 500 g de material que se colocarán en un recipiente, que se calienta cuidadosamente agitándolo para evitar sobrecalentamientos locales y para homogeneizar el material, hasta que alcance la fluidez que permita su vertido en los moldes para las probetas. Las temperaturas de calentamiento no excederán a las del Punto de Ablandamiento

(norma INV E – 712, método de anillo y bola) de cada material en más de 90° C (195° F). El tiempo total de calentamiento no excederá 30 minutos, evitándose la formación de burbujas de aire.

A continuación, se llena el molde para la probeta calentado a una temperatura semejante a la del material, y hasta una altura que, medida a la temperatura del ensayo, sea superior al menos en 10 mm a la penetración supuesta. Se preparará un total de dos moldes por cada muestra de material y ensayo de iguales características.

Después de llenar los moldes, se cubren con un vaso de vidrio invertido, de dimensiones apropiadas, para protegerlos del polvo y permitir la eliminación de posibles burbujas de aire, y se dejan enfriar al aire a una temperatura entre 20° y 30° C, (68° y 86° F), por un período entre 1 y 1.5 horas, si se emplean moldes pequeños, y entre 1.5 y 2 horas si se utilizan los de mayor tamaño. Finalmente, se sumergen los recipientes en el baño de agua a la temperatura especificada, manteniéndolos así durante los mismos períodos de enfriamiento.

**5.2. Condiciones del ensayo:** Las condiciones normalizadas del ensayo son respectivamente, de 25° C (77° F), 100 g y 5 segundos para la temperatura, la carga y el tiempo de duración de la misma. Sin embargo, se admite emplear otras condiciones de ensayo.

Cuando las condiciones del ensayo no se mencionan expresamente, se entenderá que serán las normalizadas, debiéndose especificar claramente en los demás casos las condiciones especiales que se podrán emplear.

**5.3. Ejecución del ensayo:** Primero se comprueba que el vástago soporte de la aguja este perfectamente limpio y seco, y que se deslice en forma suave y sin rozamiento sobre su guía. La aguja de penetración se limpia con tolueno u otro disolvente apropiado y se seca con un paño limpio, fijándola firmemente en su soporte. Salvo que se especifique otra carga, se coloca el peso

suplementario de 50 g sobre el vástago, para obtener la masa móvil total de  $100 \pm 0.1$  g. El ensayo de penetración se puede realizar directamente en el baño de agua, colocando el penetrómetro sobre la plataforma que para este fin debe tener el baño, y sobre la base del penetrómetro el recipiente con la muestra, el cual debe quedar completamente sumergido.

Una vez transcurridos los tiempos de inmersión prescritos en la Sección 5.1, se aproxima la aguja del penetrómetro hasta que su punta toque justamente la superficie de la muestra, sin que penetre, lo cual se facilita aproximando la aguja y su imagen reflejada mediante una lámpara auxiliar, convenientemente colocada. Se anota la lectura o se pone en cero el penetrómetro y se suelta seguidamente el mecanismo que libera la aguja durante el tiempo especificado. Finalmente, se lee y anota la distancia, expresada en décimas de milímetro, que haya penetrado la aguja en la muestra.

Si el recipiente con la muestra se mueve durante la penetración, se anula el resultado. Se realizarán al menos tres penetraciones en cada recipiente, sobre diferentes puntos de la superficie separados, como mínimo, 10 mm (3/8") entre sí y de las paredes del recipiente. Después de cada penetración, se desmonta y saca la aguja y se limpia cuidadosamente con un trapo limpio y seco. Cuando las penetraciones obtenidas sean más profundas de 200, se usarán al menos tres agujas, dejándolas en la muestra hasta que las tres determinaciones se hayan completado.

Los aparatos y el procedimiento descrito anteriormente son de aplicación general para materiales con penetraciones hasta de 350. El método, sin embargo, puede ser utilizado para determinaciones de penetración de 500, utilizando moldes y agujas especiales. El recipiente para la muestra debe tener, al menos, 60 mm de profundidad. El volumen total del material en el recipiente no deberá exceder de 125 ml para permitir las variaciones propias de la muestra, por cambio de temperatura. La aguja que se emplee deberá cumplir con los requisitos de calidad, dimensiones y masa exigidos en la Sección 4.2.,

con excepción de su longitud libre, que será como mínimo de 50 a 55 mm (1.97 a 2.17”).

## 6. RESULTADOS

6.1. El resultado del ensayo será el promedio de tres penetraciones cuyos valores no difieran en más de las siguientes cantidades:

**Tabla 17. Valores penetración promedio**

Penetración	0 a 49	50 a 149	150 a 249	Entre 250 y 500
Diferencia máxima entre valores extremos	2	4	12	20

6.2. Si se excede la tolerancia anterior, se repite el ensayo utilizando el segundo molde con muestra previamente preparada. Si se excediera de nuevo la correspondiente tolerancia, se anulan los resultados obtenidos y se procederá a la realización de un nuevo ensayo.

## **ANEXO G. COMPLEMENTO TEORICO**

### **G1. MODIFICACION DE ASFALTOS CON POLIMEROS.**

Aunque la modificación de los asfaltos con polímeros es una nueva técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías de carreteras, se decidió modificar asfalto oxidado para impermeabilización, aprovechando la excelente alternativa que brindan los polímeros incorporándolos en asfalto, como el mejoramiento de la calidad de estos, debido a que los polímeros actúan como ligantes de mejores características adhesivas, además permiten mejorar sus características mecánicas, como deformaciones por factores climatológicos, los hace más resistentes al envejecimiento, mejoran las condiciones de elasticidad, flexibilidad, cohesión y viscosidad, lo cual permite mayor vida útil. La obtención de una buena mezcla de asfalto y polímero, dependerá de que el polímero adicionado tenga una estructura química que le permita una buena dispersión en el asfalto. En general, se eligen elastómeros porque generan una mezcla de alta estabilidad y rigidez.

### **G2. MODIFICACIÓN DE ASFALTOS POR LA ADICIÓN DE POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS.**

El Polietileno, polipropileno, policloruro de vinilo, poliestireno y etileno vinil acetato (EVA) son los principales polímeros termoplásticos que han sido examinados para la utilización como modificadores de ligantes asfálticos. Como termoplásticos, estos son caracterizados por su ablandamiento en el calentamiento y el endurecimiento en el enfriamiento. Cuando se mezclan con el asfalto los polímeros termoplásticos, asociados a la temperatura ambiente, incrementan la viscosidad del asfalto. Infortunadamente los polímeros no

incrementan significadamente la elasticidad del asfalto y cuando son calentados ellos pueden ser separados, entregando una capa de dispersión en el enfriamiento.

### **G3. ESTRUCTURA DE LOS ASFALTOS MODIFICADOS.**

Los asfaltos modificados con polímeros están constituidos por dos fases, una formada por pequeñas partículas de polímero y otra por asfalto. En las composiciones de baja concentración de polímeros existe una matriz continua de asfalto en la que se encuentra disperso el polímero; pero si se aumenta la proporción de polímero en el asfalto se produce una inversión de fases, estando la fase constituida por el polímero hinchado y la fase discontinua por el asfalto que se encuentra disperso en ella. Esta micro morfología bifásica y las interacciones existentes entre las moléculas del polímero y los componentes del asfalto parecen ser la causa del cambio de propiedades que experimentan los asfaltos modificados con polímeros

## ANEXO H. ASFALTO OXIDADO

### F1. PROCESOS DE OXIDACION DE ASFALTO A NIVEL INDUSTRIAL.

Existen dos tipos de procesos el continuo y discontinuo, en los dos procesos, el aire es inyectado por el fondo del reactor, agitando la masa de asfalto a medida que asciende. Este es un proceso exotérmico, donde el calor de reacción es removido por inyección de agua en la zona de vapores. Las condiciones de operación se controlan de tal forma que se obtenga un producto con las propiedades especificadas. Los gases de reacción ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO$ ,  $H_2S$ ,  $SO_2$ ) son evacuados a la atmósfera, o llevados a tratamiento para reducir la contaminación atmosférica.

El Cloruro férrico ( $FeCl_3$ ) y Pentóxido de fósforo ( $P_2O_5$ ), reducen el tiempo requerido para la oxidación, mejorando la calidad del producto. Estas sustancias más que catalizadores, son aditivos de la reacción que son consumidos y finalmente entran a formar parte del asfalto oxidado. Para el proceso de oxidación debe establecerse el flujo de aire óptimo, para obtener un asfalto con buenas características y excelente durabilidad en términos económicos. Los valores óptimos del flujo de aire en el proceso a escala industrial están en el rango de 3 -10  $pies^3$  /minuto por cada barril de asfalto procesado.

La temperatura es otra variable a considerar durante el proceso de oxidación, esta debe fijarse en un rango de (200-290°C). A mayor temperatura, se presenta un incremento en la velocidad de reacción, necesitándose por tanto un menor tiempo para obtener el producto con las especificaciones requeridas. El aumento exagerado de temperatura del proceso deteriora la calidad del asfalto, debido a la susceptibilidad del material a fuertes cambios de temperatura.

## ANEXO I. MATERIALES UTILIZADOS

Foto 1. Asfalto Oxidado



Foto 2. EPS- post-consumo



## ANEXO J. PREPARACION ASFALTO MODIFICADO CON EPS- POST CONSUMO

Foto 3. Esquema calentamiento del asfalto oxidado



Foto 4. Incorporación del EPS- post consumo al asfalto oxidado



**Foto 5. Muestras obtenidas de asfalto oxidado modificado con EPS- post consumo**



**ANEXO K. CARACTERIZACION ASFALTO MODIFICADO CON EPS- POST  
CONSUMO**

**PUNTO DE ABLANDAMIENTO**

**Foto 6. Esquema ensayo de punto de ablandamiento (Anillo y Bola)**



**Foto 7. Punto de Ablandamiento**



## DUCTILIDAD

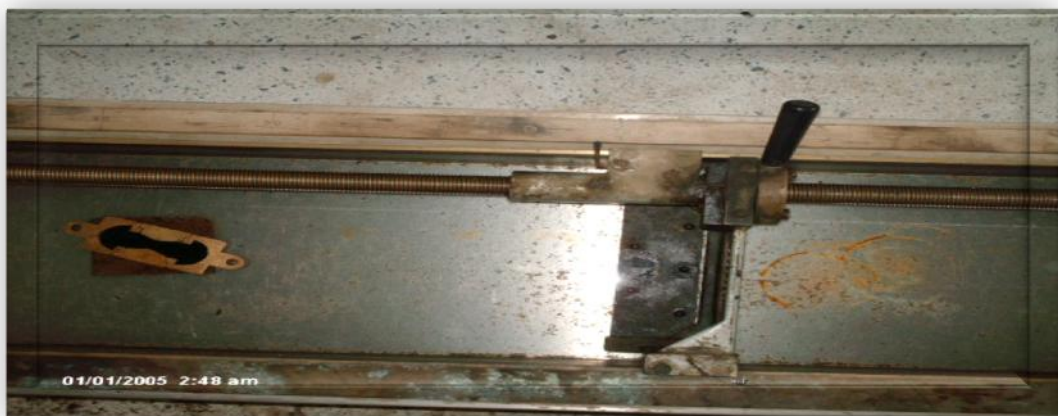
Foto 8. Esquema ensayo de Ductilidad.



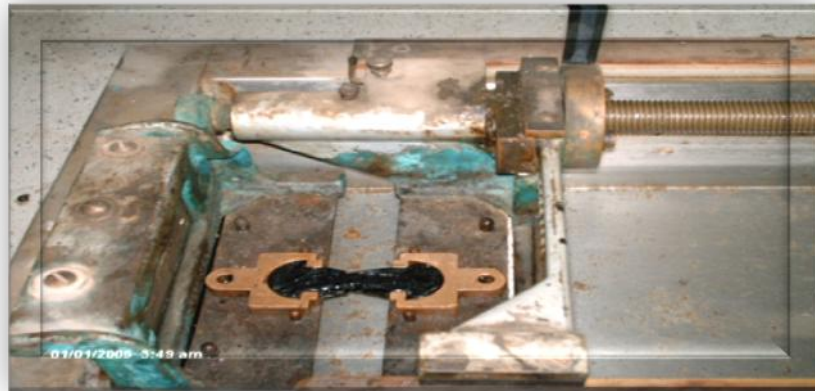
Foto 9. Ductilómetro.



Foto 10. Placas de bronce con asfalto, sumergida en un baño de agua destilada a 25°C



**Foto 11. Montaje de la probeta en el ductilómetro**



**Foto 12. Estiramiento hasta su rotura**



### **PENETRACION (Prueba de dureza)**

**Foto 13. Esquema ensayo de Penetración**



**Foto 14. Penetrómetro Manual**



**Foto 15. Penetración de la aguja en unidades de 0.1 mm**

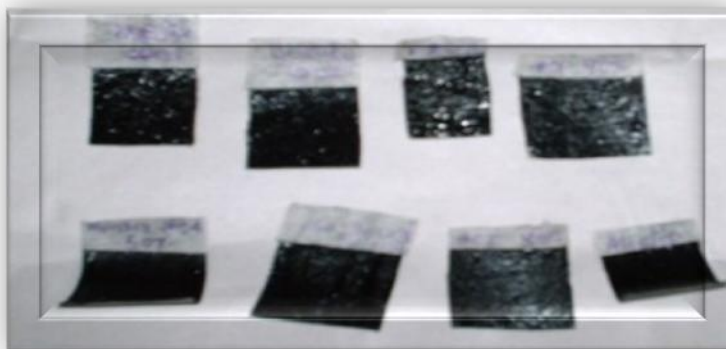


**ANEXO L. RESISTENCIA AL ATAQUE QUIMICO CON AGENTES DILUIDOS  
AL 10%**

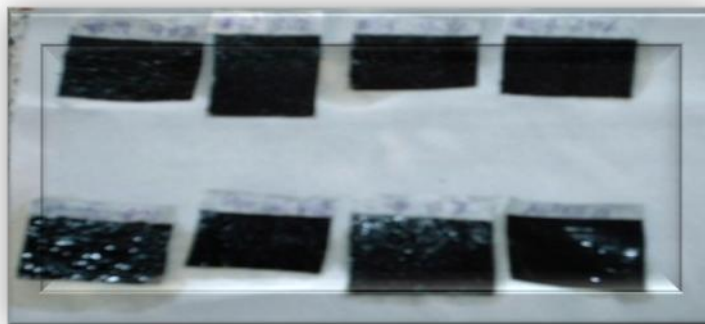
**Foto 16. Muestras**



**Foto17. Resistencia al Acido Acético 10% p/p**



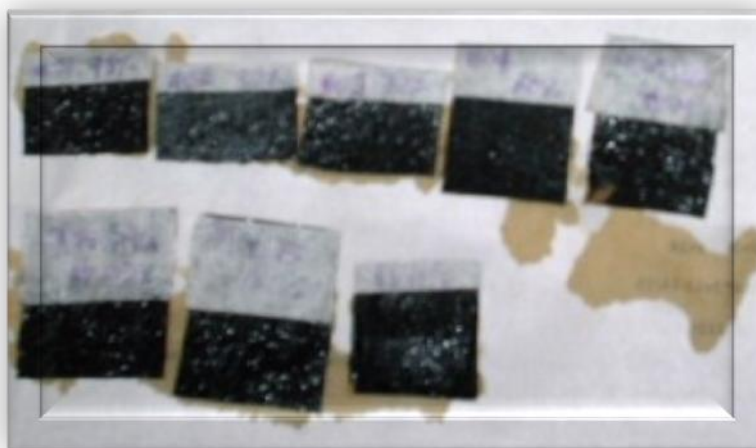
**Foto18. Resistencia al Acido Sulfúrico 10% p/p**



**Foto 19. Resistencia al Acido Clorhídrico 10% p/p**



**Foto 20. Resistencia Hidróxido de Sodio 10% p/p**



**Foto 21. Resistencia al Acido Acético 10% p/p a (25°C y 50 °C)**



**Foto 22. Resistencia al Acido Sulfúrico 10% p/p a (25°C y 50 °C)**



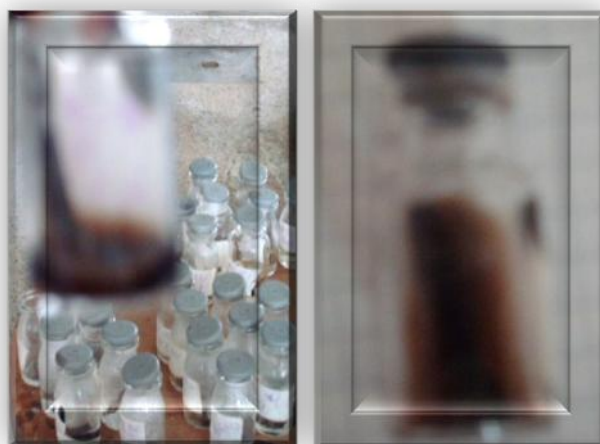
**Foto 23. Resistencia al Acido Clorhídrico 10% p/p a (25°C y 50 °C)**



**Foto 24. Resistencia Hidróxido de Sodio 10% p/p a (25°C y 50 °C)**



**Foto 25. Muestra 70:30. Resistencia Acido Sulfúrico 10% p/p a (70 °C)**



**Foto 26. Muestra 90:10, 80:20 Resistencia Acido Sulfúrico 10% p/p a (70 °C)**



**Foto 27. Muestra Hidróxido de sodio 10% p/p a (70 °C).**



**ANEXO M. RESISTENCIA AL ATAQUE QUIMICO CON ACIDO SULFURICO  
CONCENTRADO**

**Foto 28. Resistencia al Acido Sulfúrico puro a los 5 min**



**Foto 29. Resistencia al Acido Sulfúrico puro a los 15 min**



**Foto 30. Resistencia al Acido Sulfúrico puro Después de 1 hora**



Foto 31. Solución disuelta en agua.



Foto 32. Residuo terminada la sulfonación.



**Foto 33. Residuos de la mezcla después de la sulfonación**



## ANEXO N. ENSAYO PESO ESPECÍFICO

Foto 34. Solido irregular asfalto modificado con EPS post- consumo



Foto 35. Peso Solido Irregular



**Foto 36. Volumen Inicial**



**Foto 37. Volumen Final**



## ANEXO O. ENSAYO DE IMPERMEABILIZACION

Foto 38. Aplicación asfalto oxidado modificado sobre lámina de papel

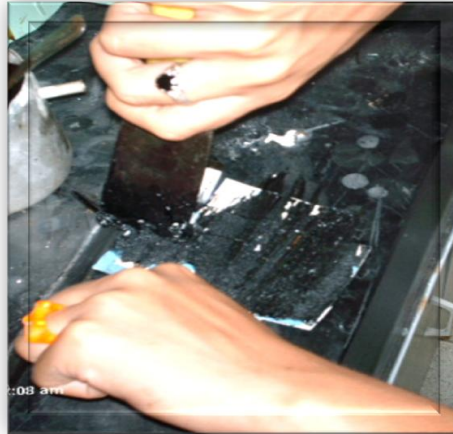


Foto 39. Cajas de cada muestra para impermeabilización

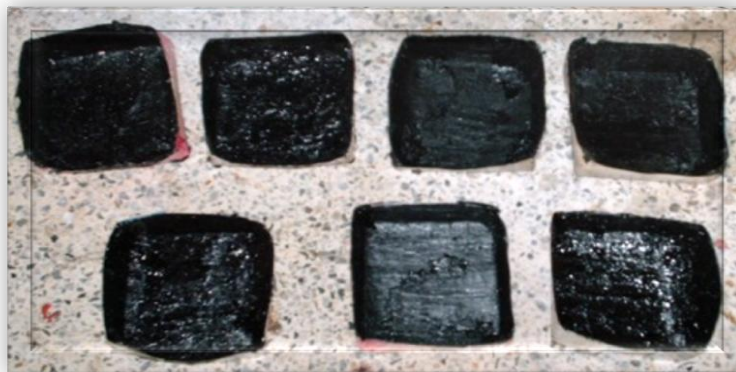


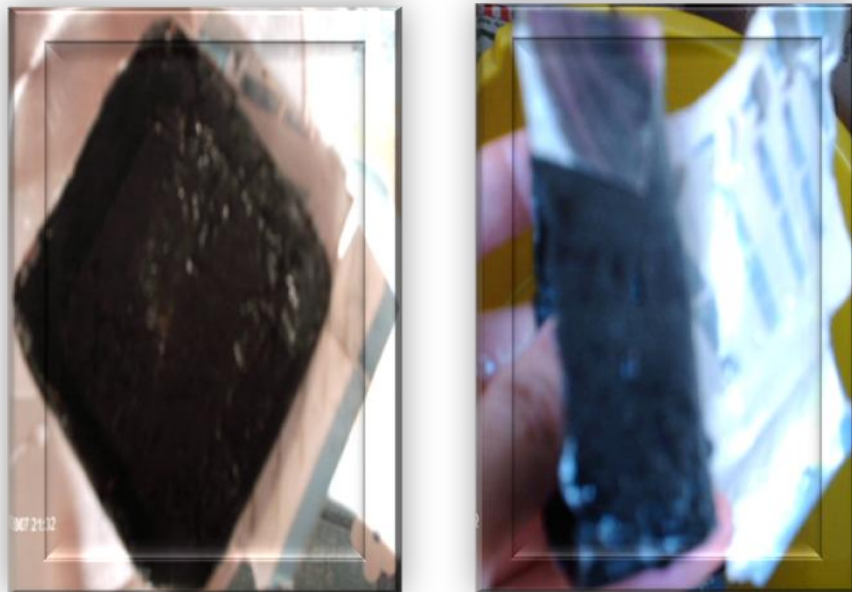
Foto 40. Ensayo de impermeabilización



**Foto 41. Ensayo de impermeabilización**



**Foto 42. Ensayo de impermeabilización Desprendimiento del papel**



## ANEXO P. ENSAYO DE INFLAMABILIDAD

Foto 43. Esquema ensayo de inflamabilidad




Foto 44. Muestras 1, 2, 3, 4, 5, 6. Resistencia a la llama



## ANEXO Q. FICHAS DE SEGURIDAD


### FICHA DE SEGURIDAD DEL ACIDO SULFÚRICO

Información sobre producto	
Fórmula empírica (según Hill)	$H_2O_4S$
Fórmula químico	$H_2SO_4$
Número HS	2807 00 10
Número CE	231-639-5
Masa molar	98.07 g/mol
Número de índice CE	016-020-00-8
Número CAS	7664-93-9
Datos químicos y físicos	
Solubilidad en agua	(20 °C) soluble, (¡Atención! Desprendimiento de calor)
Masa molar	98.07 g/mol
Densidad	1.84 g/cm <sup>3</sup> (20 °C)
Valor de pH	(H <sub>2</sub> O, 20 °C) fuertemente ácido/a
Punto de ebullición	330 °C
Información de seguridad	
Frase R	R 35 Provoca quemaduras graves.
Frase S	S 26-30-45 En caso de contacto con los ojos, lávense inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico. No echar

	<p>jamás agua a este producto. En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible, muéstresele la etiqueta).</p>
<p><b>Características de peligrosidad</b></p>	<p><b>corrosivo</b></p>
<p><b>Hazard Symbol</b></p>	<p> <b>Corrosive</b></p>
<p><b>Clase de almacenamiento</b></p>	<p><b>8BL Líquidos No Combustibles, Corrosivos</b></p>
<p><b>WGK</b></p>	<p><b>WGK 1 contamina ligeramente el agua</b></p>
<p><b>Disposal</b></p>	<p><b>12</b></p> <p>Los ácidos inorgánicos y sus anhídridos, según el caso, se diluyen o respectivamente se hidrolizan previamente, añadiéndolos bajo agitación, cuidadosamente, en agua con hielo. Seguidamente se neutraliza con solución de hidróxido sódico (art. 105587) (guantes, campana extractora). Antes del vertido en la categoría D controlar el valor del pH con tiras indicadoras universales (art. 109535). El ácido sulfúrico fumante (óleum) se gotea cuidadosamente en ácido sulfúrico al 40 % (art. 109286), bajo buena agitación. Tener siempre cantidades suficientes de hielo a mano a efectos de refrigeración exterior. Después de enfriar, el ácido sulfúrico altamente concentrado obtenido se somete, como se indica arriba, a su tratamiento ulterior.</p>

	<p><b>Análogamente al ácido sulfúrico fumante (óleum)/ácido sulfúrico pueden gotearse otros anhídridos en sus correspondientes ácidos.</b></p> <p><b>Los gases ácidos (p. ej. halogenuros de hidrógeno, cloro, fosgeno, dióxido de azufre) se pueden pasar por una solución de sosa cáustica diluida y después de la neutralización se eliminan en la categoría D.</b></p>
<b>Información de transporte</b>	
<b>Clasificación (Transporte terrestre) ADR, RID</b>	<b>UN 1830 Schwefelsäure, 8, II</b>
<b>Clasificación (Transporte marítimo) IMDG-Code</b>	<b>UN 1830 SULPHURIC ACID, 8, II, Segregation Group: 1 (Acids)</b>
<b>Clasificación (Transporte aéreo) IATA-DGR</b>	<b>UN 1830 SULPHURIC ACID, 8, II</b>
<b>Datos toxicológicos</b>	
<b>LD 50 oral</b>	<b>DL50 rata 2140 mg/kg</b>
<b>Especificaciones</b>	
<b>Application test</b>	<b>passes test</b>

## FICHA DE SEGURIDAD DEL ACIDO CLORHIDRICO

Información sobre producto	
<b>Grade</b>	<b>Ph Eur,NF</b>
<b>Número HS</b>	<b>2806 10 00</b>
Datos químicos y físicos	
<b>Solubilidad en agua</b>	<b>(20 °C) soluble</b>
<b>Densidad</b>	<b>1.05 g/cm3 (20 °C)</b>
<b>Valor de pH</b>	<b>&lt; - 1 (H<sub>2</sub>O, 20 °C)</b>
<b>Punto de ebullición</b>	<b>102 °C</b>
<b>Presión de vapor</b>	<b>39.5 Pa (20 °C)</b>
Información de seguridad	
<b>Frase R</b>	<b>R 36/37/38</b> <b>Irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias.</b>
<b>Frase S</b>	<b>S 26</b> <b>En caso de contacto con los ojos, lávense inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico.</b>
<b>Características de peligrosidad</b>	<b>irritante</b>
<b>Symbol</b>	 <b>Irritant</b>
<b>Clase de almacenamiento</b>	<b>8BL Líquidos No Combustibles, Corrosivos</b>
<b>WGK</b>	<b>WGK 1 contamina ligeramente el agua</b>



<p><b>Disposal</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>12</b></p> <p><b>Los ácidos inorgánicos y sus anhídridos, según el caso, se diluyen o respectivamente se hidrolizan previamente, añadiéndolos bajo agitación, cuidadosamente, en agua con hielo. Seguidamente se neutraliza con solución de hidróxido sódico (art. 105587) (guantes, campana extractora). Antes del vertido en la categoría D controlar el valor del pH con tiras indicadoras universales (art. 109535). El ácido sulfúrico fumante (óleum) se gotea cuidadosamente en ácido sulfúrico al 40 % (art. 109286), bajo buena agitación. Tener siempre cantidades suficientes de hielo a mano a efectos de refrigeración exterior. Después de enfriar, el ácido sulfúrico altamente concentrado obtenido se somete, como se indica arriba, a su tratamiento ulterior. Análogamente al ácido sulfúrico fumante (óleum)/ácido sulfúrico pueden gotearse otros anhídridos en sus correspondientes ácidos. Los gases ácidos (p. ej. halogenuros de hidrógeno, cloro, fosgeno, dióxido de</b></p>
------------------------	---


	azufre) se pueden pasar por una solución de sosa cáustica diluida y después de la neutralización se eliminan en la categoría D.
<b>Información de transporte</b>	
<b>Clasificación (Transporte terrestre) ADR, RID</b>	<b>UN 1789 Chlorwasserstoffsäure, 8, II</b>
<b>Clasificación (Transporte marítimo) IMDG-Code</b>	<b>UN 1789 HYDROCHLORIC ACID, 8, II, Segregation Group: 1 (Acids)</b>
<b>Clasificación (Transporte aéreo) IATA-DGR</b>	<b>UN 1789 HYDROCHLORIC ACID, 8, II</b>
<b>Especificaciones</b>	
<b>Assay (alkalimetric)</b>	<b>9.5 - 10.0 %</b>
<b>Identity</b>	<b>passes test</b>
<b>Appearance</b>	<b>passes test</b>
<b>Free Bromine or Free Chlorine</b>	<b>passes test</b>
<b>Free chlorine (Cl)</b>	<b>≤ 0.00010 %</b>
<b>Sulphate (SO<sub>4</sub>)</b>	<b>≤ 0.0005 %</b>
<b>Sulfite (SO<sub>3</sub>)</b>	<b>≤ 0.001 %</b>
<b>Heavy metals (as Pb)</b>	<b>≤ 0.0002 %</b>
<b>Residual solvents (Ph.Eur./USP/ICH)</b>	<b>...excluded by production process</b>
<b>Residue on ignition (as SO<sub>4</sub>)</b>	<b>≤ 0.008 %</b>
<b>Non volatile matter</b>	<b>≤ 0.010 %</b>
<b>Endotoxins</b>	<b>≤ 2.5 I.U./ml</b>

Corresponds PhEur, NF

**FICHA DE SEGURIDAD ACIDO ACÉTICO**


<b>Información sobre producto</b>	
<b>Fórmula empírica (según Hill)</b>	<b>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub></b>
<b>Fórmula química</b>	<b>CH<sub>3</sub>COOH</b>
<b>Número HS</b>	<b>2915 21 00</b>
<b>Número CE</b>	<b>200-580-7</b>
<b>Masa molar</b>	<b>60.05 g/mol</b>
<b>Categoría de almacenamiento</b>	<b>Almacenar entre +15°C y +25°C.</b>
<b>Número de índice CE</b>	<b>607-002-00-6</b>
<b>Número CAS</b>	<b>64-19-7</b>
<b>Datos químicos y físicos</b>	
<b>Temperatura de ignición</b>	<b>485 °C</b>
<b>Solubilidad en agua</b>	<b>(20 °C) soluble</b>
<b>Concentración de saturación (aire)</b>	<b>38 g/m<sup>3</sup> (20 °C) Aire</b>
<b>Punto de fusión</b>	<b>17 °C</b>
<b>Masa molar</b>	<b>60.05 g/mol</b>
<b>Densidad</b>	<b>1.05 g/cm<sup>3</sup> (20 °C)</b>
<b>Valor de pH</b>	<b>2.5 (50 g/l, H<sub>2</sub>O, 20 °C)</b>
<b>Punto de ebullición</b>	<b>116 - 118 °C (1013 hPa)</b>
<b>Presión de vapor</b>	<b>15.4 hPa (20 °C)</b>
<b>Limite de explosión</b>	<b>4 - 19.9 %(V)</b>
<b>Temperatura de inflamabilidad</b>	<b>39 °C c.c.</b>

Índice de refracción	1.37 (20 °C)
Viscosidad cinemática	1.17 mm <sup>2</sup> /s (20 °C)
Índice de evaporación	24
<b>Safety information according to GHS</b>	
<b>Hazard Statement(s)</b>	<b>H226: Líquidos y vapores inflamables.</b> <b>H314: Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.</b>
<b>Precautionary Statement(s)</b>	<b>P280: Llevar guantes/prendas/gafas/máscara de protección.</b> <b>P301 + P330 + P331: EN CASO DE INGESTIÓN: Enjuagarse la boca. NO provocar el vómito.</b> <b>P305 + P351 + P338: EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando.</b>
<b>Signal Word</b>	<b>Peligro</b>
<b>Hazard Pictogram(s)</b>	 
<b>RTECS</b>	<b>AF1225000</b>
<b>Clase de almacenamiento</b>	<b>3 Líquidos Inflamables</b>
<b>WGK</b>	<b>WGK 1 contamina ligeramente el agua</b>
<b>Información de seguridad</b>	

<b>Frase R</b>	<b>R 10-35</b> <b>Inflamable. Provoca quemaduras graves.</b>
<b>Frase S</b>	<b>S 23-26-45</b> <b>No respirar los vapores. En caso de contacto con los ojos, lávense inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico. En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible, muéstresele la etiqueta).</b>
<b>Características de peligrosidad</b>	<b>inflamable, corrosivo</b>
<b>Hazard Symbol</b>	 <b>Corrosive</b>
<b>Información de transporte</b>	
<b>Clasificación (Transporte terrestre) ADR, RID</b>	<b>UN 2789 Eisessig, 8 (3), II</b>
<b>Clasificación (Transporte marítimo) IMDG-Code</b>	<b>UN 2789 ACETIC ACID, GLACIAL, 8 (3), II, Segregation Group: 1 (Acids)</b>
<b>Clasificación (Transporte aéreo) IATA-DGR</b>	<b>UN 2789 ACETIC ACID, GLACIAL, 8 (3), II</b>
<b>Datos toxicológicos</b>	
<b>LD 50 oral</b>	<b>DL50 rata 3310 mg/kg</b>
<b>LD 50 dérmica</b>	<b>DL50 conejo 1060 mg/kg</b>
<b>Especificaciones</b>	
<b>Assay (acidimetric)</b>	<b>≥ 99.0 %</b>
<b>Identity (IR-spectrum)</b>	<b>Conforms</b>

Density (d 20/4)	1.048 - 1.052 g/cm <sup>3</sup>
------------------	---------------------------------

## FICHA DE SEGURIDAD HIDRÓXIDO DE SODIO

Información sobre producto	
Synonyms	Sodium hydroxide solution
Número HS	2815 12 00
Datos químicos y físicos	
Solubilidad en agua	(20 °C) soluble
Densidad	1.09 g/cm <sup>3</sup> (20 °C)
Valor de pH	13.8 (H <sub>2</sub> O, 20 °C)
Información de seguridad	
Frase R	R 35 Provoca quemaduras graves.
Frase S	S 26-36/37/39-45 En caso de contacto con los ojos, lávense inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico. Úsense indumentaria y guantes adecuados y protección para los ojos/la cara. En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible, muéstresele la etiqueta).
Características de peligrosidad	corrosivo
Hazard Symbol	 Corrosive
Clase de almacenamiento	8BL Líquidos No Combustibles, Corrosivos

<b>WGK</b>	<b>WGK 1 contamina ligeramente el agua</b>	
<b>Disposal</b>	<b>28</b> <b>Soluciones acuosas: categoría D.</b>	
<b>Información de transporte</b>		
<b>Clasificación (Transporte terrestre) ADR, RID</b>	<b>UN 1824</b> <b>Natriumhydroxidlösung, 8, II</b>	
<b>Clasificación (Transporte marítimo) IMDG-Code</b>	<b>UN 1824 SODIUM HYDROXIDE SOLUTION, 8, II, Segregation Group: 18 (Alkalis)</b>	
<b>Clasificación (Transporte aéreo) IATA-DGR</b>	<b>UN 1824 SODIUM HYDROXIDE SOLUTION, 8, II</b>	
<b>Especificaciones</b>		
<b>Amount-of-substance concentration</b>	<b>c(NaOH)=0.1000 mol/l</b> <b>+/- 0.2 %</b>	
<b>Titer (20 °C)</b>	<b>1.000</b>	
<p><b>This volumetric solution was checked by means of hydrochloric acid standard solution tested against a Merck volumetric standard.</b></p> <p><b>The Merck volumetric standard are traceable to the Standard Reference Material 723d of NIST (National Institute of Standards and Technology, USA).</b></p>		

## FICHA DE SEGURIDAD DEL POLIESTIRENO

Formula Química: (C<sub>8</sub>H<sub>8</sub>) x

Masa molecular: 10 000-300 000

D A T O S  I M P O R T A N T E S	ESTADO FÍSICO: ASPECTO: Sólido incoloro en diversas formas.	RIESGO DE INHALACION: Puede alcanzarse rápidamente una concentración molesta de partículas suspendidas en el aire al dispersar el producto, especialmente en estado pulverulento.
	PELIGROS QUÍMICOS: La sustancia se descompone al calentarla intensamente por encima de 300°C, produciendo humos tóxicos, incluyendo estireno. La sustancia se descompone al arder, produciendo humos irritantes. Reacciona con oxidantes fuertes.	EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION: Puede causar irritación mecánica
	LIMITES DE EXPOSICION: TLV no establecido. MAK no establecido.	
PROPIEDADES FÍSICAS	Punto de fusión: 240°C Densidad relativa (agua = 1): 1.04-1.13	Punto de inflamación: 345-380°C Temperatura de autoignición: 427°C
DATOS AMBIENTALES		
<b>NOTAS</b>		
<b>INFORMACION ADICIONAL</b>		
Los valores LEP pueden consultarse en línea en la siguiente dirección: <a href="http://www.mtas.es/insht/practice/vlas.htm">http://www.mtas.es/insht/practice/vlas.htm</a>		Última revisión IPCS: 2003 Traducción al español y actualización de valores límite y etiquetado: 2003
ICSC: 1043		POLIESTIRENO
© CE, IPCS, 2003		

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.	Evitar las llamas.	Polvo, agua pulverizada, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSION			
EXPOSICION		¡EVITAR LA DISPERSION DEL POLVO!	
• INHALACION		Evitar inhalación de polvo .	
• PIEL			
• OJOS		Gafas ajustadas de seguridad. o protección ocular combinada con la protección respiratoria si se trata de polvo.	
• INGESTION			
DERRAMES Y FUGAS		ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
<p>Ventilar. Eliminar toda fuente de ignición.  Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente adecuado y precintado.  (Protección personal adicional: respirador de filtro P1 contra partículas inertes).</p>			<p>NU (transporte): No clasificado.  CE: No clasificado.</p>