



# **INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA**

---

## **INGENIERÍA AMBIENTAL**

### **EVALUACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO PARA MADERAS A PARTIR DEL RECICLADO DE RESIDUOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO**

#### **TESIS**

*PARA OBTENER EL TÍTULO DE:*

**INGENIERO AMBIENTAL**

*PRESENTA*

**WINIK IVANOVICH MORALES DE ALBA**

**DIRECTOR:**

**M.C. YOVANI LÓPEZ GONZÁLEZ**

**CO DIRECTOR:**

**M. Sc. ELIZABETH SALAZAR HERNÁNDEZ**



**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

FECHA: 08 de Mayo de 2019.

ASUNTO: **AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN  
DE TESIS PROFESIONAL.**

**A QUIEN CORRESPONDA:**

Por medio de la presente hago constar que el (la) C:

**WINIK IVANOVICH MORALES DE ALBA**

pasante de la carrera de INGENIERÍA AMBIENTAL con No. de Control 142T0420 ha cumplido satisfactoriamente con lo estipulado por el **Manual de Procedimientos para la Obtención del Título Profesional de Licenciatura** bajo la **opción Titulación Integral (Tesis Profesional)**

Por tal motivo se **Autoriza** la impresión del **Tema titulado:**

**“EVALUACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO PARA MADERAS A PARTIR DEL  
RECICLADO DE RESIDUOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO”**

Dándose un plazo no mayor de un mes de la expedición de la presente a la solicitud del Acto de Recepción para la obtención del Título Profesional.

ATENTAMENTE

ING. GERBACIO TLAXALO ESPINOZA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



Archivo.

VER. 01/03/09

F-SA--39

## Resumen

La generación y uso de plásticos debería implicar la obligación de tratamiento para sus residuos y que pasen de ser un problema de aspecto socio-ambiental a su potencial como recurso útil para la industria del reciclaje. El material poliestireno expandido o EPS (por sus siglas en inglés) es un material con cualidades destacables que lo posicionan en unos de los materiales más utilizados para la industria de construcción, para empaquetamiento de alimento, deportes, industria del transporte, entre otros. Su breve uso y el mal aprovechado de su tiempo de vida genera aproximadamente 125 mil toneladas de unicel al año de las cuales solo se reciclan 400 mil y el resto se desecha a cielo abierto, se incinera o se dispone en sitios inadecuados como lotes baldíos, banquetas o en su peor caso en cuerpos de agua. Por lo anterior y las características del EPS este representa un impacto nocivo en el medio ambiente. El objetivo general es proponer un tratamiento para el reciclado de EPS y obtener como producto final un barniz para madera, dentro de este se engloban los objetivos específicos los cuales son el brindar un pre tratamiento al material de reciclaje, evaluar su disolución con diferentes solventes, así como a diferentes agitaciones, la aplicación del producto en madera y finalmente la comparación con un barniz comercial para evaluar la calidad. La metodología se conformó de tres principales áreas. La primera se enfocó en la descripción del área de estudio, así como en la identificación y recolección de la materia prima a utilizar la cual fue seleccionada evitando que tuviera grasas o aceites en demasía. La segunda área constó en la trituración, solubilidad y aplicación. El paso de trituración se fundamentó en la disminución del tamaño del material hasta obtener partículas óptimas de 1 cm<sup>2</sup>, 3 cm<sup>2</sup> y 5 cm<sup>2</sup> para posteriormente volverlas a lavar en una patena y evaluar los tiempos de disolución de cada partícula con una temperatura y volumen constante. La matriz experimental se sometió a diferentes concentraciones de EPS (10, 20 y 30 gr) y con los solventes Acetato de butilo y Acetato de etilo. Los resultados obtenidos ha sido el acetato de etilo-10 gr EPS con el mejor tiempo de disolución y el acetato de butilo-10 gr con la mejor densidad. Terminado el proceso anterior se aplicó el producto en tres diferentes técnicas (brocha, atomizador e inmersión) a dos tipos de madera previamente adecuadas y seleccionadas que se usan localmente para la ebanistería de la zona, para la madera dura se eligió el *Tabebuia rosea* (roble) y para la madera blanda el *Cedrela odorata* (cedro) con la idea de comprobar la durabilidad del barniz a la meteorización. La última área se conformó con la evaluación de la dureza y resistencia del material aplicado tras 3 semanas de intemperismo. Los resultados obtenidos en las pruebas de disolución arrojaron que es preferible el acetato de butilo a temperatura ambiente con 10 gr de EPS, valores que evitan riesgos de inflamabilidad y arrojaron un barniz con la misma viscosidad y densidad que un barniz comercial. El análisis de brillo demostró que La diferencia de madera no tuvo relación con el brillo instantáneo después de la aplicación del acabado y en todas las aplicaciones el recubrimiento más opaco fue el generado por EPS. Los análisis de dureza arrojaron que hacia la tercera semana de intemperismo el barniz generado se posicionó entre los 200 y 600 gr/mm<sup>2</sup>, una dureza aceptable si se compara con el rango del barniz comercial sayer que localizó entre los 250 y 700 gr/mm<sup>2</sup>. Esto indica gran potencial para resistir daños por golpes o presión.

El grosor de los aparejos demostró que hacia la tercera semana de intemperismo existió una clara tendencia de conservación del grosor de todas las películas que recubrieron la madera, sin embargo, exceptuaron esta conclusión los tratamientos MI-T y en menor grado el CI-T, lo que indica que, para ambas maderas, regularmente dura y blanda, el tratamiento del barniz generado aplicado mediante la técnica de inmersión tenderá a cristalizarse al pasar la primera semana y a separarse de la superficie de la madera en puntos donde exista un corte de la aplicación del recubrimiento. Los resultados descritos en el agrietamiento indicaron que la madera de cedro es más propensa a relacionarse con el agrietamiento del barniz generado. Por otra parte, el método de inmersión proveía una película gruesa no propensa al agrietamiento, comparada con la brocha y finalmente con el método de atomización, ya sea en madera de melina o cedro. El único tratamiento que mostró esos signos de daño fue el aplicado a madera blanda mediante el método con aspersión y el recubrimiento creado. Ya que existe una relación entre el tratamiento de aplicación del recubrimiento EPS y el nivel de degradación física se conjetura que a un menor grosor de película existirá un menor blanqueamiento y desprendimiento dentro de las primeras tres semanas de intemperismo, así como también un cuarteamiento y descamación

Palabras clave: *unicel, reciclaje, residuo, barniz.*

## CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I. GENERALIDADES .....</b>	<b>10</b>
1.1. Introducción.....	10
1.2 Objetivos.....	10
1.2.1 Objetivo general .....	10
1.2.2 Objetivos específicos.....	11
1.3 Hipótesis .....	11
1.4 Planteamiento del problema.....	11
1.5 Justificación .....	13
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
2.1 Problemática en México de los Residuos y el EPS .....	16
2.2 Tipos de residuos.....	18
2.2.1 Residuos Sólidos Urbanos (RSU).....	18
2.2.2 Residuos de manejo Especial (RME).....	19
2.2.3 Residuos Peligrosos (RP).....	20
2.3 Normatividad mexicana en materia de RSU.....	20
2.4 Poliestireno expandido, algunos elementos de su historia .....	22
2.4.1 Propiedades físicas.....	24
2.4.2 Propiedades químicas .....	26
2.4.3 Propiedades biológicas. ....	27
2.4.4 Algunos usos del poliestireno expandido .....	27
2.5 Impacto negativo al medio ambiente por el EPS.....	28
2.6 Técnicas de separación.....	30
2.7 Reciclaje del poliestireno expandido.....	30
2.7.1 Reciclaje mecánico. ....	33
2.7.2 Reciclaje por aglutinamiento.....	33
2.7.3 Reciclaje químico .....	34
2.7.4 Reciclaje del EPS en México .....	34
2.8 Propiedades de la madera .....	34
2.8.1 Celulosa .....	36
2.8.2 Hemicelulosa .....	36
2.8.3 Lignina.....	37
2.9 El Intemperismo en la madera.....	38
2.9.1 Degradación por radiación solar.....	39
2.9.2 Degradación por humedad.....	40

2.9.3 Degradación por erosión .....	40
2.9.4 Degradación por microorganismos .....	40
2.10 Acabados para maderas en exteriores.....	41
<b>CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS. ....</b>	<b>44</b>
3.1 Descripción del área de estudio. ....	44
3.2 Identificación y recolección de la materia prima.....	45
3.3 Pretratamiento del residuo.....	45
3.3.1 Lavado primario.....	46
3.3.2 Triturado del material.....	47
3.3.2.1 Método de bruza-taladro.....	48
3.3.2.2 Método de corte.....	49
3.3.4 Lavado secundario.....	49
3.3.5 Secado.....	50
3.4 Evaluación de tamaño de partícula. ....	51
3.5 Valoración de diferentes solventes para la disolución del EPS y evaluación de las proporciones EPS-solvente.....	51
3.6 Pruebas de viscosidad.....	53
3.7 Identificación de maderas a tratar. ....	54
3.8 Adecuación de superficie.....	54
3.9 Aplicación de tratamiento a maderas.....	56
3.10 Métodos de aplicación.....	56
3.10.1 Método con brocha. ....	56
3.10.2 Método con atomizador. ....	57
3.10.3 Método por inmersión.....	57
3.11. Intemperismo.....	57
3.12 Características de evaluación .....	58
3.12.1 Dureza .....	58
3.12.2 Grosor .....	59
3.12.3 Agrietado, amarillamiento y descamación.....	60
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....</b>	<b>61</b>
4.1 Pruebas de disolución de diferentes tamaños de partícula y diferentes solventes.....	61
4.1.1 Disolución de EPS a diferentes tamaños de partícula con solvente thinner. ....	61
4.1.2 Disolución de EPS a diferentes tamaños de partícula con solvente D-limoneno.....	62
4.1.3 Disolución de EPS a diferentes tamaños de partícula con solvente acetato de butilo. .....	64

4.2 Matriz experimental para la disolución de EPS (1 cm) con acetato de butilo y acetato de etilo.....	65
4.3 Caracterización de los productos.....	66
4.4 Elección de mezcla. ....	69
4.5 Aplicación. ....	69
4.6 Evaluación de indicadores. ....	70
4.6.1 Brillo. ....	70
4.6.2 Dureza. ....	71
4.6.3 Grosor. ....	73
4.6.4 Amarillamiento.....	75
4.6.5 Agrietamiento .....	76
4.6.6 Descamación .....	77
 CONCLUSIONES GENERALES .....	 80
 BIBLIOGRAFÍA .....	 81
 ANEXOS .....	 88
 GLOSARIO .....	 95

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Gráfica de la disposición final de residuos en México generada a partir de datos de PEPGIR 2012, INEGI Y SEDESOL.....	17
Figura 2 Estructura molecular del estireno y poliestireno. Polystyrene, Universidad del Sur de Mississippi (1996).....	23
Figura 3. Esta imagen muestra el zooplancton que ha ingerido perlas de poliestireno. Las perlas se observan en color verde brillante. Tomado de Wayne 2015. ....	30
Figura 4. Procesos generales de las posibles vías de reciclado del EPS. AIMSA, (2015). Aislantes Industriales de Monterrey.....	31
Figura 5. Estructura molecular de la celulosa.....	36
Figura 6. Componentes y monómeros fundamentales de la hemicelulosa. ....	37
Figura 7. Concurrente estructura de la lignina.....	38
Figura 8. Elaboración propia con información de: Castillo y Erdoiza. (1995). Acabados para madera en exteriores.....	42
Figura 9 Laboratorios donde se desarrolló la investigación. ....	44
Figura 10. Contenedores de residuos de la institución.....	45
Figura 11. Proceso del primer lavado del material EPS. ....	46
Figura 12 Antes y después del lavado primario de un plato de EPS.....	47
Figura 13. Material EPS lavado y clasificado para su demostración.....	47
Figura 14. Prueba de trituración mediante bruza y taladro.....	48
Figura 15. Proceso de trituración manual.....	49
Figura 16. Lavado secundario de material triturado. ....	50
Figura 17. Proceso de secado de una porción del material en servi toalla del material triturado y lavado.....	50
Figura 18. Muestra de los tres diferentes tamaños de partícula. de izquierda a derecha 1, 2.25 y 9 cm <sup>2</sup> . ....	51
Figura 19. Sistema para la disolución de EPS. ....	52
Figura 20. Esquema del modelo utilizado para la prueba de viscosidad.....	53
Figura 21. Comparación de superficies de dos maderas de Melina, una acondicionada y la otra sin acondicionar. ....	55
Figura 23. Durómetro de lápiz en prueba de dureza al tratamiento C2A-T.....	59
Figura 24. Prueba de grosor del tratamiento C3-1 con un calibre de precisión.....	60
Figura 25. Gráfica con los promedios de los tres tiempos de los tratamientos evaluados con solvente thinner. ....	62
Figura 26. Gráfica con los promedios de los tres tiempos de los tratamientos evaluados con solvente D-limoneno.....	63
Figura 27. Prueba de disolución con D-limoneno donde claramente se observa una mezcla heterogénea sin cambios aparentes. ....	64
Figura 28. Gráfica con los promedios de los tres tiempos de los tratamientos evaluados con solvente acetato de butilo.....	65
Figura 29. Primeros tres tratamientos de recubrimiento generado con acetato de etilo.....	66
Figura 30. Gráfica que muestra las diferentes densidades obtenidas de los 12 tratamientos y su comparación con el Sayer Lack. ....	67
Figura 31. Gráfica que compara los tiempos de viscosidad de los diferentes tratamientos. ....	68
Figura 32. Viscosidad obtenida por tratamiento. ....	69
Figura 33. Comparación del brillo de dos maderas de cedro con barniz comercial y recubrimiento creado. ....	71
Figura 34 Gráfica de la dureza de película de barniz comercial ante intemperismo. ....	72
Figura 35. Gráfica de la dureza del tratamiento del barniz generado.....	73
Figura 36. Gráfica del grosor de película-conjunto.....	74

Figura 37. Contraste del barniz comercial Sayer Lack (izquierda) y el barniz generado EPS (derecha) en la conservación del grosor de la película aplicada al momento de secado. ....	75
Figura 38. Gráfica que representa los daños por semana ocasionados por intemperismo en la madera. ....	76
Figura 39. Gráfica de verificación visual de agrietamiento por semana. ....	77
Figura 40. Gráfica de verificación visual del grado de descamación por semana. ....	78
Figura 41. Tratamientos significativos del blanqueamiento de la película protectora generada, MB-T y CI-T. ....	79
Figura 42. Cuarteamiento del tratamiento MA-T a las tres semanas de intemperismo. ....	79

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de las cualidades del EPS. ....	23
Tabla 2. Tabla resumen de las propiedades físicas del EPS. ....	25
Tabla 3. Efectos del aumento de densidad en poliuretanos. ....	26
Tabla 4. Resumen de las propiedades químicas del EPS. ....	26
Tabla 5. Tabla resumen que identifica las propiedades de la madera. ....	35
Tabla 6. Relación entre los agentes del intemperismo con sus degradaciones y el nivel de daño. .	39
Tabla 7. Lineamientos del EPS a reciclar. ....	45
Tabla 8. Matriz final de evaluación con las variables disolvente, gramos de unicel y temperatura. .	52
Tabla 9. Tabla para la identificación de algunas maderas duras y blandas en el estado de Veracruz. ....	54
Tabla 10. Matriz de experimentación con los diferentes métodos de aplicación y código de identificación. ....	56
Tabla 11. Tabla para la valoración de daño del recubrimiento frente al intemperismo. ....	60
Tabla 12. ANVA de los tiempos de tres tamaños de partícula con thinner. ....	61
Tabla 15. Medias de los tratamientos con significancia de 0.05. ....	62
Tabla 16. Resultados obtenidos en la prueba de Acetato de butilo a diferentes tamaños de partícula. ....	64
Tabla 19. Estado de aplicación por técnica. ....	69

# CAPÍTULO I. GENERALIDADES

## 1.1. Introducción

Desde la aparición de las primeras tribus sedentarias, el mundo ha experimentado grandes avances tecnológicos y procesos de producción. En las actividades del hombre antiguo hasta nuestros días, ha sido normal se tenga que tratar con los desechos de material residual. Por ejemplo, el poliestireno (en su acepción en inglés: “Expanded Polystyrene”), fue sintetizado por primera vez a nivel industrial en el año 1930 (Quintana, Rincón & Anselmi, 2007).

Por sus características, este material es especial, es un material inerte, 100% reciclable y de muy larga duración. Ello ha beneficiado a sectores como la construcción, la alimentación, el transporte, etc. Sin embargo, también es una gran fuente de contaminación. Ha sido evidente que su acumulación y mal manejo se presenta como un problema que afecta nuestro presente y futuro, a pesar de existir leyes y normar que regulan su administración, que requiere atención especial.

En esta investigación el objetivo principal indirecto es indagar sobre la generación, reciclaje de este material y averiguar también acerca del mejor modo de aplicación de barniz de poliestireno reciclado para que, con base en ello, más tarde, se proponga la mejor técnica para la conservación de la madera frente al intemperismo utilizando este recurso.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general

Evaluar el tratamiento de reciclado del EPS mediante la utilización de solventes para el recubrimiento de madera.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Pre tratar el EPS reciclado.
- Evaluar los diferentes solventes para el tratamiento de EPS.
- Ajustar la temperatura y porciones de la mezcla EPS-solvente.
- Valorar de técnicas de aplicación del producto en madera.
- Caracterizar el producto obtenido y su comparación con un producto comercial.

### 1.3 Hipótesis

El reciclado del EPS con solventes genera un producto de calidad para el tratamiento de madera que se encuentra frente a los factores degradantes del intemperismo en exterior.

### 1.4 Planteamiento del problema

El consumir productos alimenticios contenidos en *unicel* (nombre popular en México del poliestireno expandido) así como su uso variado en diferentes sectores productivos, es la fuente de la generación de este material en grandes cantidades de desecho. Su depósito de manera indiscriminada en recipientes de basura, es una de sus formas más comunes de un mal manejo como residuo importante. Enseguida se aportan algunos elementos de contexto.

Para el año 2012, en México se generaban 4,588,900 toneladas de plástico (Jiménez, 2015). De todo este mundo de plástico se destaca el unicel por su color blanco y baja densidad. El porcentaje de peso equivale a un 0.3 del total del total de plásticos a nivel nacional, aunque no marca una diferencia significativa en peso (Marínez & Laines 2001).

Las características del poliuretano expandido, material no biodegradable y considerado como material eterno, lo convierten en un perfecto invasor de alto impacto sobre el medio ambiente. Además, como se verá más adelante, si se piensa en el tratamiento del EPS, los altos costos de proceso y la tecnología industrial actual necesaria obstaculizan su reciclaje.

Los problemas en el medio ambiente causados por el desecho del EPS tienen un fuerte impacto sobre la fauna. Como es un residuo no biodegradable y presenta una vida útil de corto ciclo, su descomposición en el medio ambiente es sumamente lenta, pues dicho material se estima que tarda entre 700 a 1000 años (Molina, Hermosillo & Flores, 2016)

Debido a que después de su uso, el EPS termina en vertederos a cielo abierto, rellenos sanitarios, predios baldíos, es incinerado o en muchos otros diversos lugares este material representa un problema contaminante ambiental grave, porque existen indicios, que más tarde se aportarán, que las leyes para su manejo en dichos depósitos distan de ser cumplidas. El EPS como residuo en el medio marino flota y se degrada con la luz solar (Martín, 2014). El artículo se divide en piezas pequeñas que son confundidas con alimento por la fauna, incluyendo la mayoría de las aves, que las ingieren provocándoles la muerte.

A pesar de que existen empresas grandes en México dedicadas al reciclaje del EPS tales como *DartMéxico* localizada en la ciudad de México o la planta abierta en 2014 en Mérida, dichas empresas no cubren la demanda de reciclaje, que se necesita tanto en áreas de recolección como por las cantidades que requieren procesamiento.

Desde otra perspectiva, el inconveniente del reciclaje quizás es uno de los más graves. Faltan técnicas, sistemas de recuperación y de tratamiento. Dicha situación puede abordarse desde dos ángulos.

Dentro de las empresas que se dedican al reciclaje del EPS existen varias técnicas químicas, físicas y térmicas que están disponibles para el tratamiento, siendo las más utilizadas las primeras. Sin embargo, las técnicas químicas implican el uso de disolventes peligrosos (Poletto, Dettenborn, Zeni, & Zattera, 2011).

En el caso del estado de Veracruz, los sistemas de gestión integral de residuos no se siguen de manera estricta, tal como lo marca la ley correspondiente (LGEEPA), lo que da lugar a disponer y trabajar con información errónea, contenida en los registros de gestión.

En general, la falta de registros fiables sobre la generación de basura se refleja de manera proporcional en el daño que crea sobre el medio ambiente, además, en la disposición final de los mismos. La contaminación por parte de los residuos inertes, como el EPS, afecta directamente a la estética del medio ambiente; a la apariencia que da este xenomaterial en el ecosistema natural, seguido por la afectación a la fauna tales como aves, peces, aves acuáticas, tortugas de ríos y costeras, entre otros.

## 1.5 Justificación

El uso de los plásticos debiera implicar la obligación del tratamiento de reciclaje de sus desechos, que logre pasar de ser una amenaza ambiental, a convertirlo en un recurso útil para la industria.

En México la generación de residuos sólidos urbanos (RSU) se estima en 115, 347 toneladas diarias, lo que equivale a poco más de 42 millones de toneladas al año., de ellos, únicamente el 70% son vertidos en los más de 203 rellenos sanitarios con que cuenta el país actualmente, mientras que el resto se deposita en tiraderos a cielo abierto o sitios sin control (SEMARNAT, 2015).

El poliestireno expandido es un material utilizado ampliamente como empaque y embalaje. Generalmente de color blanco y ligero, es un derivado del petróleo con alta estabilidad molecular, gran resistencia a la deformación y es considerado un material “eterno” por su extremadamente lenta descomposición.

Por otra parte, algunos autores indican que el consumo global de EPS ya excede los tres millones de toneladas con un incremento del 6 % al año (Sekharan, Abraham, & Thachil, 2012).

El peso ligero del EPS es una ventaja en el ámbito del empaque; pero este aspecto resulta ser una complicación en el proceso de reciclaje debido a la dificultad de transporte que implica este desecho voluminoso. Por otra parte, el EPS tiene gran potencial para ser reciclado debido a que existe en grandes cantidades y la separación de otros residuos es simple por su baja densidad y fácil identificación.

En el caso del estado de Veracruz, se cuenta con la Ley de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial que establece que el gobierno del estado, así como el gobierno de los municipios que lo conforman deben crear sistemas de gestión de los residuos generados. Esto indica que el EPS podría entrar en un plan de gestión y reciclaje, manejado por las instituciones estatales, locales o de cualquier otra índole.

Por lo anterior, se considera de alta importancia estudiar dicho material, el estado actual en el que se encuentra su tratamiento y, eventualmente, encontrar procedimientos o implementar técnicas alternativas a las técnicas industriales para el procesamiento e integración del EPS. De esta manera, en esta investigación se busca contribuir, por una parte, al manejo integral de los residuos sólidos

Igualmente, se intentará justificar la pertinencia de una alternativa para el tratamiento del EPS que sería la creación de un barniz para el tratamiento de maderas expuestas a la intemperie.

El interés por elaborar un barniz a partir de los residuos de poliestireno expandido surge porque en México, en gran parte de las regiones se han desarrollado actividades en torno a los recursos maderables, estos productos han sido utilizados en la fabricación de múltiples artículos para el hogar, trabajo, etc. Sin embargo, uno de los inconvenientes de la utilización de estos diferentes tipos de maderas es la degradación en la intemperie (o intemperismo) o por otros factores biológicos, como hongos o insectos.

El intemperismo produce en la madera cambios de color, superficies ásperas, rajaduras, grietas, alabeos, pérdida de cohesión y fragmentación en astillas. Los factores del intemperismo responsables de los cambios en la superficie de la madera son la radiación solar, la humedad, la temperatura y el oxígeno. La radiación solar es la que más daño causa y es la que inicia una variedad de cambios químicos sobre la superficie (Feist, 1994). Es por ello que se requiere de un material que recubra la madera y que sea resistente a factores degradantes como los antes mencionados.

Los barnices existentes en el mercado para la conservación de la madera han sido evaluados, comparados contra otras alternativas obteniéndose como resultado rendimientos menores frente al intemperismo. Además, la producción convencional de barnices y lacas para la protección de artículos de madera genera subproductos tóxicos para la salud del humano y medio ambiente.

En suma, en esta investigación se busca entender los procesos del reciclaje del poliestireno expandido con la idea de contribuir a darle un uso más práctico que la simple incineración o vertimiento en rellenos sanitarios. Esto es, su proceso de tratamiento sería a partir de solventes que generen menor impacto al medio ambiente, y que dicho subproducto pueda aplicarse como tratamiento de maderas. De esta manera, se intenta contribuir a la reducción de la generación del residuo y la contaminación ambiental.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Problemática en México de los Residuos y el EPS

Un residuo sólido urbano es un material, insumo, producto o subproducto generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o procesamiento, que se descarta y que puede ser susceptible de aprovechamiento o que requiere sujetarse a tratamiento o disposición final (LGPGIR, 2004).

Los residuos sólidos urbanos son generados en las casas habitación, que son los productos resultantes de la eliminación de los insumos que se utilizan en las actividades del hogar, de los productos que se consumen y de sus envases, embalajes o empaques; o que provienen de cualquier otra actividad que genere residuos con características domiciliarias; así como los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados como residuos de manejo especial (LGPGIR, 2004).

En México, la generación de RSU se estima en 115,347 toneladas diarias, lo que equivale a poco más de 42 millones de toneladas al año; cantidad similar a 175 veces el volumen de la pirámide del Sol de Teotihuacán o a 231 veces el Estadio Azteca. Sin embargo, únicamente son dispuestos el 70% de ellos en los más de 203 rellenos sanitarios con que cuenta actualmente el país, mientras que el resto se deposita en tiraderos a cielo abierto o sitios sin control (SEMARNAT, 2015).

En la *Figura 1* se muestra la disposición final de los residuos generados por cada una de las entidades federativas. Como puede observarse, en los estados del norte se presenta mayor control en la disposición final de los residuos, específicamente Baja California Sur y Aguascalientes, estados donde cerca del cien por ciento de los residuos generados son dispuestos en sitios reglamentados. Otros de los estados

con buena gestión en el ámbito son la Ciudad de México (antes Distrito Federal), Quintana Roo y Nuevo León.

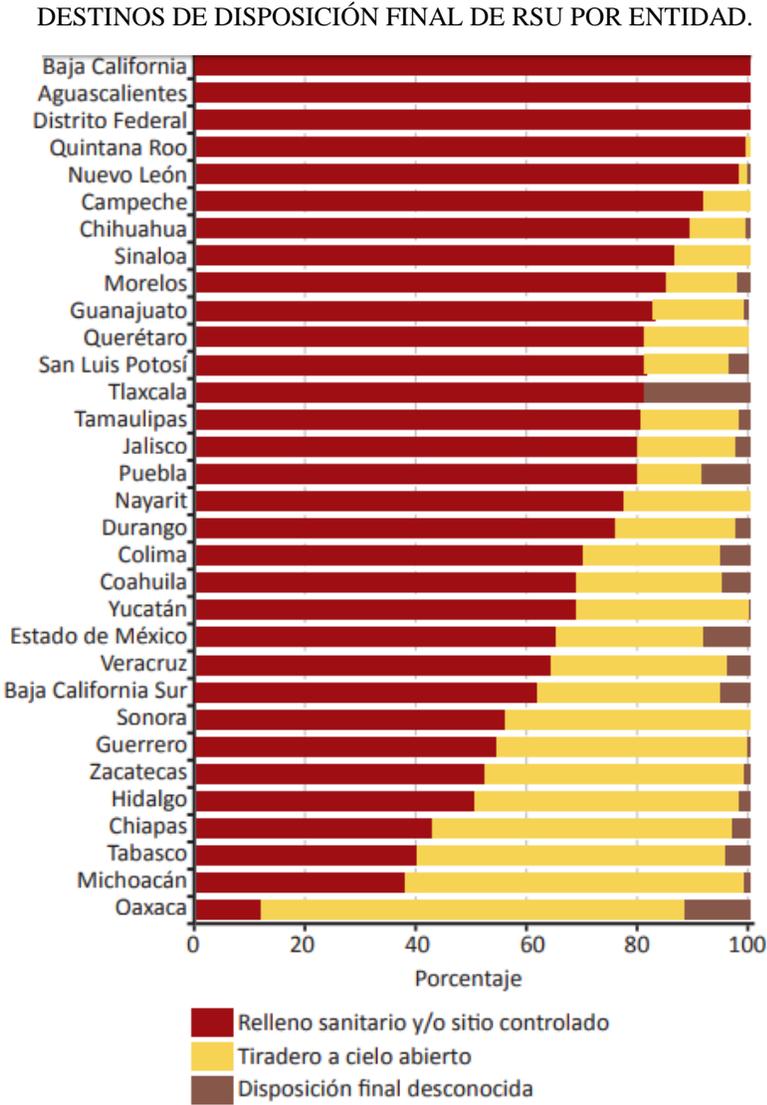


Figura 1 Gráfica de la disposición final de residuos en México generada a partir de datos de PEPGIR 2012, INEGI Y SEDESOL

En contraparte, los estados del sur presentan una gestión deficiente en la disposición de sus residuos. Principalmente Oaxaca, donde menos del diez por

ciento de los residuos terminan en sitios controlados, mientras que el resto se dispone en tiraderos a cielo abierto, como Michoacán, Tabasco y Chiapas.

Puede desprenderse de ello que, en relación directa con la disposición final en tiraderos a cielo abierto se encuentra la contaminación ocasionada. El interés en el confinamiento de basura será inversamente proporcional a la afectación al medio. El panorama del reciclado no está del todo claro, dada la dificultad para la recolección de datos, o la poca fiabilidad en los mismos, cuando es el caso.

Los autores del Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos del 2012 revelaron que únicamente tuvieron acceso a 21 de los 32 Programas para la Prevención y Gestión Integral de Residuos de entidades federativas con los que debe contar el país; y a la información proveniente de los Programas Municipales para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos de 34 municipios de los 2,400 que integran la República Mexicana (Gutiérrez & Ramírez, 2012).

## 2.2 Tipos de residuos

### 2.2.1 Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

De acuerdo con LGPEGIR (2004) un residuo sólido urbano es aquel que resulta generado en casas habitación por la eliminación de materiales en las actividades domésticas, de productos consumidos y de sus embalajes, así como de cualquier otra actividad desarrollada en el domicilio y lugares públicos que no sean considerados como residuo de manejo especial.

Al comprender los RSU una amplia gama de materiales y características estos desechos han tomado gran importancia como un subproducto altamente contaminante. Aunque el problema de los residuos sólidos municipales ha sido identificado desde hace varias décadas, especialmente en las áreas metropolitanas, las soluciones parciales que hasta ahora se han logrado no abarcan a todos los

países de la Región ni a la mayoría de las ciudades intermedias y menores, convirtiéndose en un tema político permanente que en la mayoría de casos genera conflictos sociales (Acurio, Rossin, Teixeira & Zepeda, 1997).

El gran volumen de residuos generados y la actual tendencia mundial a su incremento progresivo constituyen una grave preocupación, no solo por la complejidad y cantidad de recursos que implica el incesante incremento en la generación de residuos, sino también por el creciente espacio y el enorme presupuesto que requieren para su tratamiento y disposición final (Schejtman, & Irurita, 2012).

### 2.2.2 Residuos de manejo Especial (RME)

Los residuos de manejo especial son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos, conforme a la normatividad ambiental vigente como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por macro generadores de residuos urbanos (LGPGIR, 2004).

Los RME son clasificados como los resultantes de servicios de salud, actividades agrícolas y pecuarias, servicio de transporte, tratamiento de aguas residuales como lo pueden ser los lodos, residuos de tiendas departamentales o centros comerciales, residuos de construcción, mantenimiento o demolición, residuos de fabricación de artículos tecnológicos, neumáticos usados, baterías y pilas o rocas en productos de construcción (LGPGIR, 2015).

El principal problema radica en el mal manejo de estos residuos, ya que se disponen como residuos urbanos, así como de manera clandestina por la disposición en tierra y mar, incrementando la posibilidad de contaminación por una alta carga orgánica, que provoca malos olores, genera fauna nociva, afecta al suelo, subsuelo y mantos

acuíferos, además de contribuir a la transmisión de enfermedades (Gutiérrez & Ramírez, 2012).

### 2.2.3 Residuos Peligrosos (RP)

La tercera clasificación vigente oficial son los residuos peligrosos, este concepto está indiscutiblemente definido en el reglamento mediante la clave C.R.E.T.I.B. LGPGIR (2018) en su última actualización los define como:

*“Aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio,”*

De acuerdo con esta definición, prácticamente cualquier sustancia podría llegar a ser considerada como peligrosa; sin embargo, los factores de mayor importancia para la sociedad serían el infeccioso y la toxicidad (Díaz, 1996)

De lo anterior, en los Estados Unidos Mexicanos cerca de 12,000 productos están contemplados en la reglamentación, una cantidad relativamente baja si la comparamos con nuestro vecino del norte donde sus anales identifican a más de 60,000 productos y materiales, y a los que se agregan actualmente 2,000 más (Garfias & Ayala, 1995)

## 2.3 Normatividad mexicana en materia de RSU

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), publicada en el *Diario Oficial de la Federación* (DOF) el 8 de octubre de 2003, faculta en su Artículo 25, a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) para formular e instrumentar el Programa Nacional para la

Prevención y Gestión Integral de los Residuos (PNPGIR), con base en el Diagnóstico Básico respectivo. Así mismo, la Ley prevé la elaboración y actualización periódica de Diagnósticos Básicos, a fin de conocer la cantidad y composición de los residuos, así como la infraestructura disponible para su manejo en cada uno de los tipos de residuos que considera: urbanos, de manejo especial, peligrosos y minero-metalúrgicos (Gutiérrez & Ramírez, 2012).

Por su parte y como segundo lugar en materia regulatoria en el país, en el 2006 surge el nuevo Reglamento de la Ley General para la Prevención y gestión integral de los Residuos (RLGPGIR) está encargado de dar pauta y orden a la LGPGIR, el correcto desarrollo de esta bina es clave fundamental en la innovación y control residual del territorio mexicano. En este reglamento se definen de mejor manera las clasificaciones de residuos peligrosos y las categorías de generadores y registro, así como de otros parámetros generales de la gestión integral. Sin embargo, las reformas de actualización publicadas en el DOF continúan solo hasta el 2014 en donde el programa general se estanca en materia regulatoria.

El programa para la prevención y gestión integral de residuos tiene como objetivo fomentar la gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial en el país, a través del financiamiento de estudios o programas para la prevención y gestión integral de los residuos, así como el desarrollo de infraestructura de los sistemas de recolección, transporte y disposición final, y el aprovechamiento material o energético de residuos, a través del acceso a recursos económicos del programa para la prevención y gestión integral de residuos (SEMARNAT, 20017).

En Veracruz existe la Ley 847 de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Maneo Especial, publicada el 28 de junio del 2004. Esta ley determina las obligaciones a las que están sometidos los organismos gubernamentales y entidades generadoras de residuos en materia de prevención y gestión integral de estos mismos, sin embargo, la entidad no cuenta con un programa estatal de prevención y gestión integral de residuos.

## 2.4 Poliestireno expandido, algunos elementos de su historia

El EPS también llamado nieve seca es reconocido en muchos lugares bajo diferentes nombres, como pueden ser Isopor en Brasil, icopor en Colombia, unicel en México, telgopor para los argentinos, espuma-flex en Ecuador, y forexpam, forespan, porespan, porexpan, frigolit, poliexpan, techopan o corcho blanco, en España, durapax, entre otros (Alvarez, Cruz, Mendoza & Moran, 2009). El Poliestireno fue sintetizado por primera vez a nivel industrial en el año 1930. Hacia fines de la década de 1950, la firma BASF (*Badische Anilinund Soda Fabrik*, en español: Fábrica badense de bicarbonato de sodio y anilina, Alemania) por iniciativa del Dr. F. Stastny, desarrolla e inicia la producción de un nuevo producto: Poliestireno expandible, bajo la marca Sytropor (Ernesto, 2013).

El poliestireno expandido es un material plástico derivado del petróleo que se obtiene de la polimerización del estireno, su estructura presenta celdas rígidas que se produce a partir del moldeo de pequeñas esferas o perlas de poliestireno expansible que muestra una estructura cerrada hecha de dicho termoplástico que contiene aire atrapado en un 96-98 % en proporción del volumen de las perlas (González, 2008).

La *Figura 2* muestra una molécula de estireno y a su derecha una de poliestireno. Esta conversión se logra mediante 3 etapas: la primera consiste en una pre expansión de las perlas de estireno por medio de vapor de agua entre 80 y 110°C, en este paso se crean espacios dentro de las perlas que contienen aire.

La segunda etapa consiste en un reposo y estabilización del material, con ayuda de inyectores se difunde aire para lograr una mayor estabilidad y retirar la humedad del producto. La tercera etapa es la expansión final por medio de solventes como el hexano, se moldea y define la densidad al producto (ANAPE, 2010).



*Figura 2* Estructura molecular del estireno y poliestireno. Polystyrene, Universidad del Sur de Mississippi (1996).

El EPS es la espuma plástica altamente ligera y que soporta mucho más que su propio peso en el agua. Además, como el calor no lo atraviesa se utiliza para empaquetar la comida rápida, en la fabricación de vasos y platos desechables, en la industria de la construcción como aislante térmico y acústico, principalmente (Ernesto, 2013).

Una de las características más representativas del EPS es su gran liviandad, esta se encuentra relacionada con su bajísima densidad, dado que solo del 2% a 3% del volumen total es representado por la masa del EPS (Axilrod & Koenig, 1945). Otra de su característica elemental es su alta capacidad de aislamiento térmico, este material sintético es tan eficiente en este campo que su coeficiente de conductividad térmica se encuentra por debajo del 0.1 kcal/hora\*metro\*°K. En la *Tabla 1* se encuadran las cualidades del EPS.

En relación con lo anterior, el EPS tiene alta resistencia a la degradación por hongos y bacterias bajo condiciones ambientales normales.

*Tabla 1. Tabla de las cualidades del EPS.*

<b>Cualidad</b>	<b>Descripción</b>
<b>Liviano</b>	Contiene hasta un 98% aproximadamente de aire, lo que hace que su peso sea muy bajo.

<b>Estanqueidad</b>	Está formado por celdillas cerradas llenas de aire estancado en su interior. No posee capilaridad alguna.
<b>Aislante térmico</b>	Dado que está formado por aire estanco, (pésico conductor de calor), en celdillas cerradas, y que al material básico es de escasa conductividad térmica, su coeficiente es de 0.028 kcal/h*m*°K, condición por la cual se aplica en un amplio campo térmico que va desde los -190°C a los 85°C.
<b>Atenuador acústico</b>	El coeficiente de absorción de sonido es una indicación de la eficacia absorbente de sonido de un material, en este caso el EPS está en un rango de 0.35 a 0.90.
<b>Buena elasticidad</b>	Gran poder amortiguante.
<b>Resistencia al envejecimiento</b>	Resistencia a hongos o bacterias de putrefacción.
<b>Estabilidad dimensional</b>	A lo largo del tiempo
<b>Ecológico</b>	No tóxico, inocuo, neutro (se utiliza en alimentación), 100% reciclable.
<b>Difícil inflamabilidad</b>	Aporta una reducidísima carga de fuego por su baja densidad (solo 2% es plástico). El EPS con retardante de llama es llamado como “difícilmente inflamable” o “de muy baja propagación de llama”. Apto para muros cortafuego.

Fuente: Neufert, (1970).

#### 2.4.1 Propiedades físicas

Este derivado del estireno no es higroscópico incluso sumergiendo el material completamente en agua los niveles de absorción son mínimos con valores oscilando entre el 1,56% y 1,54% en volumen para presiones de 15 a 20 kg/m<sup>3</sup> (Neto & de Souza, 2009).

El rango de temperaturas en el que este material puede utilizarse con total seguridad sin que sus propiedades se vean afectadas no tiene limitación alguna por el extremo inferior (excepto las variaciones dimensionales por contracción).

Con respecto al extremo superior el límite de temperaturas de uso se sitúa alrededor de los 100°C para acciones de corta duración, y alrededor de los 80°C para acciones

continuadas (ANAPE, 2002). Para detallar de mejor manera las propiedades físicas del EPS se presenta la siguiente tabla (*Tabla 2*).

*Tabla 2.* Tabla resumen de las propiedades físicas del EPS.

<b>Tabla resumen de propiedades físicas</b>			
<b>Propiedades</b>	<b>Norma UNE</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valores margen de oscilación</b>
Densidad nominal	EM-1602	Kg/ m <sup>3</sup>	10-35
Densidad mínima		Kg/ m <sup>3</sup>	9-31.5
Espesor mínimo		Mm	50-20
Conductividad térmica $\lambda$ (10°C)	92201	mW/(mK)	46-33
Tensión por compresión con deformación del 10% ( $\sigma$ 10)	EN-826	KPa	30-250
Resistencia permanente a la compresión con un deformación del 2%		KPa	15-70
Resistencia a la flexión ( $\sigma_B$ )	EN-12089	KPa	50-375
Resistencia al cizallamiento	EN-12090	KPa	25-184
Resistencia a la tracción	EN- 1607 EN-1608	KPa	<100-580
Módulo de elasticidad		MPa	<1.5-10.8
Indeformabilidad instantánea		°C	100
Indeformabilidad al calor duradero con 20 000 N/m <sup>3</sup>		°C	80
Coefficiente de dilatación térmica lineal		1/K (xE-5)	5-7
Capacidad térmica específica		J7(Kg°K)	1210
Clase de reacción al fuego		-	M1 o M4
Absorción de agua en condiciones de inmersión al cabo de 7 días.	EN-12087	% (vol.)	0.5-1.5
Absorción de agua en condiciones de inmersión al cabo de 28 días.	EN-12087	% (vol.)	1-3
Índice de resistencia a la difusión de vapor de agua.	92226	-	<20-120

Fuente: EPS Ficha de Información Técnica73 (2002).

Sin embargo, las características físicas no permanecen intactas al variar la densidad de este polímero, esto se logra reduciendo el tiempo de expansión de la perla tratada o reduciendo la concentración de hexano en su proceso de moldeado. La *Tabla 3* presenta los cambios inversos que se identifican al aumentar la densidad del EPS (Rodríguez, 2012).

Tabla 3. Efectos del aumento de densidad en poliuretanos.

Propiedad	Efecto
Rigidez	Aumenta
Dureza	Aumenta
Resistencia a la tensión	Aumenta
Resistencia a la abrasión	Aumenta
Resistencia química	Aumenta
Barrera de gases	Aumenta
Brillo	Disminuye
Punto de reblandecimiento	Aumenta
Impacto a bajas temperaturas	Aumenta
Resistencia al rasgado (películas)	Disminuye
Elongación	Disminuye

Fuente: Rodríguez (2012).

#### 2.4.2 Propiedades químicas

Las propiedades químicas se definen como aquellas que diferencian la composición de la materia y pueden favorecer su cambio. En la *Tabla 4* se identifican la estabilidad del EPS frente a otros compuestos (EPS Ficha de Información Técnica 73, 2002). Es sabido que el poliestireno puede permanecer por grandes periodos de tiempo en el entorno natural terrestre o acuático sin verse afectado o degradado. Esto se debe a que de manera natural no se encuentran solventes como ácidos concentrados, acetonas, hidrocarburos alifáticos o carburantes, entre otros, que puedan alterar la estructura del EPS.

Tabla 4. Resumen de las propiedades químicas del EPS.

Tabla resumen de propiedades químicas	
Sustancia activa	Estabilidad
Solución salina (agua de mar)	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongado
Jabones y soluciones de tensoactivos	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongado
Lejías	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongado
Ácido diluidos	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongado

Ácido clorhídrico (35 %) Ácido nítrico (50 %)	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongado
Ácidos concentrados (sin agua) al 100 %	No estable: el EPS se contrae o se disuelve
Soluciones alcalinas	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongado
Disolventes orgánicos (acetonas, ésteres, ...)	No estable: el EPS se contrae o se disuelve
Hidrocarburos alifáticos saturados	No estable: el EPS se contrae o se disuelve
Aceites de parafina, vaselina	Relativamente estable: en una acción prolongada, el EPS puede contraerse o ser atacada su superficie
Aceite de diésel	No estable: el EPS se contrae o se disuelve
Carburantes	No estable: el EPS se contrae o se disuelve
Alcoholes (metano, etanol)	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongado
Aceites de silicona	Relativamente estable: en una acción prolongada, el EPS puede contraerse o ser atacada su superficie

Fuente: EPS Ficha de Información Técnica73, (2002).

### 2.4.3 Propiedades biológicas.

Los organismos en las superficies del poliuretano no se ven afectados por este material. Al contrario, por la naturaleza de su composición aire-poliuretano no provee nutrientes a organismos que se puedan alojar en su estructura. Este material es imputrescible y no enmohece (Ernesto, 2013). Sin embargo, los artículos elaborados con este derivado están sujetos a la biodegradación; la hidrólisis *in vivo* de poliuretanos puede conducir a diaminas potencialmente tóxicas (Pinchuk, 1995).

### 2.4.4 Algunos usos del poliestireno expandido

Los productos y artículos acabados en poliestireno expandido se caracterizan por ser extraordinariamente ligeros, aunque resistentes. En función de la aplicación las densidades se sitúan en el intervalo que va desde los 10 kg/m<sup>3</sup> hasta los 30 kg/m<sup>3</sup> (Martín, 2014).

Además, el EPS presenta un excelente aislamiento térmico frente al calor y al frío, esta buena capacidad de aislamiento térmico se debe a la propia estructura del material que esencialmente consiste en aire ocluido dentro de una estructura celular conformada por el poliestireno (ANAPE, 2002). El poliestireno expandido tiene una

conductividad térmica de  $\lambda = 0.03 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$  lo que ha llevado a la amplia utilización de paneles de poliestireno para la rehabilitación y aislamiento térmico de edificios (Manea, Aciu & Netea, 2011).

La empresa EcoPlas® publicó en el año 2011 que el Telgopor por sus propiedades, también se emplea en diversos casos en la indumentaria deportiva, por ejemplo, por tener la propiedad de flotar en el agua. Además, se usa en la fabricación de chalecos salvavidas y otros artículos para los deportes acuáticos; o por sus propiedades ligeras y amortiguadoras, se usa en la fabricación de cascos de ciclismo. También se moldean vasos aislantes que mantienen las bebidas con su temperatura adecuada largo tiempo por su capacidad aislante.

Otra aplicación muy importante del EPS es en la producción de espumas rígidas (poliestireno espumado o XPS). Estas espumas XPS, se utilizan, por ejemplo, para las bandejas de carne de los supermercados, así como en la construcción como aislamiento térmico en techos y en suelos debido a su mayor resistencia mecánica, y también como alma en paneles. Su uso más específico es el de aislante térmico en membranas, donde el aislamiento térmico se coloca encima del impermeabilizante, protegiéndolo de las inclemencias del tiempo y alargando su vida útil. Es un material utilizado en varias actividades productivas como el empaquetamiento industrial o de productos industriales (González, 2008).

## 2.5 Impacto negativo al medio ambiente por el EPS

El poliestireno es relativamente inerte a la descomposición cuando se desecha a relleno sanitario (Hocking, 1991). Su permanencia en estos sitios de disposición final es perdurable tardando hasta 500 años en degradarse, representando un problema principalmente de volumen.

Otros de los inconvenientes que constituye el unicel o poliestireno es que, debido a una incorrecta actitud de los consumidores sobre este producto, es desechado en

lugares inadecuados como las vías públicas, lugar donde obstruye sistemas de drenaje y alcantarillado aparte de afectar la estética del medio ambiente.

Pruebas realizadas por Rani *et al.* (2017) demuestran que los artículos de poliestireno expandido o espumado que se encuentran en los océanos generan lixiviados de Hexabromociclododecano (HBCD), un peligroso hidrocarburo cíclico alifático con alto potencial de biomagnificarse y que es utilizado como retardante de llama.

Las toxinas producidas cuando este plástico logra incinerarse afectan el entorno de manera negativa, estos tóxicos emitidos a la atmósfera pueden provocar problemas a la salud al ser inhalados por los seres humanos.

Asimismo, el comportamiento del EPS frente a la exposición UV es degradativa, al reaccionar los rayos UV con sus compuestos se torna de color amarillento, frágil y genera lixiviados peligrosos.

Bajo condiciones ambientales adversas, los artículos plásticos más grandes se degradan a los denominados microplásticos (MP), fragmentos típicamente menores de 5 mm de diámetro (Martin Wanger, 2014) que fácilmente se pueden incorporar a sustratos, ser engullidos por especies que lo confundan con alimento. Un ejemplo claro se ilustra en la *Figura 3*, en este caso un habitante del zooplancton marino ha consumido microplástico de EPS. Se ha informado que al menos 162 especies marinas en todo el mundo han consumido poliestireno y otras basuras (Project, Clean Bay, 2008). La contaminación a eslabones importantes de cadenas tróficas por parte del EPS es un punto importante que debe ser analizado por los científicos.



*Figura 3.* Esta imagen muestra el zooplancton que ha ingerido perlas de poliestireno. Las perlas se observan en color verde brillante. Tomado de Wayne 2015.

## 2.6 Técnicas de separación.

En la actualidad las técnicas convencionales de separación de los Residuos Sólidos urbanos (RSU) se pueden identificar dos: la separación en el punto de generación; es decir, la clasificación en el momento y punto de desecho del residuo y la separación mecánica. Esta última separa los desechos que son recolectados de manera miscelánea, consta de una trituradora y banda transportadora donde los desechos son escogidos de forma manual por trabajadores.

## 2.7 Reciclaje del poliestireno expandido.

Grajales (2014) relata que “de acuerdo con datos de la Asociación Nacional de la Industria Química, en México se producen 125 mil toneladas de unicel al año, de las cuales se reciclan solo 400 toneladas al año”

En la *Figura 4* se esquematizan las vías y procesos a los que puede ser conducido el EPS para su reciclaje y reutilización.

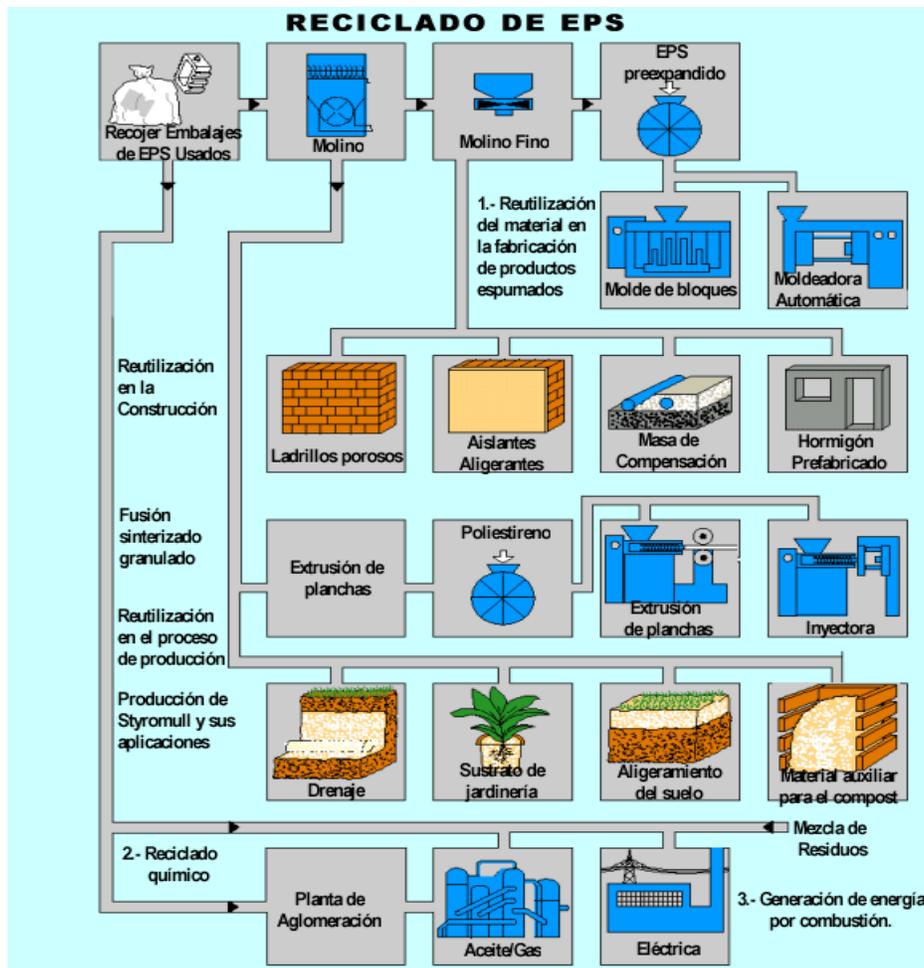


Figura 4. Procesos generales de las posibles vías de reciclado del EPS. AIMSAs, Aislantes Industriales de Monterrey (2015).

El tratamiento o reciclaje del EPS dependerá de las aptitudes que presente. Las acciones básicas a las que se somete el material para reciclar siguen dos caminos, el primero es el paso directo a su incineración. El segundo es tratamiento de molido, utilizado y adecuado a su uso como relleno de sustrato y aligerante, o para su extrusión para el moldeo de partes de automóviles o de alguna naturaleza parecida, el molido fino y pre expandido para su sometimiento a procesos de adecuación para aislante térmico en construcción o moldeo de estructuras.

Las tecnologías utilizadas para el reciclado de los materiales plásticos, se definen a partir de los siguientes

tratamientos: primario, secundario, terciario y cuaternario (Cempre, 1998).

De acuerdo con Arandes (2004) el tratamiento primario consiste en operaciones mecánicas para obtener un producto de similares características que el producto original. Este reciclado se aplica para el aprovechamiento de recortes de las plantas de producción y transformación, y corresponde a un porcentaje muy reducido de los denominados residuos plásticos, porque este residuo no sale de las empresas, porque se trata de desperdicios que podrían controlarse y reusarse en el mismo proceso de transformación. Sin embargo, el artículo generado y usado como bien de consumo, cuando termina su vida útil, se denomina residuo sólido urbano y puede contemplarse su reciclaje.

En el tratamiento secundario de reciclaje se convierte el plástico en artículos con propiedades que son inferiores a las del polímero original. Ejemplos de estos plásticos recuperados por esta forma son los termoestables o plásticos contaminados. Este proceso elimina la necesidad de separar y limpiar los plásticos (Estruplan, 2005).

El tercer tratamiento o “reciclado químico”, persiguen el aprovechamiento integral de los elementos constitutivos del plástico, por transformación del mismo en hidrocarburos, los cuales pueden ser materias primas integrables nuevamente en la ruta de obtención de plásticos o en otras rutas de la industria petroquímica. Los métodos pueden ser químicos o térmicos, dependiendo del tipo de polímero. En este se usa la solvólisis o descomposición química, que se puede realizar por la vía de la metanólisis, glicólisis, hidrólisis y aminólisis (Arandes, 2004).

El paso final consta de la recuperación de la energía por medio de la incineración. De los residuos que poseen un elevado poder calorífico (PE, 43 MJ/kg; PP, 44 MJ/Kg; PS, 40 MJ/Kg; PVC, 20 MJ/Kg, etc.) (Arandes, 2004) es posible su utilización. Sin embargo, este último proceso es controvertido, pues la combustión de estos materiales produce tóxicos altamente dañinos que en su caso debieran ser estrictamente supervisados (Arandes, Bilbao & Valerio, 2004).

Como en el reciclaje de cualquier producto plástico, se verifica que el EPS no contenga ningún otro material como líquidos, alimentos u otro tipo de plástico. Después de la limpieza, se tritura el EPS hasta lograr pequeñas piezas. A continuación, mediante la extrusión se aplica calor y presión al material triturado. Gracias a esto, el EPS se convierte nuevamente en poliestireno, que puede ser utilizado en nuevos productos (dondereciclo.org, 2015).

### 2.7.1 Reciclaje mecánico.

El método mecánico del reciclaje está fundamentado en la trituración y reducción de su tamaño a fracciones lo más pequeñas posibles. Estas operaciones son realizadas por maquinaria prediseñada, la aplicación de fuerzas cortantes y de cizalla son el método empleado.

Existen numerosos tipos de trituración teniendo cada equipo sus propias características idóneas para aplicaciones específicas. En el mercado existe una amplia variedad de fabricantes, sistemas de trituración y molienda según el tipo de material a tratar y las necesidades de reducción de tamaño. Pueden adaptar diversas configuraciones: trituradora de rodillos, molino de cuchillas o molino de martillos (Humberto, 2013)

### 2.7.2 Reciclaje por aglutinamiento.

Este método físico-térmico consiste en extraer el aire del poliestireno expandido mediante centrifugación o compactación, realizado lo anterior se calienta el material para lograr la unión de las partículas y pasa a su compresión mecánica.

El proceso de reciclaje por aglutinamiento requiere de grandes insumos de energía eléctrica (Humberto, 2013)

### 2.7.3 Reciclaje químico

El reciclaje químico consiste en la disolución con diferentes solventes, estos últimos deben ser acordes a la polaridad del material EPS.

El poliestireno es un compuesto no polar, con lo cual se debe usar un solvente no polar para llegar a formar soluciones, dando buenas características y llegando a soluciones saturadas, para garantizar la solubilidad total del material (García *et al.*, 2009). El *feedstocking recycling* o reciclaje de materia prima implica un cambio de la estructura química del material, pero de tal modo que las sustancias químicas puedan ser usadas para producir el material original otra vez. Tales procesos incluyen recuperación de monómero.

Hay pocas técnicas comerciales disponibles que logran esto, el reciclaje de materia prima típico genera gas de síntesis, conteniendo principalmente  $CO$  y  $H_2$ . Los subproductos como cloruros, que generalmente son vendidos para otros procesos; y la escoria pueden ser usados en la construcción de edificios. La energía liberada durante estos procesos usualmente es usada o recuperada (Urrea, 2009).

### 2.7.4 Reciclaje del EPS en México

En México existen dos industrias recicladoras del poliestireno, la primera es una empresa transnacional ubicada en la ciudad capital, *Dart*, la cual recicla cerca de 400 toneladas de unicele al año. La segunda empresa es *Solid Waste Recycling* y se localiza en Mérida Yucatán, esta última empresa fue fundada por yucatecos en junio del 2013 logró reciclar cerca de 720 toneladas anuales en el año 2015.

## 2.8 Propiedades de la madera

La definición común del término madera (Requejo, 2011) es que se trata de un compuesto de tres grupos de sustancias que conforman una pared celular, donde

se encuentran las principales macromoléculas: celulosa, hemicelulosa y lignina; la proporción de cada uno de estos componentes varía de acuerdo al tipo de madera.

El otro grupo lo conforman las sustancias de baja masa molar conocidas también como sustancias extraíbles que se encuentran en menor cantidad, y finalmente las sustancias minerales. En la *Tabla 5* se agrupan las propiedades de la madera.

*Tabla 5.* Tabla resumen que identifica las propiedades de la madera.

Tabla resumen de las propiedades de la madera		
Propiedad		
Estructura	Microestructura	Bloque de construcción primario es el de celda de fibra que varían entre 16 a 42 $\mu\text{m}$ de diámetro y de 870 a 4000 $\mu\text{m}$ de longitud.
	Macroestructura	Conformada por dos grandes grupos: la albura y el duramen. La primera con células de 35 a 150 $\mu\text{m}$
Crecimiento	En anillos	Depende de la especie y condiciones ambientales
	En nudos	Existen dos clasificaciones: nudos internos y nudos encajonados. Son de 10 a 20 veces más fuertes que otras partes de la madera.
	Reacción de la madera	Depende las condiciones ambientales y el estrés al que se someta ya sea mecánico, físico o biológico.
Propiedades físicas	Direccionamiento	Existen tres tipos de crecimiento: radial, tangencial o perpendicular.
	Contenido de humedad	Depende de la especie y condiciones ambientales
	Textura	Depende de la especie y condiciones ambientales
	Estabilidad dimensional	Depende de la especie y condiciones ambientales
	Expansión térmica	Depende de la especie y condiciones ambientales
	Propiedades inflamativas	Depende de la especie y condiciones ambientales
	Densidad y gravedad específica	Depende de la especie y condiciones ambientales
	Resistencia eléctrica	Depende de la especie y condiciones ambientales
	Resistencia a la descomposición	Depende de la especie y condiciones ambientales
	Resistencia química	Depende de la especie y condiciones ambientales
	Módulos de elasticidad	Depende de la especie y condiciones ambientales
Propiedades Mecánicas	Módulos de corte	Depende de la especie y condiciones ambientales
	Fuerza	Depende de la especie y condiciones ambientales
	Compresión	Depende de la especie y condiciones ambientales
	Tensión	Depende de la especie y condiciones ambientales
	Flexión	Depende de la especie y condiciones ambientales
	Corte	Depende de la especie y condiciones ambientales

Resistencia a la absorción de energía	Depende de la especie y condiciones ambientales
Fatiga	Depende de la especie y condiciones ambientales

Fuente: Elaboración propia con información de: Wood properties (1994).

### 2.8.1 Celulosa

La celulosa es una molécula larga, de peso y longitud variable, conformada estructuralmente por la unión aproximada de 1,400 -10,000 moléculas de glucosa, el enlace entre dos glucosas es una molécula de agua (Goss, 2013).

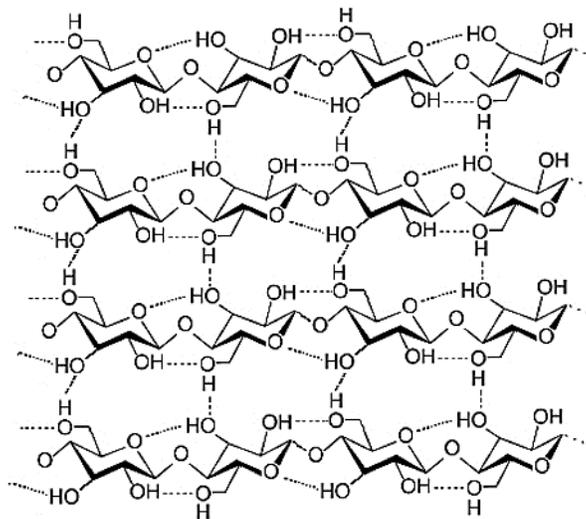


Figura 5. Estructura molecular de la celulosa.

### 2.8.2 Hemicelulosa

La hemicelulosa también llamada poliosis es un heteropolímero de polisacáridos, están disponibles en casi todos los materiales vegetales junto con la celulosa. El polisacárido de hemicelulosa contiene diferentes polímeros de hexanos (Manano, glucosan, galactan y rhamnan) y pentosanos (xilano andaraban) (Romeo-Uscanga, 2014).

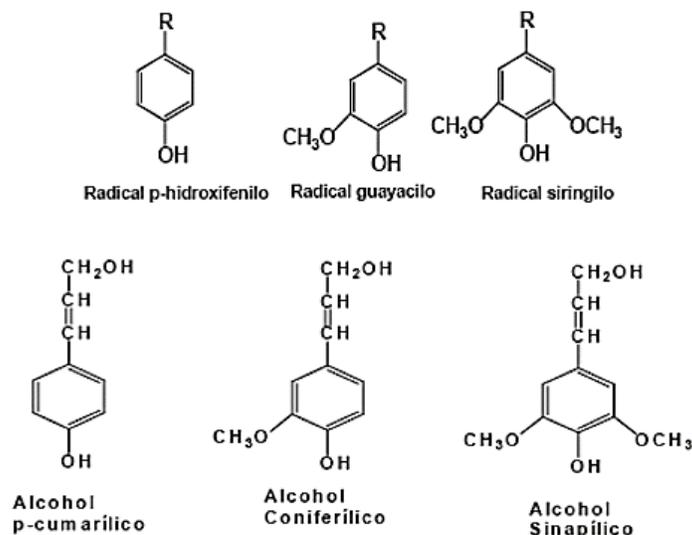


Figura 6. Componentes y monómeros fundamentales de la hemicelulosa.

### 2.8.3 Lignina

La lignina por ser un material conformado por polímeros vegetales que se encuentra en el tercer lugar de la composición de la madera, de acuerdo a *estandarizaciones* de estudios realizados por *Forestry for Bioenergy & Bio-based Products* (2007). el rango de lignina en madera se encuentra entre 15-25% (La lignina por ser un material orgánico también es afectada por las variaciones del medio ambiente). Cuando está en un ambiente natural, la madera se degrada por factores químicos o por causa de energías y mecánicos. Esta degradación en la madera expuesta es conocida como intemperismo (Shell & Feist 1986).

El conjunto de factores principales que pueden afectar la madera en el intemperismo son la humedad, la radiación solar, la temperatura, entre otros. Estos factores pueden ocasionar daños químicos, estructurales o ambos. Tamarit, Borja, Flores & Corona (2002) afirman; “Estas alteraciones se pueden presentar en cambios de color, superficies ásperas, grietas, alabeos, pérdida de cohesión y fragmentación en astillas” (p.90).

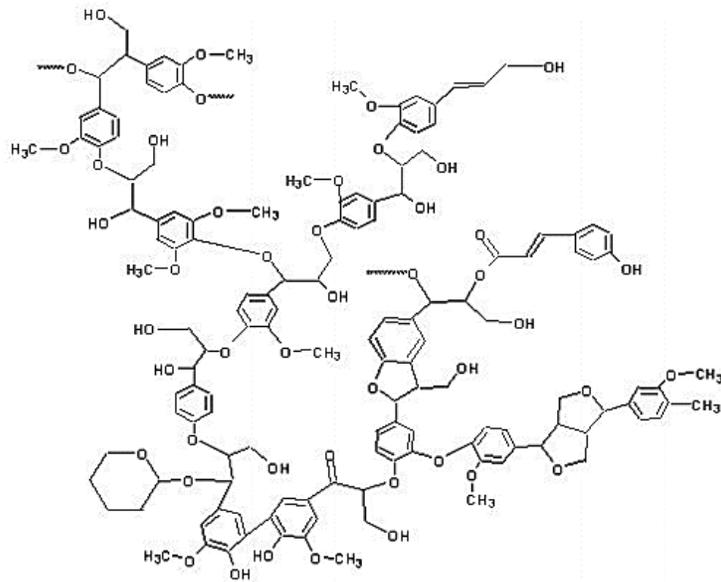


Figura 7. Concurrente estructura de la lignina.

## 2.9 El Intemperismo en la madera

Los efectos del intemperismo en la madera expuesta o sin protección pueden deberse a la fotodegradación y la fotooxidación por los rayos ultravioleta (UV), partir de lo cual la superficie se puede volver áspera, agrietada o erosionada, cambiando drásticamente en los primeros meses y manteniéndose así por años, es decir, la lixiviación, hidrólisis o hinchamiento por el agua y la decoloración o degradación por manchado y deterioro por microorganismos (Williams & Feist, 1993; Tamarrit *et al.*, 2002).

Para ilustrar todo ello, en el *Tabla 6* se muestra en la primera columna el tipo de energía que aplica sobre la madera, en la segunda columna se desglosa los tipos de cambios y degradaciones que promueven y en la columna final se estima el nivel de daño causado.

Tabla 6. Relación entre los agentes del intemperismo con sus degradaciones y el nivel de daño.

Energía	Degradación	Nivel
Calor	Oscurecimiento	Ligero
Radiaciones U.V.	Cambio de color	Severo
	Degradación química	Severo
Mecánica	Desgaste	Ligero
	Erosión	Ligero
	Agrietamiento	Severo
	Separación de fibras	Severo
Química	Agrietamiento	Severo
	Separación de fibras	Severo
	Lixiviación	Severo
	Cambio de color	Severo
	Pérdida de resistencia	Severo

Fuente: Elaboración propia con información de: Wood properties (1994).

### 2.9.1 Degradación por radiación solar.

Como lo afirma Feist, (1994) la radiación solar es la que más daño causa y es la que inicia una variedad de cambios químicos sobre la superficie. Es también la que se presenta con mayor frecuencia que las otras. Sin embargo, la radiación solar puede presentarse por radiación Ultra Violeta (UV) o por luz visible.

Cuando este tipo de luces afectan la madera se suelen manifestar en sus paredes celulares, afectando en especial a la lignina y a los extraíbles, por lo que este fenómeno ataca solo a las capas superficiales (aproximadamente se descasta 0.1 mm del grosor de la madera por año (Feist y Hon 1984; Castillo & Erdoiza 1995).

Igualmente, este deterioro puede dar pauta a que el daño sea magnificado por otro tipo de agentes biológicos, como microorganismos, hongos o bacterias cuya actividad puede dañar de forma severa el estado de la madera (Tamarit *et al.*, 2002).

La primera etapa del proceso de degradación es la decoloración, es decir, se presenta un color amarilloso u oscurecimiento de la madera, debido a la solubilidad de los extractivos presentes en las células de algunas especies, seguida de la separación de las fibras, ocasionada principalmente por las radiaciones UV del sol, que descomponen a la lignina (componente cementante), provocando la lixiviación de éstas por la acción de la lluvia (Cassens y Feist, 1986); igualmente, generando ácidos como los carbonilo o ácidos clorofórmicos que son las principales sustancias decolorantes de la madera.

#### 2.9.2 Degradación por humedad.

El agua, en combinación con la radiación UV, juega un papel importante en la meteorización y la degradación de la superficie de la madera. A medida que la lignina se degrada, el agua se filtra produciendo degradación y el lavado de las fibras de celulosa en la superficie suelta, causando una superficie rugosa que generalmente se conoce como "madera erosionada". El agua causa también que la madera, al hincharse y al secarse, desarrolle grietas que exponen de nuevo el material a la degradación por rayos UV (Feist., Rowell, & Ellis, 2007).

#### 2.9.3 Degradación por erosión

La degradación por erosión es causada por las consecuencias de la fotodegradación por radiación UV y la lixiviación química. Con lo anterior en juego, la humedad junto con el viento hincha y reseca la madera observándose así a través del tiempo el efecto en conjunto de la degradación por erosión.

#### 2.9.4 Degradación por microorganismos

Los microorganismos más comunes que se presentan en la degradación de la madera son los hongos. Se sabe que los hongos excretan cantidades sustanciales de ácido orgánico como parte de su metabolismo normal, y sustancias como el ácido

oxálico pueden acumularse en grandes cantidades como la sal de oxalato (Cromack *et al.*, 1977). Sin embargo, las bacterias también son organismos causantes de la degradación de la madera, que pueden atacar directamente y causar patrones de erosión, cavitación y formación de túneles (Blanchette *et al.*, 1990). Para evitar tales afectaciones existen acabados para madera, como menciona Tamarit *et al.* (2002) “Para disminuir los problemas ocasionados a la madera por el intemperismo es necesario protegerla con sustancias llamadas acabados. Éstos, además de cumplir una función decorativa, dan cierto grado de protección contra algunos agentes de deterioro” (p.1-2).

Es este el punto que devuelve la investigación al objeto central, es decir, el propósito de generar un acabado que permita proteger a la madera o a un cierto tipo de ellas, con una sustancia obtenida a través de un procesamiento de desechos plásticos del EPS o unicol.

## 2.10 Acabados para maderas en exteriores

Las propiedades de la madera que son importantes considerar en la elección del acabado a usar son: contenido de humedad, densidad básica, textura, extractivos, ancho y orientación de los anillos de crecimiento y los defectos como los nudos, madera de reacción e infestación por hongos.

Otros factores que contribuyen a la elección son la naturaleza y calidad del acabado usado, la técnica de aplicación, pretratamientos, tiempo transcurrido para hacer una segunda aplicación, nivel de protección brindada y las condiciones climáticas locales (Alegri, 1994; Knaebe, 1995).

Existen dos clasificaciones generales para las protecciones adaptables a madera (*Figura 8*). Se clasifican en

- 1) Acabados que forman película, como barnices, lacas y pinturas y,

2) Acabados que penetran a través de la superficie de la madera, como los tintes pigmentados (Tamarrit *et al.*, 2002).

Los primeros están compuestos en su mayoría de repelentes de agua, solventes y fungicidas para el completo tratamiento de la madera. Para los segundos su constitución demarca una característica principal que es que sus moléculas son de menor tamaño que los que forman película y su coeficiente de viscosidad es relativamente bajo.

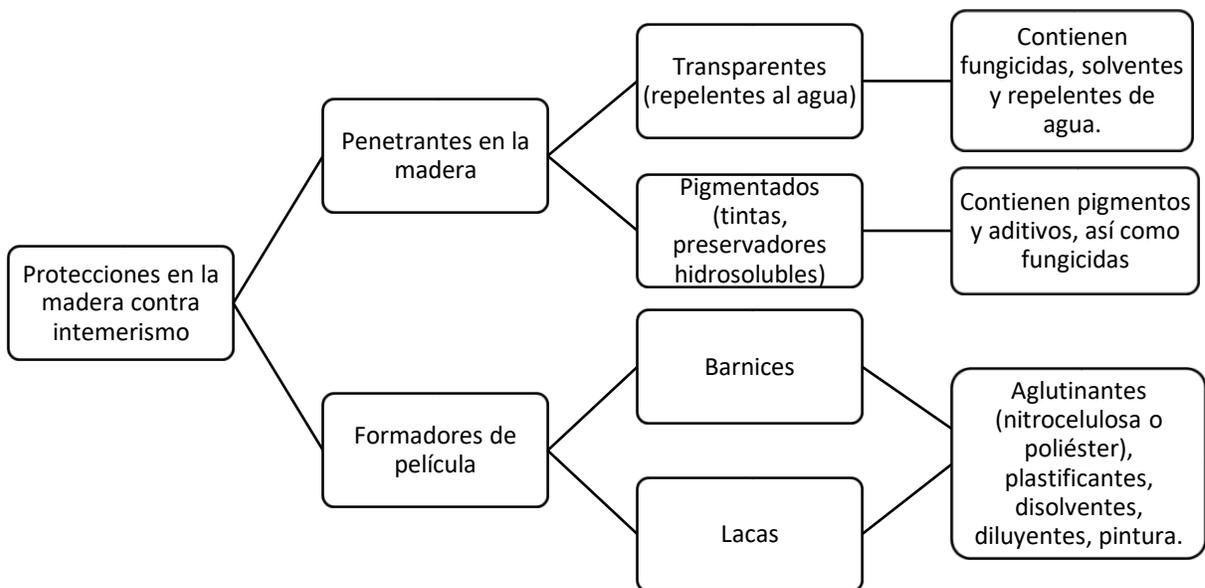


Figura 8. Elaboración propia con información de: Castillo y Erdoiza. (1995). Acabados para madera en exteriores.

De los recubrimientos para madera penetrantes se investigó que el tratamiento de la madera con sales inorgánicas solubles en agua de cromo, hierro y cobre protege la superficie de la madera de la fotodegradación hasta cierto punto (Feist, 1979).

Otro de los tratamientos que se han aplicado por largo tiempo a la madera es la acetilación. La acetilación de la madera reduce en gran medida la hinchazón

causada por la absorción de humedad, tanto para compuestos de madera sólida y madera (Rowell, Feist, & Ellis, 1981).

## CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.

### 3.1 Descripción del área de estudio.

El área de pruebas en laboratorio se localizó en dos de los laboratorios del Instituto Tecnológico Superior de Misantla "ITSM" (*Figura 9*), en el municipio del mismo nombre, en el estado de Veracruz. Se trata del Laboratorio de Química (LQ), y del Laboratorio de Servicios Especializados en Aguas (LabSEA).

Para efectos de condiciones ambientales, es preciso aclarar que estos laboratorios se encuentran a 270 metros sobre el nivel del mar, existiendo en estos alrededores una vegetación compuesta por bosque caducifolio nativo con dominación de suelo ganadero. La precipitación anual de la zona es de aproximadamente 1 862 mm por año. Con ello puede reconocerse que la humedad relativa se puede percibir en un 76%, con un clima cálido-húmedo con una temperatura promedio de 23 °C. La zona se encuentra ubicada en la zona montañosa del estado de Veracruz.



*Figura 9* Laboratorios donde se desarrolló la investigación.

### 3.2 Identificación y recolección de la materia prima.

La materia prima con la que se trabajó fue el material EPS de desecho que se genera dentro del ITSM, recuperado de los contenedores de basura existentes en la edificación (Fig. 10)



Figura 10. Contenedores de residuos de la institución

dando mayor importancia a los residuos depositados cerca de los centros de comida ambulantes. La materia prima se caracterizó de acuerdo a la tabla 7, esto con el fin de que no existieran alteraciones en el tratamiento.

Tabla 7. Lineamientos del EPS a reciclar.

Material EPS	Lineamientos	Requerimientos
Vasos, platos o charolas	Entero	<ul style="list-style-type: none"><li>• No sucio de grasas en demasía</li><li>• No sucio con aceites en demasía</li><li>• No quemado</li><li>• No comprimido</li></ul>

### 3.3 Pretratamiento del residuo.

Se desarrollaron cuatro pasos básicos: 1) el lavado primario, 2) el triturado, 3) el lavado secundario; y 4) el secado. A continuación, se detalla cada uno de ellos.

### 3.3.1 Lavado primario.

El lavado primario consistió en el desengrasado y limpieza de las piezas de EPS clasificadas para experimentación. Las piezas de EPS se remojaron en agua potable por 2 min con la ayuda de guantes y un agente desengrasante. En ese caso el líquido comercial *Great Value® Detergente líquido* para trastes con aroma a limón. Se lavaron con una esponja comercial marca *Scotch Brite®* (Figura 11) Inmediatamente después de lavar las piezas se dejaron secar 3 horas sobre papel absorbente a temperatura ambiente.

En la recolección de materia prima se observó que los platos y charolas utilizados para el consumo de alimentos grasos eran propensos a la corrosión por los aceites utilizados y zumos de limón; además de que estos se impregnaban con mayor fijación, por lo que se descartó tal materia.



Figura 11. Proceso del primer lavado del material EPS.

Como se esperaba en este proceso, se logró eliminar la grasa de la materia con la técnica descrita en la metodología 3.3.1 Lavado primario.

En la *Figura 12* se muestra el primer lavado del pre-tratamiento, observándose el antes y después del material.



*Figura 12* Antes y después del lavado primario de un plato de EPS.

Se lavaron más platos planos (tipo charola) de 15.4 x 15.4 cm y en menor cantidad vasos de unicel, lo anterior indica que el mayor consumo de artículos EPS en el ITSM es de platos chicos. La *Figura 13* representa una muestra del volumen total del material lavado.



*Figura 13.* Material EPS lavado y clasificado para su demostración.

### 3.3.2 Triturado del material.

El proceso de triturado consistió en reducir los tamaños del EPS a medidas diferentes mediante los siguientes métodos:

### 3.3.2.1 Método de bruza-taladro.

Este método se aplicó a aquel residuo EPS donde las perlas eran grandes y visibles, y que por obviedad su estructura interna no era homogénea. El procedimiento consistió en cepillar con una bruza de alambre el material. La bruza fue circular para taladro, de alambre calibre 0.3 mm de marca comercial Truper® la que fué acoplada a un taladro *DeWALT* 12 volts recargable. La acción de los movimientos de la bruza sobre el EPS debe desgastarlo separando las perlas o en su caso se conseguirán tamaños de partículas inferiores a los 1 cm.

Puesto que la técnica de taladro arrojaba partículas demasiado pequeñas y su colección era muy difícil, pues se adherían muy fácilmente a cualquier superficie por la electricidad estática que adquieren, se optó por realizar la trituración con tijera. En la *Figura 14* se demuestra el diminuto tamaño de partícula que se creaba con la técnica de taladro y bruza.

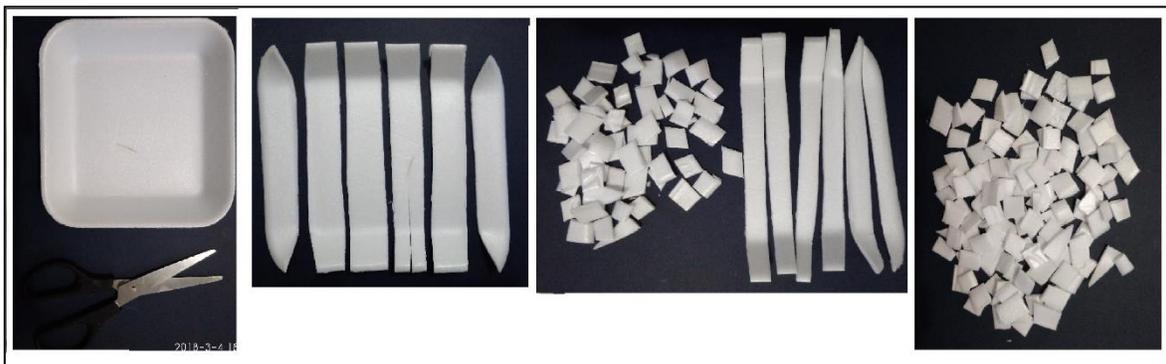


*Figura 14.* Prueba de trituración mediante bruza y taladro.

### 3.3.2.2 Método de corte.

Este método se aplicó a aquel residuo EPS el cual presentó una superficie lisa y homogénea como los platos de la marca *REYMA*®. La resistencia a partición de estos materiales excluyó a la primera técnica por lo que su fragmentación se realizó de forma manual con unas tijeras de 4 pulgadas para uso escolar. Con este método se obtuvieron partículas de 3 y 9 cm<sup>2</sup>.

En la *Figura 15* se observa el proceso de trituración de un plato-charola de 15.4 x 15.4 cm. La técnica que se sigue es la misma que con los demás artículos.



*Figura 15.* Proceso de trituración manual.

### 3.3.4 Lavado secundario.

Teniendo al material EPS lavado y triturado, el lavado secundario consistió en el sometimiento de los lotes de diferentes partículas a una tina de lavado. Se colocaron porciones de 50 gr de EPS triturado en la bandeja para no saturar el espacio del recipiente (*Figura 16*).

Posteriormente fueron violentadas con un chorro de agua inicial cuya composición fue 95% agua y 5% de desengrasante de la marca *Axión*® de la línea con aroma a limón, se detuvo el flujo tan pronto como el conjunto llegó a las  $\frac{3}{4}$  partes de la

alberca de lavado y se continúa su agitación de forma manual. Para asegurar una limpieza general efectiva la agitación continuó por 5 minutos.



*Figura 16.* Lavado secundario de material triturado.

### 3.3.5 Secado.

Terminado el tiempo de lavado se escurrió el material en un colador de malla mosquitera y se dejó secar a temperatura ambiente sobre papel absorbente por 5 horas (*Figura 17*). Lo anterior se realizó con el fin de eliminar la humedad, casi nula. El agua sobrante se desechó.



*Figura 17.* Proceso de secado de una porción del material en servi toalla del material triturado y lavado.

### 3.4 Evaluación de tamaño de partícula.

De acuerdo a la información bibliográfica investigada se tomaron los tres diferentes tamaños de partícula EPS las cuales fueron de 1, 2.25 y 9 cm<sup>2</sup> y se sometieron a pruebas cortas de evaluación con el fin de identificar cuál de estas partículas se disuelve con mayor rapidez, siendo la resultante la que se utilizó en una matriz experimental.



*Figura 18.* Muestra de los tres diferentes tamaños de partícula. de izquierda a derecha 1, 2.25 y 9 cm<sup>2</sup>.

### 3.5 Valoración de diferentes solventes para la disolución del EPS y evaluación de las proporciones EPS-solvente.

Se identificó la cantidad adecuada de EPS para que se logre una completa disolución por unidad de solvente. Las pruebas se realizaron dentro de una cámara de extracción de gases. Se ocuparon porciones de 10, 20 y 30 gr disueltos en una cantidad constante de solvente (100 mL), para cada mezcla se utilizó un vaso de precipitado de 1000 mL al que se le introdujo una mosca de agitación de una pulgada y fue colocado sobre una termo agitadora marca DIAB MS-H550-S.

La técnica en que se agregó la materia EPS se muestra en la *Figura 19*. Se puede observar el aparejo realizado de un contenedor plástico con una división y el vaso de precipitado.

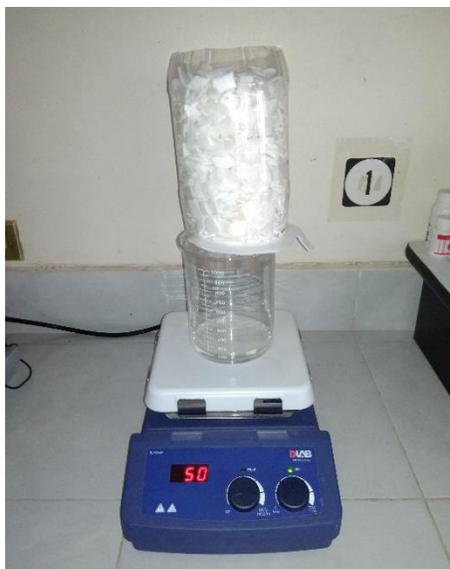


Figura 19. Sistema para la disolución de EPS.

Con una matriz preliminar se experimentaron las variables y finalmente se obtuvo una matriz final de evaluación. En la siguiente tabla se muestran las variables de temperatura a las que se desarrolló la mezcla.

Tabla 8. Matriz final de evaluación con las variables disolvente, gramos de unicel y temperatura.

Tratamiento	Solvente 100 mL	EPS gr	Temperatura °C	Mezclado rpm
1	Acetato de etilo	10	23	500
2	Acetato de etilo	20	23	500
3	Acetato de etilo	30	23	500
4	Acetato de etilo	10	50	500
5	Acetato de etilo	20	50	500
6	Acetato de etilo	30	50	500
7	Acetato de butilo	10	25	500
8	Acetato de butilo	20	25	500
9	Acetato de butilo	30	25	500
10	Acetato de butilo	10	50	500
11	Acetato de butilo	20	50	500
12	Acetato de butilo	30	50	500

El número de repeticiones se realizó de acuerdo con el número de solventes con los que se trabajó. Para esto se usaron tres solventes orgánicos, acetato de etilo ( $C_4H_8O_2$ ), acetato de butilo ( $C_6H_{12}O_2$ ) y d-limoneno ( $C_{10}H_{16}$ ).

De lo anterior surgió una clave de identificación compuesta por: el número de disolución y las dos primeras iniciales del solvente AE para C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub> y AB para C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>2</sub>. Una vez encontradas las proporciones equivalentes entre solvente y EPS, en comparación con un barniz comercial, se procedió a evaluar los tiempos de residencia del EPS en el solvente y las revoluciones más adecuadas de mezclado para alcanzar la mayor eficiencia en la solubilidad del EPS. Para la agitación las revoluciones fueron propuestas de manera empírica y para las temperaturas los valores serán 25°C y 50°C.

### 3.6 Pruebas de viscosidad.

La viscosidad (poise) de los productos obtenidos se evaluó mediante un sistema simplificado en un despeje de la ecuación de la *ley de Hagen-Poiseuille* de 1839, el cual se representa por el siguiente diagrama:

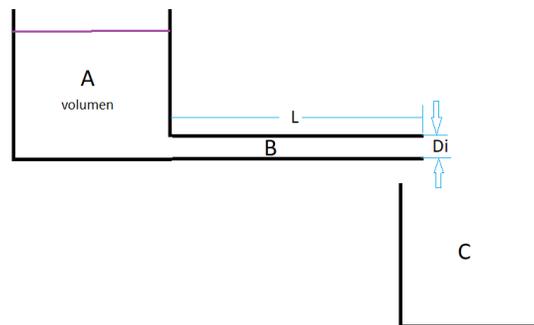


Figura 20. Esquema del modelo utilizado para la prueba de viscosidad.

Donde un líquido con volumen conocido (A) pasa a través de un canal con largo (L) y diámetro interno (Di) conocidos y de acuerdo a la caída de presión la viscosidad quedará reflejada en gr/cm\*s en la siguiente ecuación:

$$\mu = \frac{\pi r^4 (P_0 - P_i)}{8QL}$$

Donde Po y P1 se anulan y eliminan al ser un sistema abierto a la atmósfera, 8 es una constante, Q es el caudal y L el largo del segmento del tubo.

### 3.7 Identificación de maderas a tratar.

Una vez obtenidas las mejores revoluciones y temperaturas de mezcla se seleccionaron las maderas a tratar, estas se identificaron de acuerdo al libro *Wood Properties* de Jerold. E., en el cual la madera se clasifica en maderas blandas y maderas duras, de acuerdo a su estructura molecular, siendo las segundas más factibles al tratamiento.

Las maderas más utilizadas en las zonas se agrupan en la siguiente tabla con motivo de facilitar la elección.

Tabla 9. Tabla de elaboración propia para la identificación de algunas maderas duras y blandas en el estado de Veracruz.

Maderas duras	Maderas blandas
Haya ( <i>Fagus sylvatica</i> )	Pino ( <i>Pinus monticola</i> )
Amarillo ( <i>Diphysa robinoides</i> )	Cedro rojo ( <i>Cedrela odorata</i> )
Roble ( <i>Tabebuia rosea</i> )	Sauce ( <i>Salix humboltiana</i> )
Encino ( <i>Quercus mexicana</i> )	Álamo ( <i>Populus mexicana</i> )
Melina ( <i>Gmelina arborea</i> )	

### 3.8 Adecuación de superficie.

El lijado de la madera es una parte fundamental del proceso, por ello se consultó con ebanistas locales para informarse sobre las técnicas de acabado de la madera, antes de someterla a tratamiento.

La adecuación de la superficie consistió en lijar con una fibra para plomero *Fandeli ALOML* de grano 180 y lija *Fandeli GX-120* para segundo final, aplicando la primera lija para el acabado final.

El objetivo de esta operación fue eliminar impurezas o estructuras que afectaran o alteraran el tratamiento y las pruebas de intemperismo tal como lo dice Flores Velázquez *et al.* (2001) la presencia de nudos y otras irregularidades (tales como corteza, grietas, bolsas de resina y daños de insectos) afectan la pintabilidad de la

madera. Una madera con alto número de poros, con “corazones”, o con hombros de rama, húmeda; en fin, una madera reseca, cuarteada o con otras imperfecciones puede conducir a un mal desempeño de los barnices, tinturas o lacas aplicables. Por el contrario, si la superficie de la madera se encuentra llana y estructuralmente uniforme el porcentaje de éxito aumenta. La primera lija brindó un acabado suave y liso; mientras que la segunda aportó rugosidad y poros para la correcta fijación y absorción de la tinta, además de dar un acabado más homogéneo a la madera, para asegurar la impregnación parcial del tratamiento (*Figura 21*).

Enseguida se realizó, al gusto, la aplicación de una tinta con base de alcohol, para posteriormente aplicarle una capa de barniz con fondo de poliuretano de la marca comercial *Sayer Lack* que, junto con el catalizador, sellan los primeros poros de la superficie de la madera.

Después de esto, se lijó la superficie con tela abrasiva *Fandely® ALOBY-240* para obtener un liso homogéneo. Se limpió la superficie de cualquier residuo de polvo y otras impurezas antes de aplicar 4 manos más de fondo.



*Figura 21.* Comparación de superficies de dos maderas de Melina, una acondicionada y la otra sin acondicionar.

Por último, *al gusto*, se reaplicó tinta con base de alcohol para finalmente aplicar el tratamiento del barniz protector.

El color de la tintura determinó la tonalidad deseada. De manera tradicional la tintura se aplicó con estopa, aplicando más de una vez en las zonas donde la madera no absorbía la suficiente.

### 3.9 Aplicación de tratamiento a maderas.

El recubrimiento generado elegido se comparó con el barniz comercial más usado en la zona (Sayer Lack Barniz poliuretano T-00289/A) bajo las variables de madera dura y madera blanda mediante tres diferentes técnicas de aplicación, lo que resultó un total de 12 muestras a evaluar (ver *Tabla 10*).

*Tabla 10.* Matriz de experimentación con los diferentes métodos de aplicación y código de identificación.

Método de aplicación	Tratamiento					
	Brocha		Atomizador		Inmersión	
Madera dura (Melina)	MB-T	MB-B	MA-T	MA-B	MI-T	MI-B
Madera blanda (Cedro)	CB-T	CB-B	C2-T	CA-B	CI-T	CI-B
A-Tratamiento con recubrimiento generado B-Barniz comercial	A	B	A	B	A	B

### 3.10 Métodos de aplicación.

Estos métodos fueron propuestos de acuerdo a los procesos convencionales utilizados en las carpinterías de la zona, aunado a estos se experimentó con el tratamiento por inmersión. A continuación, se describen sus técnicas de aplicación.

#### 3.10.1 Método con brocha.

- i. La aplicación con brocha se siguió de acuerdo al *Manual general ICO-pinturas*, la cual fue:
- ii. Con un trapo seco se limpió la superficie a tratar.

- iii. Se aplicó una primera capa y se dejó secar con un mínimo de 24 horas antes de aplicar una segunda capa.
- iv. Se dejó secar por 24 horas a temperatura ambiente.

### 3.10.2 Método con atomizador.

Este método fue experimental tratando de igualar el tamaño de partícula de los aspersores utilizados por los ebanistas. Los pasos fueron los siguientes:

- i. Se limpió la superficie de aceites o polvo con trapo seco.
- ii. Se aplicó una capa de la solución con atomizador y se dejó secar mínimo 12 horas antes de aplicar una segunda capa.
- iii. Finalmente se dejó secar por 24 horas a temperatura ambiente.

### 3.10.3 Método por inmersión.

Este método es el menos recomendado por el gasto en productos que representa y la dificultad en su aplicación, por lo cual se simuló una inmersión de la siguiente manera:

- i. Se estableció un área perimetral a tratar, para disminuir al máximo cualquier fuga de la solución.
- ii. Se aplicó el barniz hasta saturar la superficie.
- iii. Esta condición se mantuvo por 2 horas, aplicando más solución cuando fue necesario.
- iv. Terminado el paso anterior se dejó secar a temperatura ambiente por 24 horas.

### 3.11. Intemperismo.

Las maderas tratadas con barniz comercial y los recubrimientos obtenidos de EPS se sometieron a pruebas de intemperismo la cual se desarrolló de la siguiente manera:

- i. Las maderas tratadas se colocaron en grupos de 3 de forma vertical, ancladas a una misma base mediante un taquete y tornillo formando una “W” con el objetivo que toda la superficie reciba el intemperismo de manera homogénea.
- ii. El *set* se situó en una zona parcialmente soleada y en posición perpendicular al alba del sol.
- iii. El intemperismo se dio de manera natural en los alrededores de los laboratorios de experimentación durante un periodo de 3 semanas.

### 3.12 Características de evaluación

Par poder evaluar la calidad del recubrimiento de las mezclas de EPS y poder compararlas con el barniz comercial Sayer se procedió a evaluar parámetros indicativos de la calidad en un barniz.

#### 3.12.1 Dureza

La dureza al rallado se midió desplazando un objeto afilado con un área en punta conocida bajo una presión dada sobre la superficie de ensayo. El resultado puede ser tanto el valor de la presión que se requiera para rallar el material de ensayo si se utiliza una herramienta de rallado de dureza constante, como la dureza de la herramienta de rallado varía mientras se aplica una presión constante (LUMAQUIN, SA., 2012).

Existen dos formas de aplicación del carrito, una es a peso constante y lápiz variable y la otra es con lápiz fijo y peso variable. La técnica se realizó con lápiz fijo y peso

variable, teniendo como dureza en lápiz 6H y 32 gr de peso total del durómetro de carrito que fue construido para tal fin (*Figura 23*).



*Figura 22.* Durómetro de lápiz en prueba de dureza al tratamiento C2A-T.

La metodología para efectuar la lectura se siguió del manual publicado por la empresa fabricante de durómetros de lápiz Lumaquin, S.A. en su página electrónica [www.lumaquin.com](http://www.lumaquin.com), la cual cumple con los estándares de calidad.

### 3.8.2 Grosor

El grosor de una película de barniz dependerá del número de veces que es aplicada la solución, así como de las características físicas y químicas del producto que están relacionadas con el objetivo.

La evaluación de los barnices aplicados puede mostrar la relación de espesor-dureza-fragilidad. Por ello, que es muy importante tomar las lecturas correctas. Para este fin se utilizó un calibre de precisión de la marca Scala<sup>®</sup>. Las lecturas fueron tomadas en el mismo punto durante las veces y el tiempo de evaluación, es decir, tres por el largo de cada tratamiento, de esto se obtuvo el promedio del grosor. En la *Figura 24* se representa la medición del tratamiento C3-I en la parte media del madero.



Figura 23. Prueba de grosor del tratamiento C3-1 con un calibre de precisión.

### 3.8.3 Agrietado, amarillamiento y descamación

Estos tres parámetros fueron evaluados ocularmente cada 5 días durante el periodo de intemperismo, para ello se realizó experimentalmente una matriz con tres niveles de valores que se describe en la *Tabla 11* en donde al final se obtiene un valor promedio de degradación del tratamiento.

Tabla 11. Tabla para la valoración de daño del recubrimiento frente al intemperismo.

Magnitud	Valor	Agrietamiento	Valor	Descamación	Valor	Amarillamiento
Bajo	1	Micro grietas menores a 0.5 mm	1	Despegue de película	1	Blanco-transparente
Medio	1	Grietas entre 0.5 y 1 mm	2	Levantamiento de película	2	Blanco-opaco
Fuerte	1	Grietas mayores a 1 mm	3	Pérdida de película	3	Blanco-amarillento
Valor acumulado	3		3		3	Valor promedio

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS.

### 4.1 Pruebas de disolución de diferentes tamaños de partícula y diferentes solventes.

Para verificar que los solventes cumplieran con las características que se encontraron en la información bibliográfica se realizaron pruebas de la solubilidad en tiempos a los diferentes tamaños de partícula las cuales arrojaron los siguientes resultados.

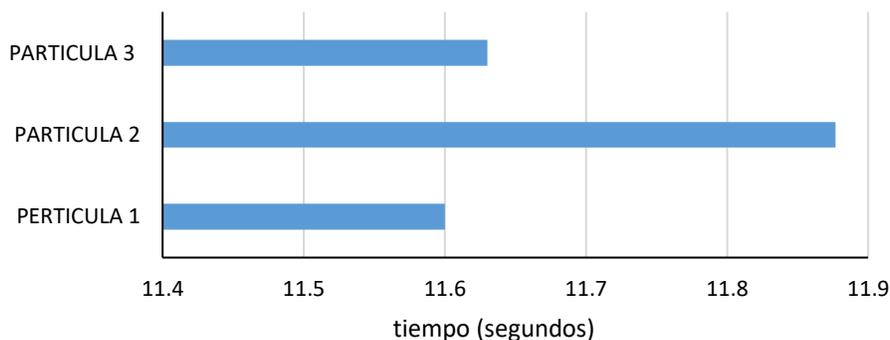
#### 4.1.1 Disolución de EPS a diferentes tamaños de partícula con solvente thinner.

El experimento reveló que el tamaño de partícula del EPS no es proporcional al tiempo necesario para su disolución (ver *Tabla 12*). En esta evaluación y de acuerdo al paquete estadístico ESTAFUANL, 2012 versión 1.1 el experimento demostró que las diferencias estadísticas de los tiempos de los tratamientos se consideran como no significativas. Este resultado se debe a que; el thinner es un compuesto de varios solventes en el que sus fracciones difieren el tipo de aplicación o la zona de producción. Frecuentemente, contiene cantidades diferentes de tolueno, benceno, xileno, hexano, acetona, isobutil acetato, isobutanol, butilglicol (Clapp, Howe & Jacobs, 2007), y más de 50 sustancias orgánicas en concentraciones menores al 1 % (Baydas *et al.*, 2003; Hoyos *et al.*, 2009; Yilmaz *et al.*, 2006). Esta composición de diferentes solventes hace que estén disponibles muchos enlaces carbonohidrógenos para la modificación de la estructura del EPS.

*Tabla 12.* ANVA de los tiempos de tres tamaños de partícula con thinner.

FV	GL	SC	CM	Fc	Sig
Tratamientos	2	0.138	0.069	0.025	0.975
Error	6	16.325	2.721		
Total	8	16.463			

Confirmando lo anterior, el diseño completamente al azar muestra los promedios de los tamaños de partícula los cuales se posicionan dentro de un mismo segundo, por lo que estadísticamente estos tiempos de disolución son iguales (ver *Figura 25*).



*Figura 24.* Gráfica con los promedios de los tres tiempos de los tratamientos evaluados con solvente thinner.

#### 4.1.2 Disolución de EPS a diferentes tamaños de partícula con solvente D-limoneno.

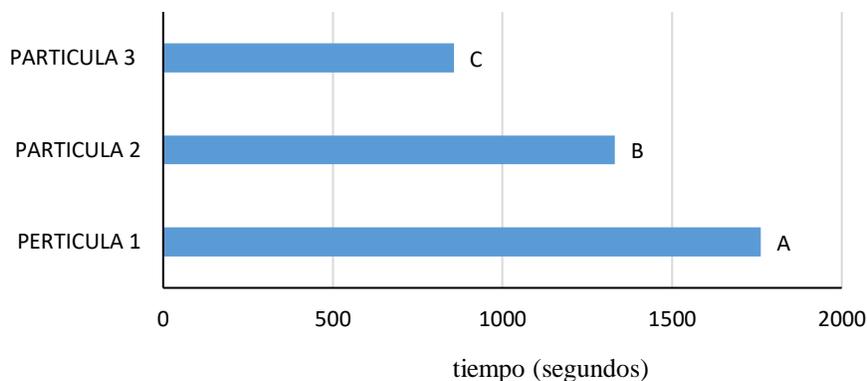
En la *Tabla 15* se muestra que, para fines de interés en tiempos de proceso, así como de capacidad disolutiva el D-Limoneno utilizado en la evaluación no cumplió con las expectativas de disolución por lo que se omitió como solvente experimental.

Los tiempos en los que este solvente lograba modificar la estructura del EPS y liberar todo el aire se posicionaron entre 867.2 y 1761.8 segundos. El paquete estadístico ESTAFUANL 2012 también demostró que con una significancia de 0.000 los resultados son estadísticamente al azar y existió un factor de cambio, tal factor es el tamaño de partícula experimentado.

*Tabla 13.* Medias de los tratamientos con significancia de 0.05.

FV	GL	SC	CM	Fc	Sig
Tratamientos	2	1228428.6	614214.28	62.171	0.000
Error	6	59276.160	9879.360		
Total	8	1287704.7			

La *Figura 26* demuestra que existe una varianza en las medias ( $DMS < 0.05$ ) de los tratamientos con tamaño de partícula en la que el tratamiento uno ( $1\text{ cm}^2$ ) representa la media más baja con 857.2 segundos, el tratamiento con partícula tres ( $3\text{ cm}^2$ ) fue el que presentó el retardo de disolución más alto con 1761.8 segundos.



*Figura 25.* Gráfica con los promedios de los tres tiempos de los tratamientos evaluados con solvente D-limoneno.

Por no ser un solvente puro el D-Limoneno, simplemente modificó la estructura del EPS liberando todo el aire contenido sin llegar a disolverlo (ver *Figura 27*), obteniendo como resultado un gel con características viscoelásticas fuertes con un bajo grado de sinéresis desde que es expuesto a cortos periodos de tiempo sobre una superficie.



Figura 26. Prueba de disolución con D-limoneno donde claramente se observa una mezcla heterogénea sin cambios aparentes.

#### 4.1.3 Disolución de EPS a diferentes tamaños de partícula con solvente acetato de butilo.

Este solvente demostró velocidades superiores al  $C_4H_8O_2$ . En la *Tabla 16* se demuestran los resultados obtenidos de acuerdo al análisis del paquete estadístico ESTAFUANL 2012 con un valor de 0.00 de significancia los resultados son aleatorios y existe una diferencia estadística.

Tabla 14. Resultados obtenidos en la prueba de Acetato de butilo a diferentes tamaños de partícula.

FV	GL	SC	CM	Fc	Sig
Tratamientos	2	920.777	460.389	102.782	0.000
Error	6	26.876	4.479		
Total	8	947.653			

Se concluye con la disolución del  $C_6H_{12}O_2$ , en la prueba de medias se identifica al tratamiento uno como el de menor tiempo requerido y el tratamiento tres como el de mayor tiempo requerido (*Figura 28*). De manera confiable y de acuerdo a los resultados obtenidos se eligió al tratamiento 1 por presentar la media más baja observada en los tiempos de disolución.

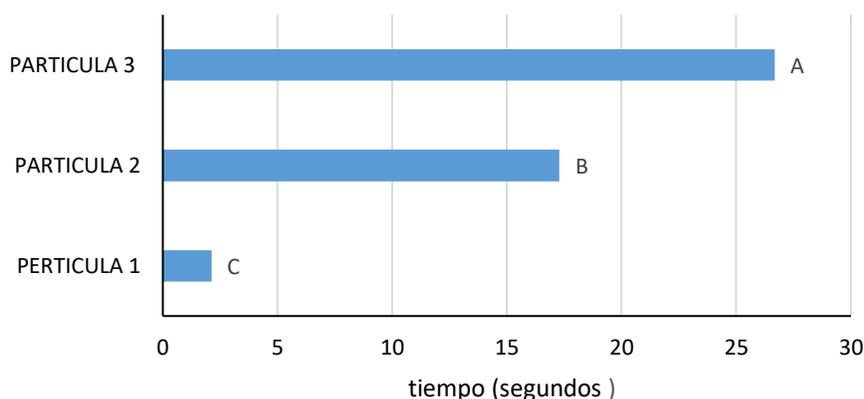


Figura 27. Gráfica con los promedios de los tres tiempos de los tratamientos evaluados con solvente acetato de butilo.

#### 4.2 Matriz experimental para la disolución de EPS (1 cm<sup>2</sup>) con acetato de butilo y acetato de etilo.

Los solventes seleccionados para realizar la evaluación final fueron el C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub> y el C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>2</sub> con las mismas variables pre establecidas en la metodología.

C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>2</sub> posee dos pares más de hidrógeno y un par más de carbono, además, tiene una densidad de 882 kg/m<sup>3</sup> con 20 unidades menos denso que el C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub>. La fórmula química del poliestireno es (C<sub>8</sub>H<sub>8</sub>)<sub>n</sub>; contiene los elementos químicos de carbono e hidrógeno (Díaz, 2016). La diferencia de disponibilidad de enlaces carbono-hidrógeno (enlaces Van der Waals) del C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>2</sub> y el C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub> se vio reflejado en los tiempos de disolución más cortos del primero.

Las diferentes concentraciones de EPS que se manejaron en la matriz pudieron ser observadas a simple vista, pues estas representaron tonalidades más oscuras proporcionalmente a los gramos EPS contenidos. La Figura 29 demuestra los tres primeros tratamientos y su apreciable densidad. El volumen de los tratamientos no tuvo cambio aparente respecto a la cantidad de material EPS contenida, por lo que

se comprueba que este plástico está conformado por aire o espacios vacíos en valores cercanos al 98%.



Figura 28. Primeros tres tratamientos de recubrimiento generado con acetato de etilo.

### 4.3 Caracterización de los productos.

En este apartado se muestra cómo se compararon las viscosidades y densidades de los productos obtenidos contra el barniz comercial *Sayer Lack*-poliuretano.

#### 4.3.1 Caracterización de la densidad

En la *Figura 30* se exhibe la densidad alcanzada por los barnices generados, llegando hasta  $1.202 \text{ g/cm}^3$  valor que fácilmente sobrepasaba la densidad buscada del barniz comercial *Sayer Lack* que es de  $0.98 \text{ g/cm}^3$ . La elección de las mejores disoluciones fueron los que se identificaron con las claves 1AE25 y 7AB25 y que se acercaron más a  $1 \text{ gr/cm}^3$ . Se descartó a los recubrimientos con densidad superior a  $1 \text{ g/cm}^3$  porque en el procedimiento al diluir el material EPS a temperaturas de  $50^\circ\text{C}$  puede representar un peligro de inflamabilidad, además de que los vapores destilados son irritantes (Sánchez, Téllez & Martínez, 2013).

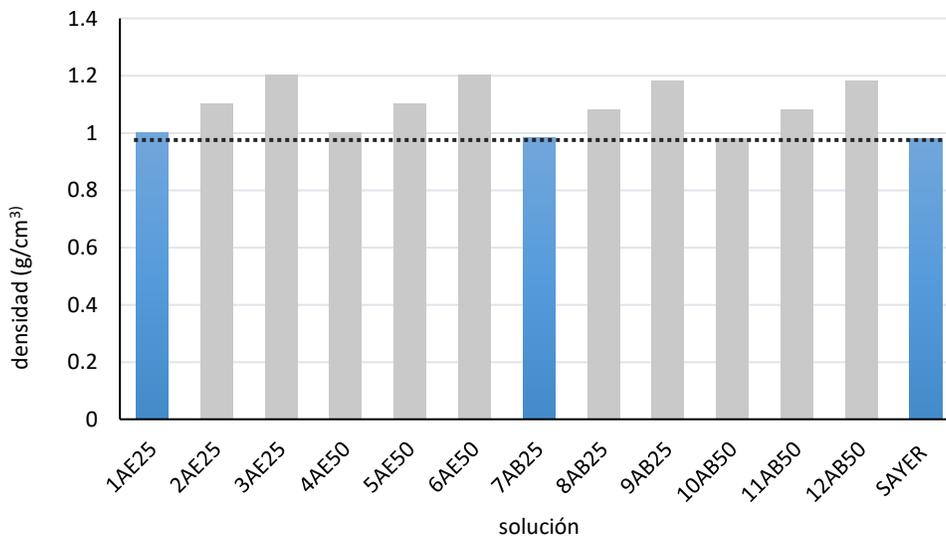


Figura 29. Gráfica que muestra las diferentes densidades obtenidas de los 12 tratamientos y su comparación con el Sayer Lack.

#### 4.3.2 Caracterización de viscosidad

Otro valor analizado es la viscosidad, este parámetro fue evaluado con datos que se pueden observar en la *Figura 31*. El tiempo de viscosidad del barniz comercial con el que se compararon las mezclas es de 41 segundos, dado que en el experimento se obtuvieron resultados variados se eligió el más próximo a los valores del barniz comercial y descartando las mezclas realizadas a 50° C para prevenir intoxicación por vapor, es decir, el tratamiento 7AB25 con 59 segundos.

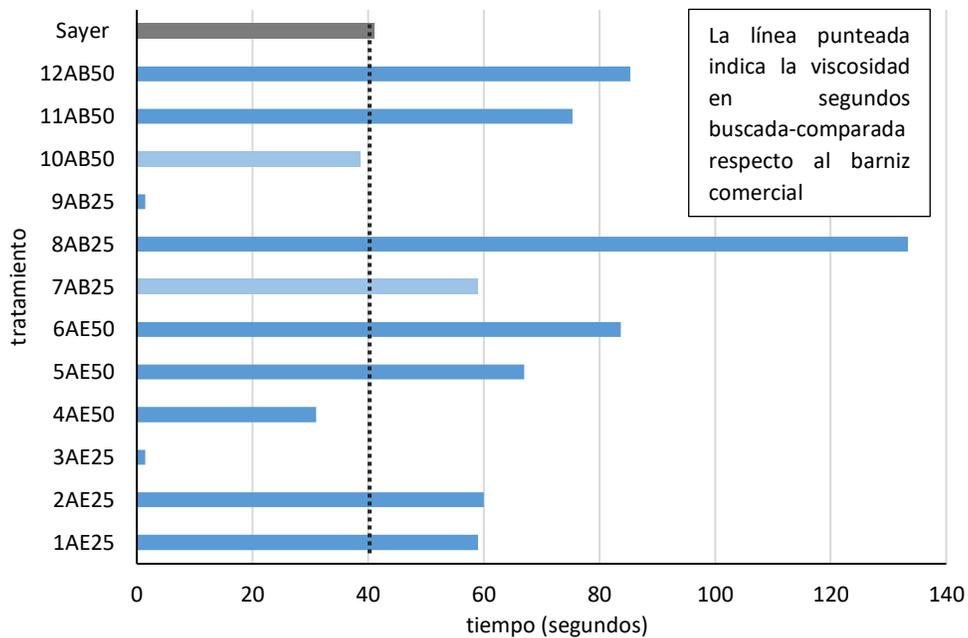


Figura 30. Gráfica que compara los tiempos de viscosidad de los diferentes tratamientos.

Los valores de 1.5 segundos de viscosidad en los recubrimientos, indican que las viscosidades eran tan altas que no fue posible medirlas mediante el método elegido. Estos valores superaron por mucho al tratamiento más denso observable en la gráfica anterior.

La viscosidad obtenida en el recubrimiento mediante la fórmula de Hagen-Poiseuille indicaron que el barniz comercial se encontró en 0.057810 poise (ver Figura 32). En esta evaluación se elige al tratamiento 7AB25 como el más próximo a la viscosidad del barniz comercial.

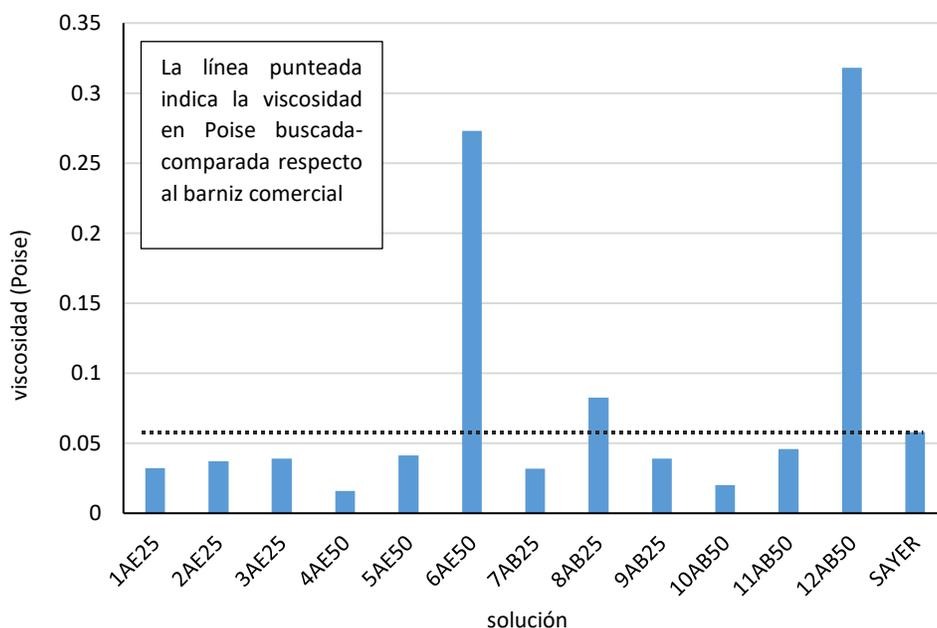


Figura 31. Viscosidad obtenida por tratamiento.

#### 4.4 Elección de mezcla.

Se definió como tratamiento el que más se acercaba a los parámetros predefinidos y que su valor esté sobre la media del barniz en comparación, para ello se tomó como base las gráficas de los apartados de caracterización de viscosidad y densidad. Se obtuvo finalmente al recubrimiento con la clave 7A25 con un valor de tiempo de viscosidad de 59 segundos y una densidad próxima a 1 gr/cm<sup>3</sup>.

#### 4.5 Aplicación.

En la *Tabla 19* se muestra la técnica de aplicación para barniz comercial y el recubrimiento creado y se caracterizó la facilidad con la que se desarrolló.

Tabla 15. Estado de aplicación por técnica

Técnica / recubrimiento	Barniz comercial	Recubrimiento generado
Brocha	Fácil	Fácil

Aspersor	Moderado	moderado
Inmersión	Difícil	Difícil

#### 4.6 Evaluación de indicadores.

En este inciso se desarrollaron los conceptos de las características con las cuales se evaluará la resistencia de los recubrimientos aplicados para su comparación. Dentro de estos se encuentran la dureza y el grosor del conjunto, así como también de manera visual el amarillamiento, agrietamiento y descamación.

##### 4.6.1 Brillo.

El brillo es un requisito para los recubrimientos que quieran reflejar la luz que incide en la superficie, de lo contrario se utilizan resinas con superficie en acabado mate. El brillo del recubrimiento sobre una madera está relacionado con la tensión superficial. La disminución de los valores de tensión superficial de un material está también relacionada con los fenómenos de ensuciamiento, éste se produce por la reacción entre los componentes superficiales y los compuestos químicos que lo producen (Rodríguez & García, 2009).

La diferencia de madera no tuvo relación con el brillo instantáneo después de la aplicación del acabado y en todas las aplicaciones el recubrimiento más opaco fue el generado con EPS. El efecto anterior se presentó en todas las comparaciones de los tratamientos, siendo más evidente el presentado en la *Figura 32*, se muestra el brillo en los tratamientos CB-T y MB-B, donde el segundo muestra una superficie más lisa que su contrario.



*Figura 32.* Comparación del brillo de dos maderas de cedro con barniz comercial y recubrimiento creado.

#### 4.6.2 Dureza.

Cuando la dureza es evaluada en un material que se encuentra sobre otro en forma de película refleja una relación proporcional a la fragilidad. Esto quiere decir que a mayor dureza de un material película su fragilidad también aumentará. En la *Figura 34* de los datos obtenidos se demuestra que el barniz comercial se agrupa en dos conjuntos en la semana uno de intemperismo, homogenizándose hacia la semana tres y concentrándose en un rango óptimo de dureza. La evaporación progresiva del disolvente da lugar a la formación de una película uniforme, bien adherida a la superficie pictórica, cuyo espesor depende de la densidad de la disolución, de los componentes de ésta y del número de aplicaciones (Calderón, 2009).

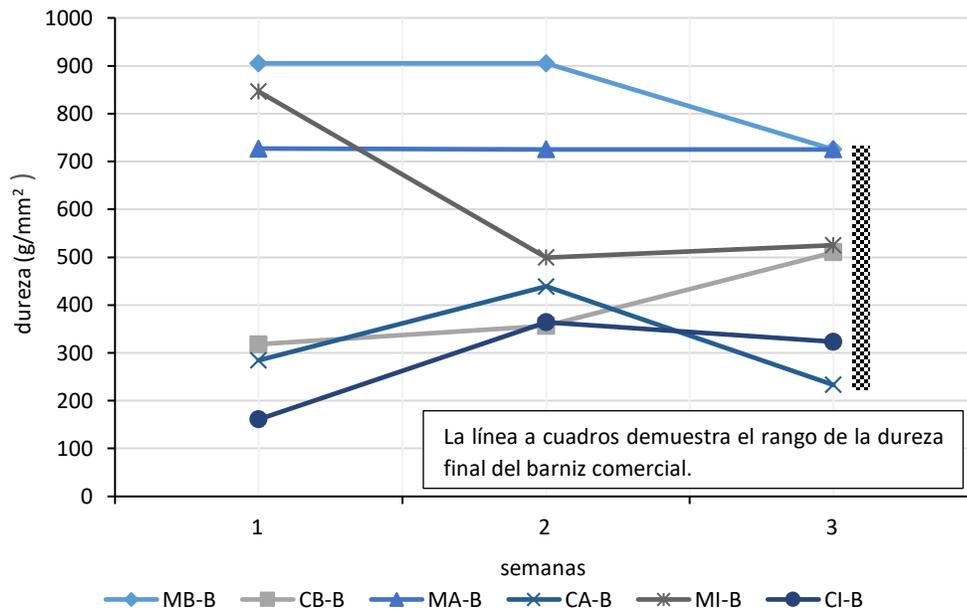


Figura 33 Gráfica de la dureza de película de barniz comercial ante intemperismo.

Realizando un análisis del efecto anterior, en la primera semana los resultados arrojaron mayor dureza para los tres tratamientos en madera de melina. Su explicación tiene origen en la característica de dureza de la madera, es decir, la mayor dureza se presentó en la madera considerada como medianamente dura. Las durezas de todos los tratamientos con barniz comercial se posicionaron entre 200 y 700 gr/mm<sup>2</sup>. El recubrimiento de barniz mediante el método de atomizador en cedro (C2A-B) se cristalizó hacia la última semana, he ahí la disminución de su dureza, no así para el tratamiento M2A-B que se mantuvo constante.

Para el caso de los tratamientos con recubrimiento generado, cuatro de los seis tratamientos mostraron un incremento en la dureza hacia la segunda semana de intemperismo, sin embargo, este se redujo hasta casi el valor inicial hacia la tercera semana lo que demuestra que el barniz tiende a cristalizarse pasado los 15 días. Esto se puede ver en la *Figura 35* en la cual se han representado los tratamientos de barniz generado.

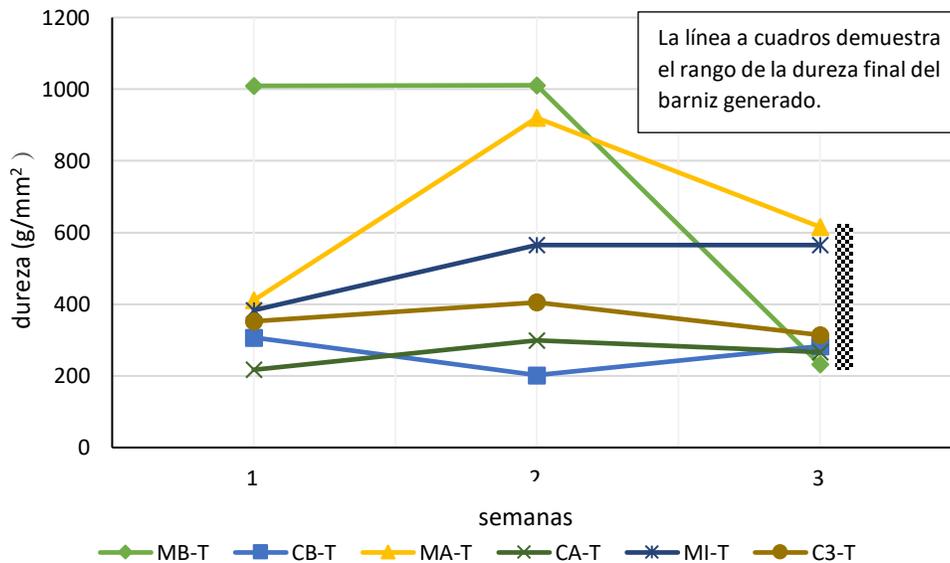


Figura 34. Gráfica de la dureza del tratamiento del barniz generado.

El tratamiento que demostró mejores resultados de dureza (MA-T) fue el aplicado en madera de melina mediante atomizador, y aunque su dureza disminuyó este se posicionó sobre la media del barniz comercial (550 gr/mm<sup>2</sup>) con 600 gr/mm<sup>2</sup>.

Existe un rango de dureza para los tratamientos con recubrimiento generado, este oscila entre 210 y 600 gr/mm<sup>2</sup>, donde el 66.66% de ellos se encuentra cercano al límite inferior establecido por el barniz comercial.

#### 4.6.3 Grosor.

La capa de los recubrimientos dependió de los contenidos sólidos estructurales del barniz. Las cargas, extendedores o fillers son, en general de naturaleza inorgánica, aportan cuerpo, materia sólida, y dan estructura, viscosidad y reología a la pintura, también proporcionan espesor de capa, opacidad, propiedades anticorrosivas, etc (Alonso, 2016). Los resultados recolectados dieron origen a la Figura 36 en donde se observa una clara tendencia de conservación del grosor de todas las películas

que recubrieron la madera, sin embargo, exceptuaron esta conclusión los tratamientos MI-T y en menor grado el CI-T, lo que indica que, para ambas maderas, regularmente dura y blanda, el tratamiento del barniz generado aplicado mediante la técnica de inmersión tenderá a cristalizarse al pasar la primera semana y a separarse de la superficie de la madera en puntos donde exista un corte de la aplicación del recubrimiento. Por lo tanto, estos tratamientos son descartados como posible método de aplicación.

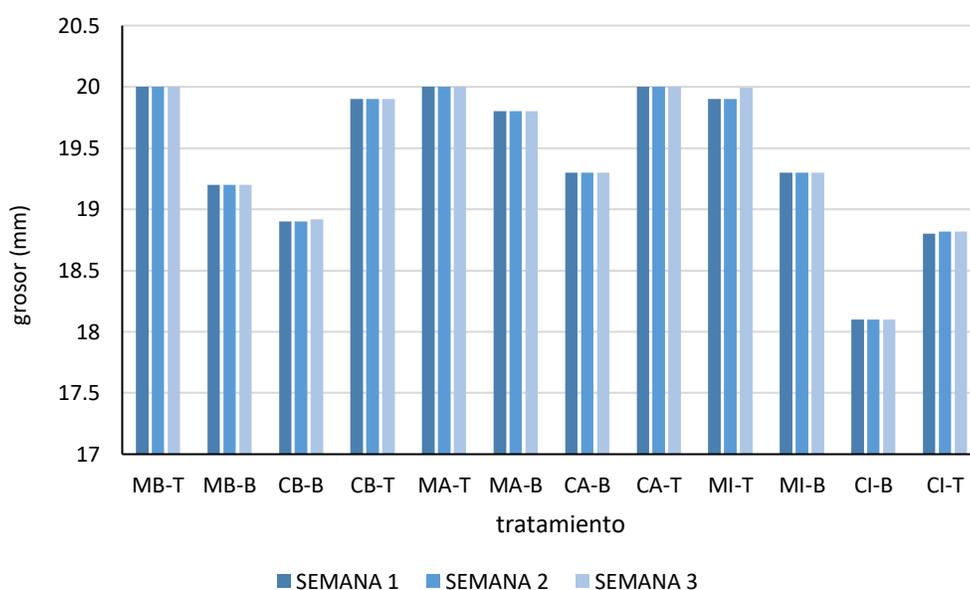


Figura 35. Gráfica del grosor de película-conjunto.

Visualmente también se verificó el grosor de la película para los casos más representativos los cuales son los tratamientos por inmersión. En ellos se observó que el barniz comercial mantenía el grosor y que en el recubrimiento generado existió una disminución de la capa a partir del tiempo de aplicación al tiempo de secado, este cambio se debió a que no contiene en sus componentes ningún aditivo que mantenga su estructura molecular. En la *Figura 37* se muestra la disminución del barniz generado en el tiempo de secado, a su izquierda el grosor de película mantenido del barniz comercial.



*Figura 36.* Contraste del barniz comercial Sayer Lack (izquierda) y el barniz generado EPS (derecha) en la conservación del grosor de la película aplicada al momento de secado.

#### 4.6.4 Amarillamiento

Por las características conocidas del EPS se sabe que una vez disuelto y seco adquiere alta dureza que aumenta con el tiempo y con ello la fragilidad, lo anterior que se traduce como una micro separación entre la madera y el barniz o el agrietado según sea el caso. La fuerza de adherencia entre un barniz y un material se debe a varios factores, pero fundamentalmente a la diferencia de tensiones superficiales, los tratamientos superficiales protectores (barnices) buscan igualar las tensiones superficiales entre el material base y el barniz utilizado (Rodríguez & García, 2009). En la *Figura 38* se representan gráficamente los valores de las observaciones de amarillamiento de los tratamientos por semana. El cien por ciento de los tratamientos a base de EPS mostraron algún signo de amarillamiento, como blanqueamiento u opacidad. El blanqueamiento de los tratamientos plásticos se debe generalmente a dos factores, el primero es al amarillamiento u opacidad de la película generado por la degradación fotoquímica por efecto de la radiación ultravioleta y el segundo es por la separación de la película de la superficie a la que originalmente se encontraba unida.

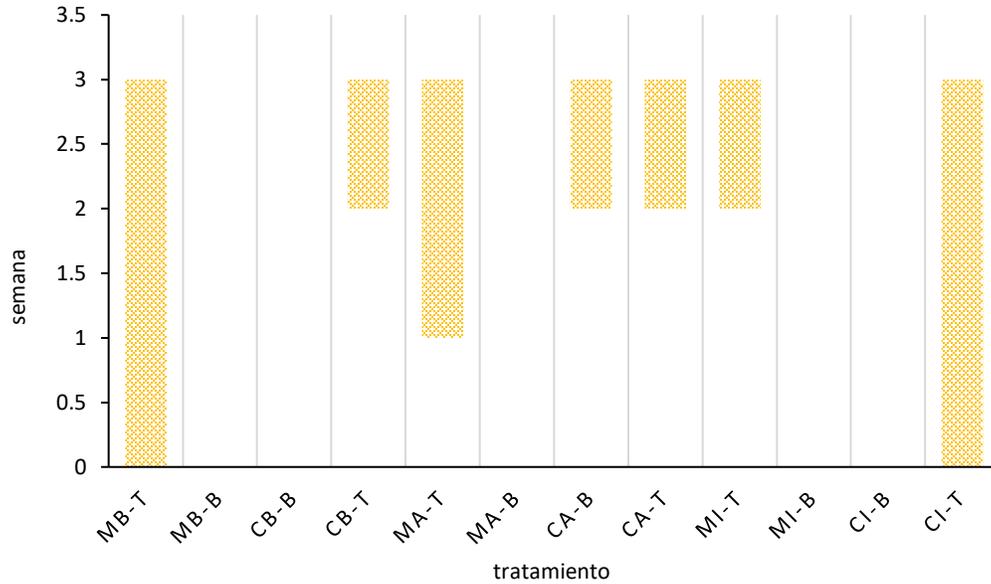


Figura 37. Gráfica que representa los daños por semana ocasionados por intemperismo en la madera.

#### 4.6.5 Agrietamiento

El agrietamiento es consecuencia de la cristalización, quebrantamiento y separación de la película protectora cuando esta se mantiene fija a la superficie aplicada. De los 5 tratamientos que mostraron agrietamiento (ver Figura 39) solo uno perteneció al barniz comercial (CA-B). Los barnices basados en poliuretanos, igualan tensiones superficiales entre la base y el barniz (Rodríguez & García, 2009).

Los tratamientos con recubrimiento generado en los métodos de atomización y brocha presentaron particularidad de agrietarse, ya sea en madera de cedro o melina.

Un análisis más identificó a la madera de cedro como una madera con mayor capacidad de sufrir el intemperismo. Flores et al. (1996) & Tamarit et al. (1998) indican que este comportamiento puede ser atribuido al hecho de que las maderas de textura fina y baja densidad, tienen una mayor estabilidad dimensional y sus elementos constitutivos se encuentran ordenados homogéneamente, además de que poseen mayor porcentaje de espacios vacíos y en consecuencia una menor

proporción de pared celular, lo anterior permite una mejor preparación de la superficie sobre la que se aplicará el acabado, dejándola más tersa y uniforme.

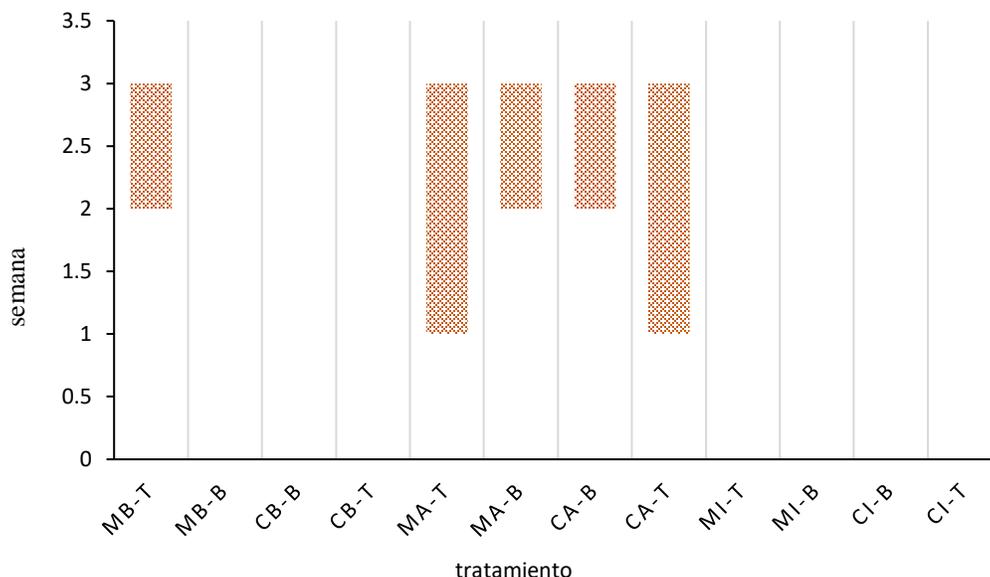


Figura 38. Gráfica de verificación visual de agrietamiento por semana.

#### 4.6.6 Descamación

La descamación de una película protectora implica que existe un daño permanente y total a la cubierta y que además la madera ya presentaría graves indicios de degradación, principalmente la pérdida de color, el aumento de la superficie áspera o el agrietado. El único tratamiento que mostró esos signos de daño fue el aplicado a madera blanda mediante el método con aspersión y el recubrimiento creado (ver *Figura 40*). Los cambios en el contenido de humedad de la madera le ocasionan hinchamiento y contracción lo que le provoca esfuerzos en su superficie (Flores *et al.*, 2001).

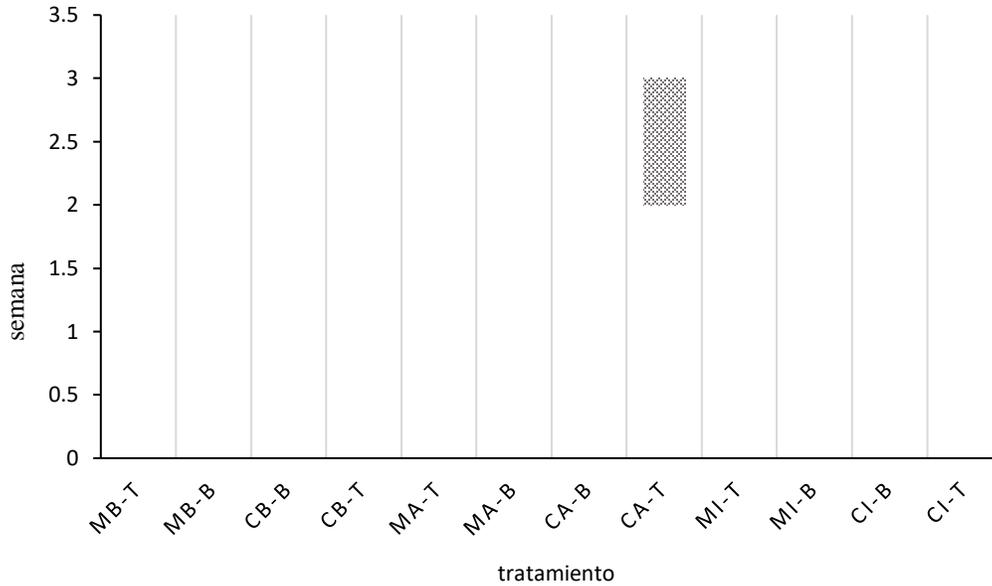


Figura 39. Gráfica de verificación visual del grado de descamación por semana.

Los tratamientos más significativos con el recubrimiento creado se muestran en la siguiente imagen en la cual se observa el daño causado en la madera, de izquierda a derecha, en las dos primeras se observa el blanqueamiento por daño fotoquímico y en la última, además por separación de película. Los efectos observados concuerdan con lo dicho por Flores *et al.* (2001); la humedad en combinación con la luz solar ocasiona grietas y rajaduras macroscópicas y microscópicas intercelulares e intracelulares.



*Figura 40.* Tratamientos significativos del blanqueamiento de la película protectora generada, MB-T y CI-T.

Ya que existe una relación entre el tratamiento de aplicación del recubrimiento EPS y el nivel de degradación física se conjetura que a un menor grosor de película existirá un menor blanqueamiento y desprendimiento dentro de las primeras tres semanas de intemperismo, así como también un cuarteamiento y descamación. En la *Figura 42* se puede observar el cuarteamiento de la película del tratamiento MA-T que tiene propiedades de baja dureza, pero alto grado de degradación.



*Figura 41.* Cuarteamiento del tratamiento MA-T a las tres semanas de intemperismo.

## CONCLUSIONES GENERALES

A partir de los resultados observados se concluye que el recubrimiento de madera con barniz generado a base de EPS con las características de viscosidad y densidad iguales que el barniz comercial Sayer Lack Barniz poliuretano T-00289/A se comporta de manera inferior en las cualidades de resistencia ante intemperismo extremo en un clima de la región de Misantla, Ver. Por otra parte, su posible aplicación mediante un aspersor sobre madera moderadamente dura de melina proyectaría mejores resultados debido al menor índice de blanqueamiento, cristalización y desprendimiento, en comparación con su aplicación a madera blanda de cedro o por las técnicas de brocha e inmersión donde se observaron resultados con alto grado de degradación estructural que se reflejaba en el blanqueamiento de la película y que afecta la estética del producto.

Por lo anterior, no se propone tratar a la madera mediante el barniz generado a partir de residuos de poliestireno expandido ya que el intemperismo ocasiona daños severos en su estructura dándole una apariencia al producto de mala calidad.

Es posible mejorar el recubrimiento creado mediante la aplicación de algún aditivo que sea capaz de conservar la estructura interna del recubrimiento y la mantenga su integridad frente a la degradación fotoquímica y demás factores del intemperismo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acurio, G., Rossin, A., Teixeira, P. F., & Zepeda, F. (1997). Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. Inter-American Development Bank.
- AIMSA. (2015). Aislantes Industriales de Monterrey. Reciclado de EPS. Obtenido de: <https://www.aimsa.com/reciclado-de-eps.html>
- Alvarez, R. Adrian, Cruz R. L. Joshep, Mendoza G. M. Geovani & Moran H. A. Enrrique. (2009, Noviembre, 16). Poliestireno expandido [EPS] (Unicel). [ciencia de los materiales]. Facultad de Ciencias de la Electrónica. Recuperado de: [www.ifuap.buap.mx/~lilia/UNICEL.pdf](http://www.ifuap.buap.mx/~lilia/UNICEL.pdf)
- Alonso Felipe, J. V. (2016). Pinturas, barnices y afines: composición, formulación y caracterización.
- ANAPE. (2002). ANAPE, Asociación nacional de Poliestireno expandido. Obtenido de: <http://www.anape.es/pdf/ficha73.pdf>
- ANAPE. (2010). El Poliestireno expandido y el Medio Ambiente. [Presentación de Paper Port]. Asociación Nacional de Poliestireno expandido. Obtenido de: <http://www.anape.es/pdf/El%20EPS%20en%20el%20Medioambiente.pdf?publicacion=El%20Poliestireno%20Expandido%20y%20el%20Medioambiente>
- Arandes, J. M., Bilbao, J., & Valerio, D. L. (2004). Reciclado de residuos plásticos. Revista Iberoamericana de Polímeros, 5(1), 28-45.
- Axilrod, B. M., & Koenig, E. (1945). Properties of Some Expanded Plastics and Other Low-density Materials.
- Baydas G, Reiter RJ, Nedzvetskii VS, Yasar A, Tuzcu M, Ozveren F, Canatan H. (2003). Melatonin protects the central nervous system of rats against toluene-containing thinner intoxication by reducing reactive gliosis. Toxicol Lett. 137. 169-174.,
- Blanchette, R. A., Nilsson, T., Daniel, G., & Abad, A. (1990). Biological degradation of wood.
- Calderón, M. L. S. (2009). Los barnices, capa de protección. Significado y composición: resinas, oleoresinas y bálsamos. Revista de Claseshistoria, (6), 7.
- Castillo Morales, M. I., & Erdoiza Sordo, J. J. (1995). Acabados para madera en exteriores. Madera y Bosques, 1(2).

- Cempre. (1998). CEMPRE Uruguay, Compromiso Empresarial para el Reciclaje. Residuos Sólidos Urbanos, Manual de gestión Integral. Obtenido de: [http://www.cempre.org.uy/docs/manual\\_girsu/capitulo\\_1\\_y\\_capitulo\\_2.pdf](http://www.cempre.org.uy/docs/manual_girsu/capitulo_1_y_capitulo_2.pdf)
- Chávez-Sifontes, M., & Domine, M. E. (2013). Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Avances en ciencias e Ingeniería*, 4(4).
- Clapp RW, Howe GK, Jacobs MM. (2007). Environmental and occupational causes of cancer: A call to act on what we know. *Biomed Pharmacother.*;61:631-639.
- Daly LE, Bourke GJ. (2000). *Interpretation and uses of medical statistics*. 5th ed.. Oxford: Blackwell science;
- Díaz, F. (1996). Los residuos peligrosos en México. *Evaluación del riesgo para la salud. Salud pública de México*, 38(4).
- Donde Reciclo. (2015). dondereciclo.org-Blog. ¿Y el telgopor? ¡Reciclar poliestireno es posible!. Obtenido de: <https://www.dondereciclo.org.ar/blog/reciclar-poliestireno/>
- Donde Reciclo. (2015). ¿Y el telgopor? ¡Reciclar poliestireno es posible! Dondereciclo.org. Tomado de: <https://www.dondereciclo.org.ar/blog/reciclar-poliestireno/>.
- EcoPLas. (2011). Poliestireno, Características y Ventajas Respecto al Medio Ambiente. *Boletín Técnico Informativo N° 38 CIT*.
- Erick, R. U. Determinación de los principales componentes de la biomasa lignocelulósica; celulosa, hemicelulosa y lignina de la paja de trigo para su posterior pretratamiento biológico.
- Ernesto, A. L. (2013). *Evaluación Técnica de Alternativas de Reciclaje de Poliestireno Expandido (EPS)*. Salvador.
- Estruplan, (2005). *Tratamientos, Reciclado de Plásticos*. Estruplan On Line. Tomado de: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=1065>
- Feist, W. C. (1979). Protection of Wood Surfaces with Chromium Trioxide (No. FSRP-FPL-339). Forest products lab madison wis.
- Feist, W. C. (1994). Weathering performance of finished aspen siding. *Forest products journal*, 44(6), 15.

- Feist, W. C., Rowell, R. M., & Ellis, W. D. (2007). Moisture sorption and accelerated weathering of acetylated and methacrylated aspen. *Wood and Fiber Science*, 23(1), 128-136.
- Feist, W.C.; Hon, D.N.S. (1984). Chemistry of Weathering and Protection. In: Rowell, RM (ed.) *The Chemistry of Solid Wood*, Advances in Chemistry Series No. 207, Chapter 11, pp. 401–451. American Chemical Society, Washington, USA
- FLORES V., R., A. Borja De La R. & J. A. Honorato S. (1996). Retención y grosor de película de barniz poliuretano base agua y base solvente en la madera de *Pinus montezumae* y *Quercus sideroxyla*. In: Libro de Resúmenes. I Congreso Mexicano de Tecnología de Productos Forestales. Xalapa, Ver. 13-16 de noviembre de 1996. p 48.
- Fujimoto Edgar. El unicel y la contaminación de los alimentos por calentamiento en hornos de microondas. 2010.
- García, M. T., Duque, G., Gracia, I., de Lucas, A., & Rodríguez, J. F. (2009). Recycling extruded polystyrene by dissolution with suitable solvents. *Journal of material cycles and waste management*, 11(1), 2-5.
- Garfias, J., & Ayala, L. B. W. (1995). Residuos peligrosos en México. Instituto Nacional de Ecología.
- González Madariaga, F. J., & Macia, J. L. (2008). EPS (expanded poliestyrene) recycled bends mixed with plaster or stucco, some applications in building industry. *Informes de la Construcción*, 60(509), 35-43.
- Goss, J. A. (2013). *Physiology of Plants and Their Cells: Pergamon Biological Sciences Series (Vol. 1)*. Elsevier.
- Grajales Ulises (2014). AZTECA 13-Hechos Meridiano. Zona Verde-Reciclaje del unicel en México.
- Grajales Ulises. DartContainerCorp. 2014. Azteca 13- Hechos Meridiano-Zona Verde – Reciclaje del unicel en México. [Web]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=ZO2RJvd9oNM>
- Gutiérrez Avedoy, V. J., & Ramírez Hernández, I. F. (2012). *Diagnostico Básico Para la Gestión Integral de los Residuos, Versión Extensa*.
- Hocking, Martin B. (1991). Paper Versus Polystyrene: A Complex Choice. *Policy Forum* (504-505) vol, Science. Obtenido de: <http://infohouse.p2ric.org/ref/25/24468.pdf>
- Hoyos LS, Carvajal S, Cajas N, Ruíz M, Sánchez A. (2009). Chromosome aberrations in workers exposed to organic solvents: Influence of

polymorphisms in xenobiotic-metabolism and DNA repair genes. *Mutat Res.*;666(1-2):8-15.,

Humberto, Q. P. (2013). Reciclaje termo - mecánico del poliestireno expandido (Icopor), como una estrategia de mitigación de su impacto ambiental en rellenos sanitarios. Universidad de Manizales, 23.

Jiménez, N. (2015). La gestión integral de residuos sólidos urbanos en México: entre la intención y la realidad. *Letras Verdes*, (17), 29-56.)

Jerald, E. (1994). Wood properties. Ed. *Encyclopedia of Agricultural Science*. Orlando, FL: Academic Press: 594-561. Vol. 4

Lara, A., Aracely, E., & Velásquez Martell, F. E. (2013). Evaluación técnica de alternativas de reciclaje de poliestireno expandido (EPS). Doctoral dissertation, Universidad de El Salvador.

Ley de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial para el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. LGEPEGIR. (2004). Veracruz de Ignacio de la Llave, México. Gaceta Oficial. Recuperado de: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Veracruz/wo77544.pdf>

Ley de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial para el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. LGEPEGIR. (2015) Art. 19, Título tercero, Clasificación de los Residuos. Veracruz de Ignacio de la Llave, México. Gaceta Oficial.

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. LGPGIR. (19 enero 2018) Art. 5. fracción XXXII Definición de conceptos. Diario Oficial de la Federación. Obtenido de: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgpgir.htm>

Lumaquin, SA. (18 de Julio de 2012). LUMAQUIN. Obtenido de [http://www.lumaquin.com/productos/pdf/DUROMETRO\\_DE\\_LAPIZ\\_BY\\_K.pdf](http://www.lumaquin.com/productos/pdf/DUROMETRO_DE_LAPIZ_BY_K.pdf)

Manea, D. L., Aciu, C., & Netea, A. G. (2011). *Materiale de construcții (Building Materials)*.

Manual General ICO-Pinturas COVAL. (2015) Obtenido de [https://www.coval.com.co/pdfs/manuales/man\\_icopinturas.pdf](https://www.coval.com.co/pdfs/manuales/man_icopinturas.pdf) p.14

Marínez López Crystell & Laines Canepa Ramón. (2001) Poliestireno Expandido (EPS) y su problemática ambiental. CUXULCAB´ División de ciencias biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.) *XIX* (36).p 63-65.

- Martín, J. M. D. (2014). La utilización del poliestireno expandido en obras de geotécnica (Doctoral dissertation, Universidad de Sevilla).
- Molina Cerón, F., Hermosillo Ortiz, M., & Flores Vázquez, K. P. (2016). Degradación de Polímeros con *Tenebrio Molitor*.
- Neto, J. O. A., & de Souza Bueno, B. Ensaio de absorção de água em blocos de eps para o uso geotécnico.
- Neufert, E. (1970), "Manual Del Styropor", Editorial Herder S.A, Barcelona
- Oficial, G. (2004). Ley de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial para el Estado de Veracruz de Ignacio de La Llave. Órgano del Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, 28.
- Oficial. (2017). Programa para la Prevención y Gestión Integral de Residuos. SEMARNAT. [gob.mx. obtenido de: https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/programa-para-la-prevencion-y-gestion-integral-de-residuos](https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/programa-para-la-prevencion-y-gestion-integral-de-residuos)
- Pinchuk, L. (1995). A review of the biostability and carcinogenicity of polyurethanes in medicine and the new generation of 'biostable' polyurethanes. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 6(3), 225-267.
- Poletto, M., Dettenborn, J., Zeni, M., & Zattera, A. J. (2011). Characterization of composites based on expanded polystyrene wastes and wood flour. *Waste Management*, 31(4), 779-784.
- Quintana, H. A. R., Rincón, E. R., & Anselmi, L. Á. M. (2007). Resistencia mecánica evaluada en el ensayo Marshall de mezclas densas en caliente elaboradas con asfaltos modificados con desechos de policloruro de vinilo (PVC), polietileno de alta densidad (PEAD) y poliestireno (PS). *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 6(11), 91-104.
- Quintero Peña, C. H. (2013). Reciclaje termo-mecánico del poliestireno expandido (Icopor), como una estrategia de mitigación de su impacto ambiental en rellenos sanitarios.
- Rani, M., Shim, W. J., Jang, M., Han, G. M., & Hong, S. H. (2017). Releasing of hexabromocyclododecanes from expanded polystyrenes in seawater-field and laboratory experiments. *Chemosphere*, 185, 798-805.
- Requejo Leal, S. (2011). Degradación química de madera y PET reciclado y su aplicación en la síntesis de resinas poliéster. Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Rodriguez Arroyo M. A. (2012). Materiales y Procesos Industriales, Plásticos; Materiales Termoplásticos, Polietileno. Presentación de Power Point.

12696088. SlideShare. Obtenido de:  
<https://es.slideshare.net/miguelangelrdz/polietileno-12696088>

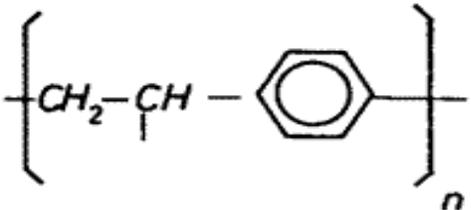
- Rodriguez Rodriguez, A., & García Santos, A. (2009). Tipificación, caracterización y análisis-descomposición cromático de barnices incoloros, aplicados a maderas de construcción.
- Rowell, R. M., Feist, W. C., & Ellis, W. D. (1981). Weathering of chemically modified southern pine [Polymer lumen fill treatments]. *Wood Science*.
- Sánchez, L. F., Téllez, M. D. L. L. S., & Martínez, L. H. (2013). Uso de indicadores verdes para evaluar cuán limpio es un proceso en su síntesis tradicional vs la síntesis triboquímica y en microescala. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 4(2), 79-90.
- Save The Bay. (04 de febrero de 2011). Clean Bay Project, Model Program Action. Obtenido de:  
[https://www.savesfbay.org/sites/default/files/CleanBayProjectCaseStudy\\_Styro\\_FINALwAttachments\\_2-1-11.pdf](https://www.savesfbay.org/sites/default/files/CleanBayProjectCaseStudy_Styro_FINALwAttachments_2-1-11.pdf)
- Schejtman, L., & Irurita, N. (2012). Diagnóstico sobre la gestión de los residuos sólidos urbanos en municipios de la Argentina. Documento de Trabajo, (103).
- Sekharan, R. V., Abraham, B. T., & Thachil, E. T. (2012). Utilization of waste expanded polystyrene: Blends with silica-filled natural rubber. *Materials & Design*, 40, 221-228.
- Sell, J., & Feist, W. C. (1986). US and European finishes for weather-exposed wood-a comparison. *Forest products journal*, 36(4), 37-41.
- Semarnat, (13 de noviembre de 2015) gob.mx. ¡La basura en su lugar!. Reciclar. Obtenido de: <https://www.gob.mx/residuos-solidos/articulos/reciclar>
- Sustainable Forestry for Bioenergy & Bio-based Products (2007). Obtenido de <http://learn.forestbioenergy.net/> , fecha de acceso: Mayo, 2013
- Tamarit Urias, J. C., Borja de la Rosa, A., Flores Velázquez, R., & Corona Ambríz, A. (2002). Vida útil de dos barnices para exteriores mediante intemperismo artificial en madera de aile, pino y encino. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 8(1).
- Universidad del Sur de Mississippi. (1996). Polystyrene. Departamento de Ciencia de Polímeros. Obtenido de: [psle.ws/spanish/styrene.htm](http://psle.ws/spanish/styrene.htm)
- Urrea Restrepo, A. (2009). Diseño de un sistema de descanso a partir del reproceso del poliestireno expandido industrial desechado (Bachelor's thesis, Ingeniería de Diseño de Producto).

Wagner, M., Scherer, C., Alvarez-Muñoz, D., Brennholt, N., Bourrain, X., Buchinger, S. & Rodriguez-Mozaz, S. (2014). Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. *Environmental Sciences Europe*, 26(1), 12.

Wayne, F. (2015). Microbeads. Obtenido de: <https://ferrebeekeeper.wordpress.com/tag/microscopic/>

Yilmaz B, Canpolat S, Sandal S, Akpolat N, Kutlu S, Ilhan N, Kelestimur H. (2006). Paint thinner exposure inhibits testosterone synthesis and secretion in a reversible manner in the rat. *Reprod Toxicol*; 22:791-796

**ANEXOS**  
**FICHA TÉCNICA DEL POLIESTIRENO**

<b>FICHA TÉCNICA POLÍMERO BASE</b>	
<b>POLIESTIRENO</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>	
<p><b>Formulación:</b> Poliestireno PS</p> <p><b>Clase:</b> Termoplástico de adición</p> <p><b>Aspecto de la granza:</b> Filamentos, gránulos opacos, perlas transparentes, resina amorfa dura y transparente.</p> <p><b>Homopolímeros:</b> Poliestireno estándar. Poliestireno expandido</p> <p><b>Copolímeros y terpolímeros:</b> Estireno/butadieno (SB). Estireno/acrilonitrilo (SAN). Estireno/metacrilato metilo (SMM). Estireno/acrilonitrilo/butadieno (ABS). Estireno/butadieno/metacrilato de metilo (MBS).</p>	
<b>ADITIVOS</b>	
<p><b>Estabilizantes y antioxidantes:</b> No contiene (Sin embargo, con la degradación aumenta la fotosensibilidad).</p> <p><b>Plastificantes:</b> Bajo contenido en ftalato de butilo.</p> <p><b>Lubricantes:</b> Bajo contenido en estearato de zinc y magnesio.</p> <p><b>Cargas:</b> Caolín, negro de humo.</p> <p><b>Colorantes y pigmentos:</b> Óxidos de titanio, hierro, cromo y manganeso, sulfuro de cadmio, complejo nitrogenado de níquel, ftalocianinas.</p> <p><b>Aditivos antiestáticos:</b> Aminas, alcoholes, sales de amonio cuaternario.</p> <p><b>Agentes de expansión:</b> Iniciadores de desprendimiento de gases (pentadieno, hidrocarburos ligeros, nitrógeno) y vapor de agua.</p>	
<b>PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN Y SUS TEMPERATURAS</b>	
<b>Proceso</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
Moldeo por inyección	250-300
Moldeo por compresión	180-200
Extrusión	170-190

## DATOS DE DEGRADACIÓN TÉRMICA

**Temperatura degradación:** 200 - 220°C (Funde antes de descomponerse).

**Características humos y vapores emitidos:** Humos y vapores incoloros. Nieblas ácidas.

**Productos degradación emitidos:**

**Principales:**

**Secundarios:**

Dióxido de carbono

Tolueno

Oligómeros (dímero, trímero, tetramero)

Etil benceno, Xilenos

Estireno (monómero base)

Benceno  
Hidrocarburos alifáticos ligeros

Etileno

Aldehídos (benzaldehído)

Acetileno

Monóxido de carbono

Amoníaco (aditivo)  
Metanol

**Características residuos degradación:** Aspecto y composición: Pasta resinosa viscosa y amarillenta.  
Porcentaje ponderal: 50  
No contiene cenizas.

## DATOS COMBUSTIÓN A CORTO TÉRMINO

**Parámetro LOI:** 16-18

**Temperatura ignición:** 290°C (aunque es producto fácilmente inflamable).

**Productos de combustión:** Dióxido de carbono, hidrocarburos alifáticos y aromáticos, monóxido de carbono, amoníaco (aditivo), óxidos de nitrógeno (aditivo)

## TOXICIDAD PRODUCTOS EMITIDOS

Producto	Acción sobre el organismo
Dióxido de carbono y amoníaco	Asfixiantes
Hidrocarburos aromáticos (estireno, tolueno, etilbenceno, xilenos y benzaldehído)	Narcóticos
Oligómeros	Productos inestables de acción narcótica
Etileno, acetileno, metanol, hidrocarburos alifáticos ligeros	Narcóticos y anestésicos
Benceno y monóxido de carbono	Muy tóxicos

# FICHA TÉCNICA DE ACETATO DE ETILO

**ACETATO DE ETILO**

ICSC: 0367



**ACETATO DE ETILO**  
 Acido acético, éster etílico  
 $C_4H_8O_2/CH_3COOC_2H_5$   
 Masa molecular: 88.1

Nº CAS 141-78-6  
 Nº RTECS AH5425000  
 Nº ICSC 0367  
 Nº NU 1173  
 Nº CE 607-022-00-5



TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	Altamente inflamable.	Evitar llama abierta, NO producir chispas y NO fumar.	AFFF, espuma resistente al alcohol, polvos, dióxido de carbono.
<b>EXPLOSION</b>	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosiones Evitar la generación de cargas electrostáticas (por ejemplo, mediante conexión a tierra). Utilícese herramientas manuales no generadoras de chispas.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones por pulverización con agua. Los bomberos deberían emplear indumentaria de protección completa, incluyendo equipo autónomo de respiración.
<b>EXPOSICION</b>			
<b>• INHALACION</b>	Tos, vértigo, somnolencia, dolor de cabeza, náusea, jadeo, dolor de garganta, pérdida de conocimiento, debilidad.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado y someter a atención médica. Respiración artificial si estuviera indicado.
<b>• PIEL</b>	Enrojecimiento, dolor.	Guantes protectores, traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y solicitar atención médica.
<b>• OJOS</b>	Enrojecimiento, dolor.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después consultar a un médico.
<b>• INGESTION</b>	Dolor abdominal, vértigo, náusea, dolor de garganta, debilidad.		Enjuagar la boca, dar a beber abundante agua y someter a atención médica.

DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Evacuar la zona de peligro. Recoger en la medida de lo posible el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a lugar seguro. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).	A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes, ácidos y bases. Mantener en lugar frío, seco. Almacenar herméticamente cerrado.	símbolo F símbolo Xi R: 11-36-66-67 S: (2-)16-26-33 Clasificación de Peligros NU: 3 Grupo de Envasado NU: II CE: <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; margin-top: 10px;">   </div>

**VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE**

# ACETATO DE ETILO

ICSC: 0367

<b>D A T O S  I M P O R T A N T E S</b>	<b>ESTADO FISICO; ASPECTO</b> Líquido incoloro, de olor característico.	<b>VIAS DE EXPOSICION</b> La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor.
	<b>PELIGROS FISICOS</b> El vapor es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante.	<b>RIESGO DE INHALACION</b> Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.
	<b>PELIGROS QUIMICOS</b> El calentamiento intenso puede originar combustión violenta o explosión. La sustancia se descompone bajo la influencia de luz UV, bases y ácidos. La solución en agua es un ácido débil. Reacciona con oxidantes fuertes, bases o ácidos. Ataca muchos metales en presencia de agua. Ataca los plásticos.	<b>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION</b> La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La sustancia puede tener efectos sobre el sistema nervioso. La exposición muy por encima del OEL puede producir la muerte. Se recomienda vigilancia médica.
	<b>LIMITES DE EXPOSICION</b> TLV: 400 ppm; 1400 mg/m <sup>3</sup> (ACGIH 1990-1991).	<b>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</b> El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.
<b>PROPIEDADES FISICAS</b>	Punto de ebullición: 77°C Punto de fusión: -84°C Densidad relativa (agua = 1): 0.9 Solubilidad en agua: Muy buena Presión de vapor, kPa a 20°C: 10	Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.0 Punto de inflamación: 7°C (o.c.)°C Temperatura de autoignición: 427°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 2.2-11.5 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 0.73
<b>DATOS AMBIENTALES</b>	Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; debería prestarse atención especial al agua.	
<b>NOTAS</b>		
El consumo de bebidas alcohólicas aumenta el efecto nocivo. Está indicado examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto a menudo hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son por ello imprescindibles. Nombres comerciales: Acetidin, Vinagar naphtha. Tarjeta de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-76		
Código NFPA: H 1; F 3; R 0;		
<b>INFORMACION ADICIONAL</b>		
FISQ: 1-003 ACETATO DE ETILO		
<b>ICSC: 0367</b>		<b>ACETATO DE ETILO</b>
© CCE, IPCS, 1994		
<b>NOTA LEGAL</b>  <b>IMPORTANTE:</b>	Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.6.95).	

FICHA TÉCNICA DE ACETATO DE BUTILO

ACETATO DE n-BUTILO

ICSC: 0399



Acido acético, éster n-butílico  
Butil etanoato  
 $C_6H_{12}O_2 / CH_3COO(CH_2)_3CH_3$   
Masa molecular: 116.2

Nº ICSC 0399  
Nº CAS 123-86-4  
Nº RTECS AF7350000  
Nº NU 1123  
Nº CE 607-025-00-1



TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	Inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	AFFF, espuma resistente al alcohol, polvo, dióxido de carbono.
<b>EXPLOSION</b>	Por encima de 22°C pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire.	Por encima de 22°C, sistema cerrado, ventilación y equipo eléctrico a prueba de explosión.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
<b>EXPOSICION</b>			
• <b>INHALACION</b>	Tos. Dolor de garganta. Vértigo. Dolor de cabeza.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica.
• <b>PIEL</b>	Piel seca.	Guantes protectores.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
• <b>OJOS</b>	Enrojecimiento. Dolor.	Gafas ajustadas de seguridad, o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
• <b>INGESTION</b>	Náuseas.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Proporcionar asistencia médica.

DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Ventilar. Eliminar toda fuente de ignición. Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos metálicos o de vidrio. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. (Protección personal complementaria: Filtro respiratorio para vapores orgánicos y gases.).	A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes, bases fuertes y ácidos fuertes. Mantener en lugar fresco.	NU (transporte): Ver pictogramas en cabecera. Clasificación de Peligros NU: 3 Grupo de Envasado NU: II CE: Nota: 6 R: 10-66-67 S: 2-25

VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE

ICSC: 0399

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2003

<b>D A T O S I M P O R T A N T E S</b>	<p><b>ESTADO FISICO: ASPECTO:</b> Líquido incoloro, de olor característico.</p> <p><b>PELIGROS FISICOS:</b> El vapor es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante.</p> <p><b>PELIGROS QUIMICOS:</b> Reacciona con oxidantes fuertes, ácidos fuertes, bases fuertes, originando peligro de incendio y explosión. Ataca plásticos y caucho.</p> <p><b>LIMITES DE EXPOSICION:</b> TLV: 150 ppm como TWA; 200 ppm como STEL; (ACGIH 2003). MAK: 100 ppm, 480 mg/m<sup>3</sup>; Categoría de limitación de pico: I(2); Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2003).</p>	<p><b>VIAS DE EXPOSICION:</b> La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor.</p> <p><b>RIESGO DE INHALACION:</b> Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante lentamente una concentración nociva en el aire.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION:</b> La sustancia irrita los ojos y el tracto respiratorio. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central. La exposición muy por encima del LEP podría causar disminución del estado de alerta.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA:</b> El líquido desengrasa la piel.</p>
<b>PROPIEDADES FISICAS</b>	<p>Punto de ebullición: 126°C Punto de fusión: -78°C Densidad relativa (agua = 1): 0.88 Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 0.7 Presión de vapor, kPa a 20°C: 1.2 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 4.0</p>	<p>Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.04 Punto de inflamación: 22°C c.c. Temperatura de autoignición: 420°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 1.2-7.6 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 1.82</p>
<b>DATOS AMBIENTALES</b>	La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.	
<b>NOTAS</b>		
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-30S1123-II Código NFPA: H 1; F 3; R 0;		
<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 FISQ: 2-001
<b>ICSC: 0399</b>		<b>ACETATO DE n-BUTILO</b>
© CE, IPCS, 2003		

<b>NOTA LEGAL IMPORTANTE:</b>	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.
-------------------------------	---

## Durómetro de Lápiz

## Dureza

### Durómetro de Lápiz (Wolf-Wilburn)

La finalidad de los ensayos de dureza al rayado es determinar la resistencia de los recubrimientos o barnices a los efectos del rayado sobre la superficie. Este ensayo es particularmente valioso para mobiliario o pinturas para la automoción, siendo también útil en el desarrollo de resinas sintéticas u otros recubrimientos.

Generalmente, la dureza al rayado se mide desplazando un objeto afilado bajo una presión dada sobre la superficie de ensayo. El resultado puede ser tanto el valor de la presión que se requiera para rayar el material de ensayo si se utiliza una herramienta de rayado de dureza constante, como la dureza de la herramienta de rayado varíe mientras se aplica una presión constante.

- Se utilizan 20 lápices de grado 9B hasta 9H con un soporte estándar.
- Los lápices se desplazan sobre la superficie bajo una presión y un ángulo de fijación determinado que aseguran el mínimo error por parte del usuario
- Los lápices pueden cambiarse fácilmente para minimizar los paros durante los ensayos

### Principio del ensayo y Método

- El ensayo se realiza con una presión fija de 750 g y un ángulo de 45 grados
- La superficie del material de ensayo debe prepararse y limpiarse correctamente antes de comenzar
- Seleccione un lápiz tipo medio como el 2H
- Para lápices de madera, afile cada lápiz aproximadamente 5 mm (3/16 in) teniendo especial cuidado en dejar la mina entera, sin marcas y lisa
- Coloque el durómetro sobre su cara inferior, inserte el lápiz hasta que toque la superficie del ensayo y apriete el tornillo de sujeción
- Coloque el durómetro sobre la superficie de ensayo y empuje hacia delante de 6 a 12 mm (1/4 - 1/2 in) sujetando el durómetro por las muescas situadas sobre las ruedas
- Gire el lápiz 90 grados, coloque el aparato 12 mm (1/2 in) al lado del primer ensayo y repita el paso anterior



### Normas

ASTM	D 3363
BS	3900-C19
ECCA	ECCA T
DIN EN	13523-4
ISO	15184

- Examine las mallas y raspaduras del recubrimiento. Si no hay ninguna, utilice un lápiz más duro y repita el ensayo
- Repita el ensayo utilizando diferentes minas hasta que encuentre el lápiz que no raye la superficie y el siguiente en dureza que la raye. Después anote los resultados.

### Información para pedidos

No. Cat.	Descripción
PH-5800	Durómetro de Lápiz

Conjunto de suministros:  
Durómetro de Lápiz; Juego de 20 lápices de 9B hasta 9H; Afilador de lápices;  
Papel de Lija de 400; Maleta para su transporte

### Juego de Recambios de Minas

### Información para pedidos

No. Cat.	Descripción
PH-5801	Juego de Recambio de lápices (20)

**Lumaquina**  
quality control

LUMAQUIN, S.A.  
Av. Riu Mogent 18  
C.I.Vallesana, 08170 Montornès del Vallès (Barcelona)  
Telf.: 935 444 430 Fax.: 935 722 674  
lumaquin@lumaquin.com, www.lumaquin.com

## GLOSARIO

**Inerte.** Inactivo, ineficaz, incapaz de reacción.

**Xenomaterial.** Palabra de formación propia con el prefijo *xeno* que significa “*extranjero*” y *material*, refiriendo a un material ajeno al medio.

**Alabeo.** Comba de cualquier cuerpo o superficie; en especial, la que toma la madera al alabearse.

**Higroscópico.** Propiedad de algunas sustancias de absorber y exhalar la humedad según el medio en que se encuentran.

**Abrasión.** Acción y efecto de raer o desgastar por fricción.

**Sinéresis.** Separación de las fases que componen una suspensión o mezcla. Es la extracción o expulsión de un líquido de un gel, por lo que el gel pasa de ser una sustancia homogénea a una segregación de componentes sólidos separados y contenidos en la fase líquida.