



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

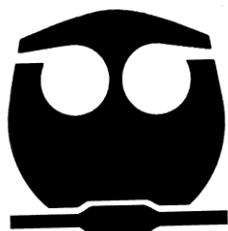
**”POLIESTIRENO RESIDUAL. PRODUCTOS
ALTERNOS”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTA

GARCIA PINEDA JAVIER ADRIAN



MÉXICO D.F.

2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente:	DR. JESÚS GRACIA FADRIQUE
Vocal:	DR. EDUARDO VIVALDO LIMA
Secretario:	M. EN C. MARCO ANTONIO URESTI MALDONADO
1er. Suplente:	DR. ALFONSO DURAN MORENO
2do. Suplente:	M. EN C. MARÍA GUADALUPE LEMUS BARAJAS

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Laboratorio de Superficies

Departamento de Fisicoquímica

Facultad de Química Edificio B Laboratorio 104

Ciudad Universitaria

Asesor Del Tema

Dr. Jesús Gracia Fadrique

Sustentante

García Pineda Javier Adrián

DEDICATORIAS

- ❖ *A mi familia: Por enseñarme que un buen hombre puede seguir el curso de su vida guiado por estrellas bien colocadas en el cielo: justicia, honor familia y amistad*
- ❖ *A mi Madre, por los sabios consejos que siempre me das, por escucharme, apoyarme contra todos los obstáculos que se han presentado, por estar siempre conmigo y por ser la mejor.*
- ❖ *A mi Padre por su apoyo incondicional y por el esfuerzo hecho para darme un mejor futuro, pero sobre todo una educación.*
- ❖ *A mis hermanos: Manuel y Martha. Por regalarme los mejores momentos, su apoyo ilimitado, su cariño, amistad y comprensión.*

- ❖ *A mis mejores amigos:*

Rosalinda: Por sus sabios consejos, su amistad, y todos los momentos mágicos que hemos pasado juntos.

Lilian: Por estar conmigo, por escucharme y por ayudarme a entender, que no importa cuantas veces caes, sino que tan rápido te levantas.

Samuel: Por ir mas allá de ser un amigo, y convertirse en el Ángel que nos cuida desde el cielo...

Roberto: Por las bromas, chistes, y por que siempre puede encontrar en ti a un buen amigo.

Arely: Por escucharme y darme el regalo de tu amistad, por nuestras bromas y chistes, y por "La danza de la Victoria"

- ❖ *A Meche, Arturo, Anita, Gaby, Claudio, Enrique, Víctor, Ángel, Joel, Jorge, Juan, los "pasambres", los del "árbol", los "Waikiki Beach boys" todos aquellos amigos que estuvieron conmigo en la facultad e hicieron de esta estancia un lugar inolvidable.*
- ❖ *A los compañeros de trabajo, amigos y maestros del Instituto Mexicano del Petróleo, quienes me han apoyado desde el comienzo, de quienes he aprendido diariamente y donde he encontrado muy buenos amigos: Luis López, Eduardo Arteaga, Víctor Santa Cruz, Gabriel Morales, René de la Mora, Domingo Badillo, José Luis Buendía, Carlos Miranda, Felipe, Eduardo, Raúl.*

AGRADECIMIENTOS:

Gracias a Dios por haberme dado una segunda oportunidad de seguir viviendo, por la familia que tengo y por todas las bendiciones recibidas.

Gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México y en Especial a la Facultad de Química, por permitirme estudiar en sus instalaciones y darme armas para convertirme en profesionalista.

Gracias al Dr. Jesús Gracia por permitirme estar bajo su tutela, por darme su apoyo en todos los aspectos del trabajo de tesis, por su interés, preocupación constante, por compartir su tiempo y sus conocimientos conmigo.

Gracias al Dr. Vivaldo por compartir su tiempo en las correcciones y comentarios aplicados y su interés en el trabajo de Tesis.

Gracias al M en C. Marco Antonio Uresti por el apoyo presentado a este proyecto, por sus comentarios y correcciones.

A mi familia, por todo el apoyo recibido a lo largo de toda mi vida.

A mis amigos de la Facultad de Química, por haber hecho de este espacio, un periodo de mi vida que no olvidaré nunca.

A los compañeros del laboratorio de Superficies, por todo el apoyo que me dieron: Ximena, Esteban, José Luis, Federico, Andres, Alma Miriam, Mario I, II, Mariana y Melisa, quienes siempre hicieron amena la estancia en el laboratorio, y a quienes considero muy buenos amigos.

Al Coach Kay, por haberme enseñado a jugar el deporte más bonito del mundo

Índice:	
Objetivo	1
Introducción	2
Capitulo 1 Antecedentes	
- El poliestireno en México	4
- Métodos para la elaboración del Estireno	8
- Métodos de polimerización	11
- Derivados principales del poliestireno	13
- La película orientada superficialmente	14
- El poliestireno espumoso	15
- Proceso de transformación del poliestireno espumoso	16
- Estructura, propiedades físicas, químicas y biológicas	22
- Daños al ecosistema y medio ambiente	25
- Reciclado de poliestireno expandido	26
- Opciones para la gestión de recursos	28
- Manejo de residuos en México	30
- Residuos de poliestireno expandido	32
- ¿Qué se está haciendo?	34
Capítulo 2 Esmaltes y Pegamentos	41
- Teoría de soluciones	42
- La teoría de Van Laar	43
- Parámetro de solubilidad	45
- Desarrollo experimental	51
- Selección de solvente	55
- Evaluación de riesgo de disolventes seleccionados	56
- Mezcla acetato de etilo-acetona 50-50%	59
- Mezcla acetato de etilo-acetona 90-10%	65
- Mezcla acetato de etilo-acetona 80-20%	66
- Mezcla acetato de etilo-acetona 70-30%	67
- La unión adhesiva	69
- Formulación de adhesivos en base solvente	73

- Formulación 2 acetato de etilo-acetona	77
Capítulo 3 Recuperación de poliestireno por el método difusión dilución	80
- Clasificación de los desperdicios	83
- Propiedades del poliestireno reciclado	84
- Método difusión dilución	85
- Desarrollo experimental	86
Conclusiones	89
Bibliografía	91
Anexo	96

POLIESTIRENO PRODUCTOS ALTERNOS

Objetivo:

La búsqueda de alternativas tecnológicas para la reutilización o reciclaje de poliestireno residual, y así establecer:

- a) Uso de poliestireno o aplicación de poliestireno como materia prima para la elaboración de esmaltes.
- b) Posibilidad de aplicación de poliestireno reciclado como adhesivo
- c) Reciclado de poliestireno por el método de difusión dilución

Introducción

En 1970 inicia el desarrollo del reciclado de plásticos, debido al aumento de precio y desabasto que se presentó como consecuencia del embargo petrolero y del incremento en el precio del petróleo. Esta combinación de circunstancias propició el desarrollo de tecnologías de recuperación que atenderían las necesidades de los consumidores para solucionar el problema de abasto. Con el objetivo de encontrar soluciones para manejar los desechos plásticos, se han desarrollado diversas investigaciones que incluyen métodos físicos y químicos¹.

Durante mucho tiempo los recubrimientos decorativos y de protección estuvieron basados en los aceites no saturados (aceite de linaza, aceite de tunga) y resinas naturales como goma laca y goma de kauri, entre otras. En los años 30 del siglo XX tomaron importancia las resinas sintéticas (alquidálicas). En el campo de las pinturas, se desarrollaron diversas resinas como son: El acetato de vinilo y las resinas acrílicas, que actualmente se emplean como recubrimientos para interiores y exteriores. Así mismo los barnices y lacas han tenido un mercado con mucha demanda. La diferencia fundamental entre un barniz y una laca se puede observar al momento de la aplicación; el primero reacciona (por ejemplo con el oxígeno) para formar nuevos enlaces, mientras que en la laca solo se puede observar la evaporación del disolvente quedando sobre el sustrato una película polimérica sin reaccionar.

La disolución de un polímero es un proceso lento que puede ser de suma importancia a escala industrial. Las moléculas de disolvente se difunden

lentamente dentro del polímero, hinchando al material. En particular en redes poliméricas altamente entrecruzadas, la adición de un disolvente solo hace que el polímero se hinche conforme el disolvente permea la matriz polimérica y la cadena polimérica se extiende en la solución (se desenrolla) En un disolvente pobre, los segmentos del polímero prefieren permanecer enlazados con otros segmentos de la molécula polimérica; de este modo se dice que la molécula se enreda sobre sí misma.

Capítulo 1

El poliestireno en México ²

El poliestireno comúnmente llamado Unigel ha sido uno de los plásticos más usados en la industria y en el hogar. En México, la revolución de los plásticos ha sido un fenómeno que ha transformado la economía. En poco tiempo se implementaron varias refinerías de crudo; los subproductos que se obtienen son muy variados, dando como resultado materias primas para la producción de los diferentes plásticos; un ejemplo de ello es: polietileno, polipropileno, PVC (policloruro de vinilo), rayón, nylon, etc.

Poco a poco la demanda fue creciendo, se aumentaban las capacidades de las plantas y la producción aumentaba. En los últimos años México fue uno de los países que produjo más de 100,000 toneladas al año de poliestireno.

Toneladas	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Producción	355,454	349,346	363.775	372,030	408,489	411,312
Importación	66,330	100.248	96,215	126,187	103,646	138,849
Exportación	123,470	120.814	109,990	117,131	151,448	170,600
Consumo Aparente	298,314	328,780	350,000	381,086	360,687	379,562
Capacidad Instalada	417,000	417,000	417,000	417,000	417,000	417,000

Tabla 1 Producción de Poliestireno en México

Los productores en México son:

- BASF Mexicana S.A de C.V
- Resirene S.A de C.V
- Poliestireno y Derivados S.A de C.V. (Polidesa)

- Polioles S.A. de C.V.

En el ámbito urbano muchos empaques se tiran sin ningún beneficio, siendo que todo este material tiene un gran potencial de aprovechamiento. La figura 1 muestra la producción de poliestireno y el consumo aparente en México. La figura 2 muestra la producción y consumo aparente de Estireno, monómero a partir del cual se produce el poliestireno.

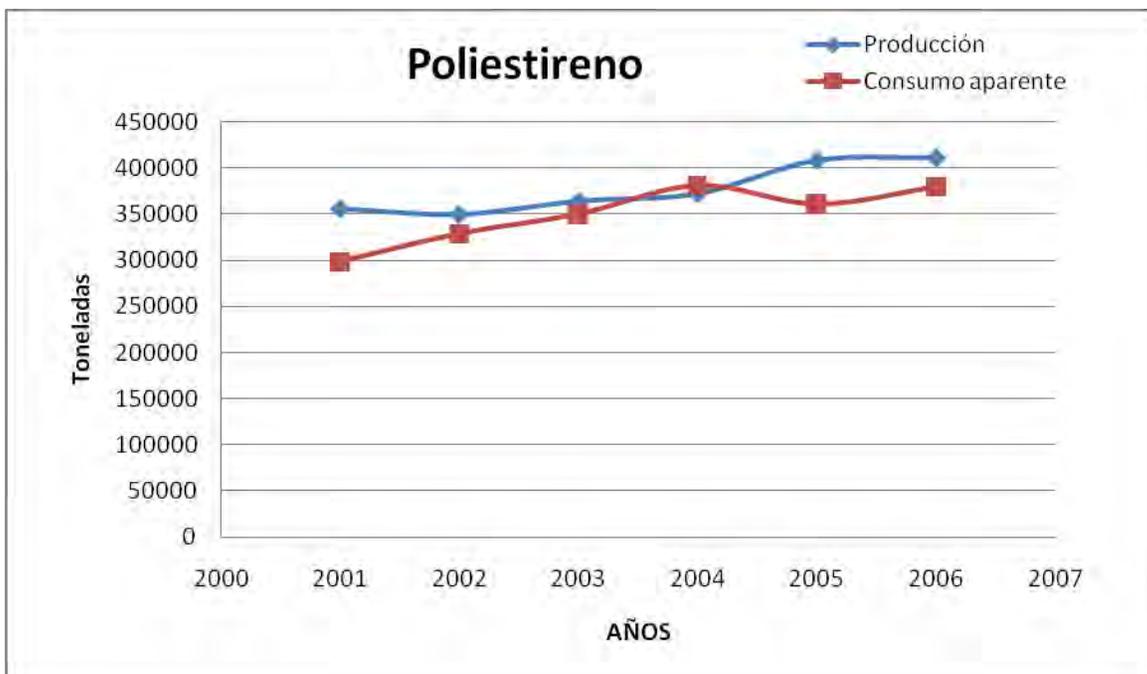


Figura 1 Producción de Poliestireno y Consumo Aparente en México

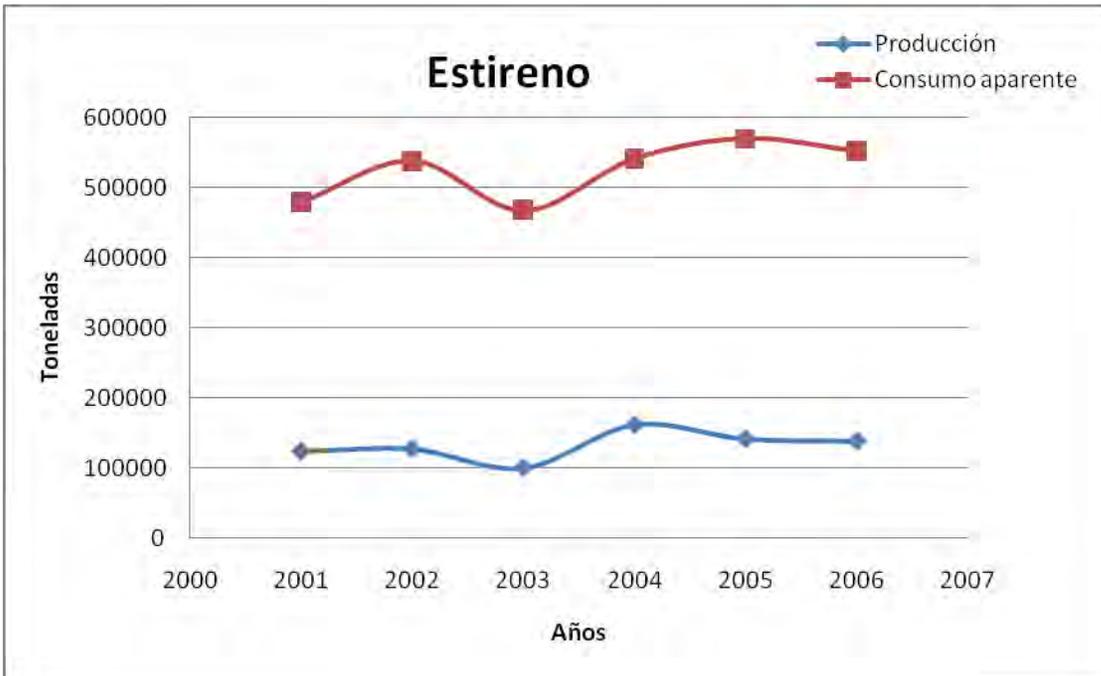
Producción de Estireno en México²

Tabla 2 Producción de Estireno en México

Toneladas	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Producción	124,495	127,612	100,621	162,089	141,875	139,024
Importación	355,284	415,682	373,713	397,944	439,540	429,426
Exportación	68	5,226	6,308	18,677	11,761	16,426
Consumo Aparente	479,712	538,068	468,026	541,356	569,655	552,022
Capacidad Instalada	150,000	150,000	150,000	150,000	150,000	150,000

La cifra de la capacidad instalada se refiere a la capacidad normal de PEMEX Petroquímica.² Hay dos plantas productoras de estireno en México, una en Cd. Madero Tamaulipas, con una capacidad de 30,000 toneladas la cual fue fundada en 1967, y otra en Cangrejera, Veracruz, con una capacidad de 150,000 toneladas y fundada en 1984.

Figura 2 Producción y Consumo de Estireno en México



El principal uso del Estireno, es para polimerización y obtención de poliestireno. La figura 3 muestra los principales usos que se le dan al poliestireno.

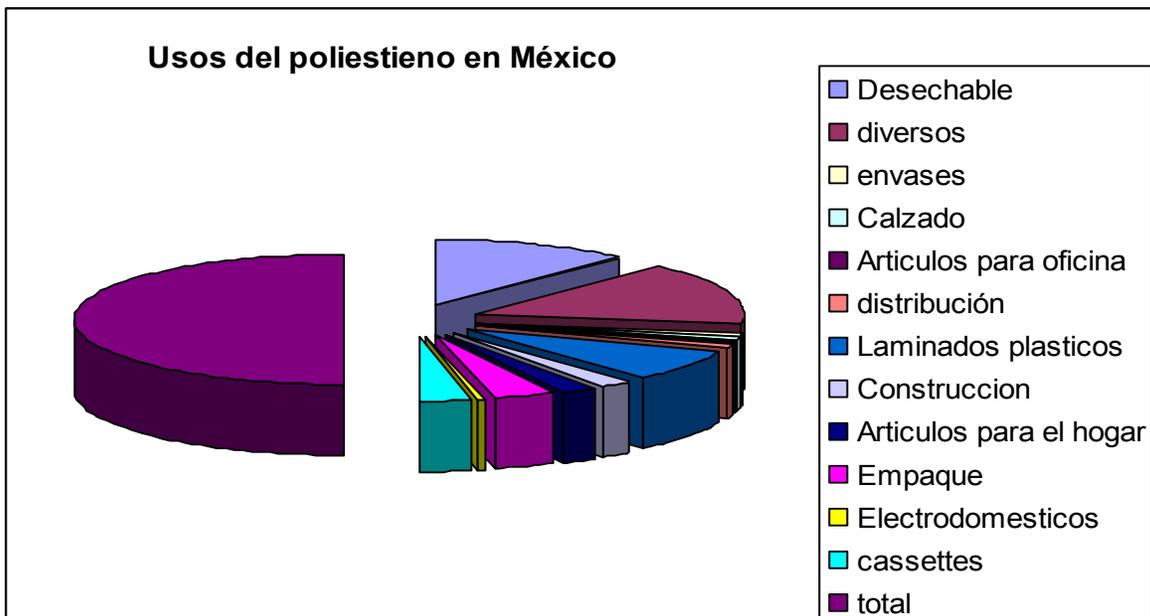


Figura 3 Usos Principales del poliestireno en México¹

Antecedentes

El Poliestireno es el polímero que se obtiene de la polimerización del monómero conocido como Estireno. Los métodos de elaboración del monómero se describen a continuación. Las propiedades del poliestireno se describirán más adelante.

Métodos para la elaboración del estireno

Descarboxilación¹

El estireno muy puro que todavía se utiliza para trabajos de laboratorio puede producirse mediante la destilación seca del ácido cinámico o de sus sales a presión atmosférica.

La sal sódica se calienta junto con el óxido de calcio para llevar a cabo la reacción.

Deshidratación

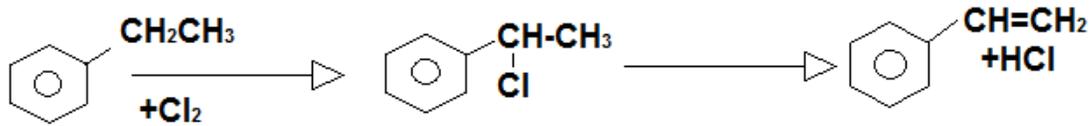
La destilación del alcohol denileílico da lugar al estireno con rendimientos excelentes. El α -alcohol requiere de agentes deshidratantes ácidos. Para el caso del β -alcohol se necesitan compuestos alcalinos.

Pirólisis de Acetileno¹

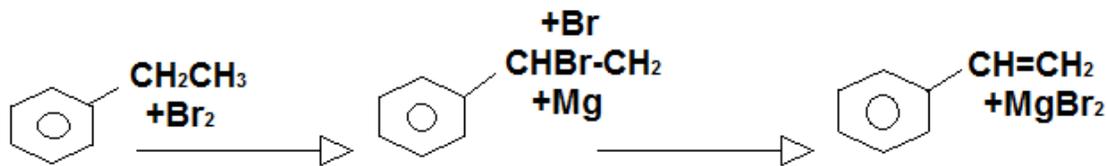
Berthelot logró aislar una pequeña cantidad de estireno a partir de los productos de pirólisis del acetileno. Mediante la polimerización del acetileno se puede formar el ciclo-octatetraeno con una fórmula empírica de C_8H_8 . Este compuesto es un isómero del estireno que puede transformarse en el estireno. Se puede hacer reaccionar al acetileno con el benceno para formar el estireno, aunque los rendimientos son bajos y produce una gran cantidad de alquitrán.

A partir del etilbenceno¹

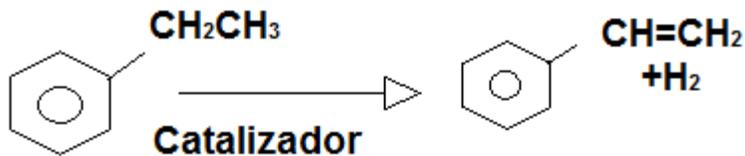
a) Por cloración y eliminación posterior del HCl



b) Por adición del bromo y tratamiento posterior con magnesio



c) Por deshidrogenación directa (catalítica)



El método Dow para la elaboración de estireno, elaboración y purificación del etilbenceno¹.

En una planta situada en Cosden, Estados Unidos, el etilbenceno se extrae por destilación fraccionada en un grado máximo de una corriente de hidrocarburos del grupo C_8 y se transforma en el estireno y en el poliestireno. La reacción de purificación del etilbenceno puede llevarse a cabo ya sea en fase vapor o en fase líquida. En fase vapor el catalizador es el ácido fosfórico soportado en otro material, o bien la sílice-alumina. Las condiciones son de 300°C , 40.9 atmósferas

manométricas y la relación etileno a benceno es de 0.2 a 1. Es más frecuente efectuarla en fase líquida en forma de una reacción de Friedel-Crafts empleando el cloruro de aluminio.

Los requisitos para las materias primas son los siguientes:

Benceno: La calidad de este material, debe considerar un bajo contenido de azufre total, en especial tiofeno. Punto mínimo de congelación: 4.85 ° C, máximo de ebullición: 1° C.

Etileno: No es indispensable una gran pureza mientras no estén presentes componentes insaturados, tales como el etileno y el hidrógeno. Las parafinas saturadas etc, son inertes.

Cloruro de aluminio: Pureza mínima requerida 97.5 %. Requiere el material granulado debido a su facilidad de alimentación.

El principal uso del monómero de estireno es para la producción de poliestireno. La producción de hule sintético ión de estireno butadieno se lleva a cabo en un proceso de polimerización continuo en emulsión, empleando butadieno y el estireno. El producto se coagula, se lava y se seca. El contenido de estireno se encuentra entre 23 y 25%

Métodos de polimerización

Polimerización en masa.- El polímero y el iniciador son los únicos componentes. En este sistema, la viscosidad aumenta con la conversión. La rapidez de reacción es difícil de controlar debido al calor de polimerización y de la baja conductividad térmica, que impide la eliminación de calor. La eliminación de las trazas de monómero del producto final es complicada debido a la baja rapidez de difusión. Por la misma razón es difícil la conversión de todo el monómero. Las polimerizaciones sin agitación se usan para producir materiales diferentes, como la condensación fenol-formaldehído que se lleva a cabo en un molde a presión. La polimerización en masa presenta peligros reales. Las conductividades térmicas de los monómeros y de los polímeros son bajas y el incremento en la viscosidad limita la transferencia de calor por convección forzada. La eliminación del monómero sin reaccionar se dificulta por la baja relación superficie-volumen. El nivel de impurezas puede mantenerse bajo con el uso de iniciador y por la eliminación diligente de monómero.

Polimerización en suspensión.- Se refiere a la polimerización en un sistema acuoso con monómero (fase orgánica), del cual se obtiene un polímero como fase sólida dispersa. El iniciador se disuelve en la fase orgánica. Las perlas son de alrededor de 0.01-.5 cm de diámetro. Este intervalo se mantiene por combinación de la agitación y el uso de estabilizadores acuosos. La solución puede contener materiales orgánicos o inorgánicos finamente divididos, los cuales pueden interferir en diversos aspectos como la aglomeración.

Los electrolitos aumentan la tensión interfacial y los polímeros solubles en agua aumentan la viscosidad de la fase acuosa. La probabilidad de aglomeración puede llegar a ser crítica cuando la polimerización ha avanzado a un punto tal que el polímero llega a ser pegajoso. Al final de la reacción, el polímero se libera para ser estabilizado. El control de temperatura es complicado por la naturaleza inestable de la suspensión. La agitación es crítica. A medida que la viscosidad aumenta dentro de las perlas, la rapidez de reacción aumenta (efecto Trommsdorff). La viscosidad de la fase continua (agua) no cambia durante la reacción, de manera que el control es más sencillo que en la polimerización en masa.

La producción de los copolímeros. Los siguientes compuestos son una selección de los monómeros que se polimerizan en cantidades industriales junto con el estireno para obtener materiales con propiedades específicas para determinadas aplicaciones: el acrilonitrilo, el α metil estireno, el metacrilato de metilo, el divinilbenceno, el fumarodinitrilo, el anhídrido maléico, y un determinado intervalo de poliésteres insaturados. Esta lista está lejos de ser completa y además una serie de termopolímeros del butadieno y del estireno, está aumentando constantemente su importancia.

Recubrimiento de protectores. En este campo, el estireno se emplea mezclado con aceites naturales y con sus copolímeros con estructura de red para los recubrimientos en las industrias de las pinturas, papel y los textiles.

En los materiales fundentes y de impregnación. El estireno se utiliza con una mezcla de aceite de linaza en la fabricación de ollas eléctricas. La mezcla total se polimeriza empleando peróxido de benzoilo. Como aditivo modificador de las

resinas laminadas, el estireno se emplea como disolvente de las resinas, los plastificantes, los catalizadores, etc. para formar las resinas que posteriormente se moldean para dar las formas recortadas.

Derivados principales del poliestireno³

La principal desventaja del poliestireno es su fragilidad (especialmente en las secciones delgadas) y su punto de ablandamiento relativamente bajo (aproximadamente 80-90°C). En los intentos que se han hecho para eliminar esta desventaja y sacar utilidad de sus propiedades, tales como su bajo costo y facilidad de moldeo y de su coloración, se ha desarrollado un grupo de productos especiales: el poliestireno reducido, también conocido como poliestireno de resistencia superior al impacto. Tanto el estireno como el poliestireno son compatibles con muchos hules sintéticos y naturales. El poliestireno puede elaborarse con un contenido de hule de hasta de 10 o 12%.

Se ha establecido que los hules sintéticos son más convenientes y pueden incorporarse al poliestireno por trituración del hule, en condiciones adecuadas, o por solución del hule en el estireno antes de la polimerización. En la actualidad hay en el mercado un grupo importante de estos productos. Los usos de este tipo de material tiene un aumento mucho mayor que los correspondientes a los del producto original. En la obtención de una mayor dureza, es decir, resistencia al impacto, se pierden la claridad y la transparencia, se reduce ligeramente el punto de ablandamiento, y la adición de color (hasta un tipo determinado) ya no es tan sencilla.

La película orientada superficialmente⁷

Se forma estirando a presión una lámina o tubo delgado de poliestireno, la cual se estira hacia los lados mientras se encuentra en el intervalo plástico y se deja que se enfríe cuando aún está sujeta a tensión. La lámina que se forma se encuentra disponible en una gran variedad de espesores y se utiliza para envolturas duras de películas y con claridad superior (las cuales pueden formarse fácilmente a vacío), como material laminado y en la industria eléctrica para los condensadores de calidad superior.

La fragilidad y el bajo punto de ablandamiento, también pueden eliminarse mediante la copolimerización del estireno con el α metilestireno, con el acrilonitrilo o con el acrilato de metilo. Por este procedimiento se obtienen polímeros duros transparentes, los cuales retienen casi todas las propiedades de moldeo del poliestireno. La demanda para tales materiales aumenta anualmente y se están desarrollando continuamente nuevos copolímeros.

El poliestireno expandible³

Este producto se forma al incorporar aproximadamente el 10% de hidrocarburos tales como pentano o butano en el poliestireno. Esto se lleva a cabo ya sea por mezcla del hidrocarburo con el estireno antes de la polimerización o mediante la absorción del poliestireno en el butano o el pentano en condiciones adecuadas. Las canicas o gránulos se pueden dilatar a continuación hasta cualquier grado requerido y disminuir la densidad hasta 0.016 g/cm^3 . La dilatación se efectúa ya

sea en forma intermitente en el molde, cerrados o en forma continua en un sistema de estirado que haya sido especialmente construido. El producto se vende en forma de láminas rígidas con excelentes propiedades de aislante térmico. Sus mayores aplicaciones se encuentran en los sistemas de refrigeración y en los envases, aunque constantemente se encuentran nuevos usos y se prevé que la industria de la construcción empleará eventualmente grandes cantidades de este material. Su principal desventaja es la facilidad para inflamarse, la cual puede reducirse al mínimo mediante el tratamiento de las canicas o gránulos con un compuesto retardador de flama, el cual es entonces incorporado completamente dentro de la espuma estirada en el producto final. El poliestireno estirado es también un material de flotación para chalecos salvavidas, las balsas, etc aunque su resistencia a la acción de la gasolina es inadecuada para permitir su uso más extenso. El copolímero del estireno-acrilonitrilo es mucho mejor en este aspecto, pero aún no se ha desarrollado en el aspecto industrial. Las láminas de poliestireno espumoso se pueden formar a vacío, y es posible moldear los gránulos para fabricar juguetes, tuberías u otros artículos, y el color se puede añadir con una eficiencia razonable.

Proceso de transformación del poliestireno expandido²

Este proceso de transformación se realiza en tres etapas:

Preexpansión.- Se entiende por preexpansión al reblandecimiento de partículas de materia prima por efecto del calor y el subsecuente hinchamiento de estas partículas derivado del aumento de volumen del agente de expansión (pentano).

Para este proceso la materia prima se calienta en unas instalaciones especiales

denominadas pre-expansores, con vapor de agua a temperaturas situadas entre aproximadamente 80 y 110°C. Los pre-expansores pueden ser continuos (alimentación de materia prima y vapor de agua ininterrumpida) o discontinuos, cerrados y con dosificación definida de materia prima. La densidad aparente del material disminuye de unos 630 kg/m³, en función de la temperatura y del tiempo de exposición.

En el proceso de preexpansión, las perlas compactas de la materia prima se convierten en perlas de plástico celular con pequeñas celdillas cerradas que contienen aire en su interior.

El proceso de preexpansión puede proseguir una vez transcurrido un determinado periodo de reposo intermedio cuando se desea obtener una densidad aparente menor que no es viable conseguir en una única preexpansión.

Lecho fluidizado.- Esta es una instalación de secado, que se coloca a la salida del preexpansor y donde se secan las perlas dentro de una corriente de aire ascendente, consiguiéndose una estabilización mecánica de las mismas que resulta muy conveniente antes del transporte neumático a los silos de reposo intermedio.

Segunda etapa: Reposo intermedio y estabilización.- Al enfriarse las partículas recién expandidas se crea un vacío interior que es preciso compensar con la penetración de aire por difusión. De este modo las perlas alcanzan mayor

estabilidad mecánica y mejoran su capacidad de expansión, lo que resulta ventajoso para la siguiente etapa de transformación. Este proceso se desarrolla durante el reposo intermedio del material preexpandido en silos ventilado. Durante el proceso intermedio se desarrollan simultáneamente varios procesos. Se difunde aire al interior de las celdillas a través de las membranas consiguiendo la estabilidad mecánica de las partículas. Posteriormente se emite humedad a la atmósfera mejorándose el transporte de las perlas y el llenado de moldes complicados. Por último, se elimina por difusión el exceso de agente de expansión reduciéndolos a las cantidades estrictamente necesarias para la siguiente etapa.

Tercera etapa: Expansión y moldeo final.- En esta etapa las perlas preexpandidas y estabilizadas se transportan a unos moldes donde nuevamente se les suministra vapor de agua y las perlas a través de una nueva expansión se sueldan entre sí, formándose una estructura poliédrica. De esta forma se pueden obtener grandes bloques (que posteriormente se mecanizan en las formas deseadas como planchas, cilindros, etc), o productos conformados con su acabado definitivo.⁴

Propiedades físicas.- Los productos y artículos acabados en poliestireno expandido (EPS) se caracterizan por ser extraordinariamente ligeros aunque resistentes. Las densidades se sitúan en intervalos que van desde los 10 kg/m³ hasta los 50 kg/m,³ en función de la aplicación.

Resistencia mecánica.- La resistencia a los esfuerzos mecánicos de los productos de EPS se evalúa generalmente a través de las siguientes propiedades:

Resistencia a la deformación del 10%, resistencia a la flexión, resistencia a la tracción y resistencia al esfuerzo cortante. La densidad del material guarda una estrecha correlación con las propiedades de resistencia mecánica.

Tensión de compresión.- Esta propiedad se requiere en los productos de EPS sometidos a carga como suelen ser cubiertas, asilamiento perimetral de muros, etc. En la práctica, la deformación del EPS en estas aplicaciones sometidas a carga es inferior al 10%. El método de ensayo para el 10% de deformación no es más que un ensayo de laboratorio, necesario para asegurar la calidad de la producción, no tiene nada que ver con las cargas prácticas. Por otro lado, la relación entre los resultados de ensayo de la tensión de compresión al 10% de deformación y el comportamiento a compresión a largo plazo son muy conocidos. Los productos del EPS tienen una deformación por fluencia de la compresión del 2%, o menos, después de 50 años, mientras estén sometidos a una tensión permanente de compresión.

Aislamiento térmico.- Los productos y materiales de poliestireno expandido presentan una excelente capacidad de aislamiento térmico frente al calor y al frío. Es un material dúctil y resistente a temperaturas moderadas (0 °C) pero a temperaturas elevadas, alrededor a 88 °C, pierde sus propiedades, debido a su bajo coeficiente de conductividad. Bajo contenido en pentano: el contenido habitual de pentano en el poliestireno expandido se sitúa en alrededor del 6-7%. En los últimos años se han desarrollado materias primas con bajo contenido en pentano (4%) que son muy adecuados, para la fabricación de piezas y bloques de

densidad media alta y con los que se consiguen reducciones en los tiempos de estabilización, y en los ciclos de moldeo y desmoldeo. Muchas de sus aplicaciones están directamente relacionadas con esta propiedad; por ejemplo, cuando se utiliza como material aislante de los edificios o en el campo del envase y embalaje de alimentos frescos y perecederos. Esta buena capacidad de aislamiento térmico se debe a la propia estructura del material que esencialmente consiste en el aire ocluido dentro de la estructura celular conformada por el poliestireno. Aproximadamente 98 % del volumen del material es aire y únicamente el 2% de materia sólida (poliestireno). El aire en reposo es un excelente aislante térmico.⁴

Estabilidad dimensional.- Como todos los materiales, los productos de poliestireno expandido están sometidos a variaciones dimensionales debidas a la influencia térmica. Estas variaciones se evalúan con el coeficiente de dilatación térmica que, para este caso, es independiente de la densidad y se sitúa en el intervalo $5-7 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, es decir, entre 0.05 y 0.07 mm por metro de longitud y grado Kelvin. Por ejemplo, una plancha de aislamiento térmico de poliestireno expandido de 2 metros de longitud y sometida a un salto térmico de 20 °C experimentará una variación en su longitud de 2 a 2.8 mm.

Estabilidad frente a la temperatura.- El poliestireno expandido puede sufrir variaciones o alteraciones por efecto de la acción térmica. El intervalo de temperatura en el que este material puede utilizarse con total seguridad y sin que sus propiedades se vean afectadas no tiene limite alguno 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 continuas con una carga de 20 kPa en el material.

Propiedades químicas y biológicas.- El poliestireno se mantiene estable en contacto con muchos productos químicos; sin embargo, si se utilizan adhesivos, pinturas, disolventes y vapores concentrados de estos productos, hay que esperar un ataque de estas sustancias. El anexo 4 contiene más información acerca de la estabilidad química del poliestireno expandido. Los productos de poliestireno expandido cumplen con las exigencias sanitarias y de seguridad e higiene establecidas, por lo que pueden utilizarse con total seguridad en la fabricación de artículos de embalaje destinados al contacto con alimentos.

Las materias primas de poliestireno expandido son polímeros o copolímeros de estireno que contienen una mezcla de hidrocarburos de bajo punto de ebullición como agente de expansión. Todos los hidrocarburos son materiales combustibles. El agente de expansión se volatiliza progresivamente en el proceso de transformación. El 10% residual requiere de una fase de almacenamiento durante un tiempo en función de las especificaciones del producto: dimensiones, densidad, etc. En caso de que los productos se manipulen sin esta fase de almacenamiento, se tomarán medidas de protección contra incendios. Al ser expuestos a temperaturas superiores a 100 °C, los productos de Poliestireno expandido, se reblandecen y contraen; si aumenta la temperatura se funden. En caso de continuar expuesto al calor el material fundido emite productos de descomposición

gaseosa inflamable. En ausencia de un foco de ignición, los productos de descomposición térmica no se inflaman hasta alcanzar temperaturas del orden de los 400 – 500 °C.

En caso que se presentara un incendio, su desarrollo y amplitud dependerán, además de la intensidad y duración, de las propiedades específicas de las materias primas utilizadas en la fabricación del poliestireno expandido: estándar o autoextinguible, el cual está tratado con agentes ignífugos y se contrae si se expone a una llama. Sólo empezará a arder si la exposición se prolonga. A una velocidad de propagación muy baja, las llamas se extenderán solo en la superficie del material. Para calibrar las diferentes situaciones de riesgo que comporta el empleo de poliestireno expandido, deben tenerse en cuenta su contenido, forma y entorno. El comportamiento de los materiales de poliestireno expandido ante el fuego puede modificarse aplicando recubrimientos y revestimientos, como se muestra en el Anexo 5

Estructura, propiedades físicas y químicas⁶

De acuerdo con la conformación geométrica de los sustituyentes en la cadena, los polímeros se pueden clasificar en isotácticos, sindiotácticos y atácticos. Los polímeros isotácticos son aquellos en los que los sustituyentes están dispuestos geoméricamente del mismo lado de la cadena polimérica, los polímeros sindiotácticos son aquellos cuyos sustituyentes están dispuestos alternadamente, mientras que los atácticos, los sustituyentes se encuentran al azar.

El grado de entrecruzamiento de un polímero es la capacidad para formar una red molecular en el espacio con propiedades físicas y químicas totalmente diferentes al polímero inicial. Dependiendo del grado de entrecruzamiento, los polímeros se clasifican en termoplásticos y termofijos. Los polímeros termoplásticos son aquellos que al aumentar la temperatura no se descomponen antes de fluir, a los que se descomponen sin fluir, se les conoce como termofijos. Los polímeros termofijos se entrecruzan por temperatura o por adición de un iniciador; al hacerlo, las cadenas reaccionan químicamente unas con otras y forman así una red polimérica con enlaces fijos, que no son flexibles ni pueden rotar. En la industria de los plásticos, las reacciones de entrecruzamiento se hacen comúnmente con calor, haciendo reaccionar al polímero en el molde de la forma deseada; tal es el caso de hule natural con azufre que forma una goma más rígida y resistente, producto del proceso conocido como vulcanización. La celulosa es, en esencia un polímero lineal, pero debido a su estructura con puentes de hidrógeno no se ablanda por debajo de la temperatura de descomposición, por lo que no puede moldearse sin romper los enlaces. El poliestireno es un polímero amorfo, transparente, inodoro e insípido y de estructura lineal: se produce a partir de estireno a escala industrial. La mayor parte del poliestireno que se sintetiza es atáctico, es decir, los sustituyentes se encuentran al azar. Es un polímero termoplástico cuya temperatura de transición vítrea sobrepasa los 100 °C

El poliestireno espuma o expandido es el más común, se produce a partir del calentamiento de perlas de poliestireno previamente impregnadas con pentano; al

aumentar la temperatura el pentano se expande y da como resultado una espuma que después se comprime para formar unigel.

Algunas propiedades físicas del poliestireno son las siguientes:

- Alto grado de dureza
- Quebradizo, excepto cuando es modificado (poliestireno de alto impacto)
- Excelentes propiedades eléctricas
- Se carga con electricidad estática y atrae el polvo
- Transparencia y superficie suave
- Absorbe poca humedad
- Fácil fabricación
- Bajo costo
- Cristalino y sin color
- Poco resistente al clima húmedo
- En general tiene buena resistencia al ataque químico, pero en contacto con hidrocarburos y thinner es poco resistente.

Densidad del Poliestireno en un intervalo de Temperatura⁴

P, g/cm ³ , T en °C		Intervalo °C
Densidad	$1.0856 - 6.19 \times 10^{-4} + 0.136 \times 10^{-6} T^{-2}$	100-222
	$1.077 - 5.49 \times 10^{-4} + 0.124 \times 10^{-6} T^{-2}$	115-196
	$1.067 - 5.02 \times 10^{-4} + 0.135 \times 10^{-6} T^{-2}$	79-320

Tabla 4 Densidad del poliestireno en intervalo de Temperatura

Daños al ecosistema y reciclaje²⁸

De acuerdo a información internacional es posible encontrar tres kilogramos de plástico por cada medio kilo de plancton en el mar⁹. Se estima que 18000 piezas de basura plástica se encuentran flotando en cada kilómetro cuadrado de océano, cobrando la vida de miles de animales marinos cada año. Aves, peces, tortugas y mamíferos marinos ingieren el material derivado del petróleo confundiéndolo con alimento. Debido a los daños que causa el uso del plástico en el medio ambiente, varios países de Europa han lanzado una campaña ecológica en contra del uso del plástico. El presente trabajo propone la formación de una nueva tecnología con el fin de reutilizar materiales que normalmente serían enviados a contenedores de basura, para la fabricación de esmaltes, pinturas y adhesivos, y así disminuir su acumulación.

En el pasado, los motivos principales para el reciclado fueron de tipo económico. Hoy en día los motivos ecológicos son más importantes, debido a que con el reciclaje pueden ahorrarse varias secuencias de procesos cuando se producen nuevos productos; así se reducen tanto la materia prima y el consumo de energía como los contaminantes y residuos. La mayoría de los plásticos se producen a partir del petróleo. Debido a que el precio del petróleo fue relativamente bajo durante mucho tiempo, los productos elaborados a partir de plásticos fueron y aún son muy baratos; de ahí que no se considerara su reciclaje o re-uso. Mientras tanto, los desechos de plástico se han convertido en un problema y también en un peligro ambiental. La incapacidad del plástico de degradarse y descomponerse de manera natural hizo los desechos perdurables. En los países desarrollados y en

vías de desarrollo, el reciclaje de plásticos se ha vuelto necesario para poder manejar los volúmenes crecientes de desecho. Aunque todavía no muy viable económicamente, el reciclaje de plásticos se realiza en estos países solo por razones ambientales. En los países en desarrollo se descubrió que los desechos plásticos pueden servir como materia prima valiosa para la producción a pequeña escala y la generación de ingresos. Contrario al reciclaje tradicional de materiales orgánicos, papel y vidrio los procesos para el reciclaje de plásticos de desecho son poco conocidos.

Reciclado del poliestireno expandido²⁸

En muchas partes del mundo, más del 50% del poliestireno expandido se utiliza para aplicaciones duraderas, como el aislamiento térmico de los edificios o como material de aligeramiento en diferentes construcciones. El reciclaje de una mayor cantidad de empaques de poliestireno expandido implica que la cantidad de residuos de este material que finalizan en la corriente de residuos se identifican con facilidad por ser de color blanco: este fenómeno se conoce como contaminación visual, pero no supone una contaminación real. El poliestireno expandido representa únicamente un 0.1 % del total de residuos sólidos urbanos. ⁶

Acuerdos Internacionales.- Varias organizaciones y asociaciones del poliestireno expandido, en más de 30 países, han suscrito el acuerdo internacional sobre el reciclado. Este acuerdo emplaza a los firmantes a lo siguiente: promover el uso del poliestireno expandido reciclado en la más amplia gama de aplicaciones posibles,

trabajar en el desarrollo de modelos internacionales de gestión sobre los residuos de poliestireno expandido y establecer una red de comunicación e intercambio de información sobre el poliestireno expandido y la correcta gestión de sus residuos en colaboración con los fabricantes de envases y empaques, productores de materia prima, organismos de la administración y asociaciones de consumidores. El sistema de recuperación depende de la naturaleza del residuo generado, clasificándola en tres tipos.

Residuos Industriales: Se originan tras la utilización de empaques de poliestireno expandido como transporte de componentes de diversos productos; tras el ensamblaje han cumplido su función logística y pasan a convertirse en residuos. En esta situación y por la concentración del residuo es posible acumularlo en la industria generadora y enviarlo a un centro de reciclaje específico.

Residuos del comercio y distribución: Se incluyen aquí las cajas de pescado y otros envases de alimentos (cárnicos, frutas y hortalizas), así como embalajes y agrupadoras de unidades en venta. Estos residuos se originan en mercados y supermercados. Los grandes comercios y distribuidores de productos de electrónica de consumo, electrodomésticos e informática pueden colaborar activamente ofreciendo al consumidor un servicio que retire los materiales de empaque tras la entrega e instalación de los equipos. Así pueden acumular en sus almacenes las fracciones de poliestireno expandido.

Residuos domésticos: Proviene de envases y empaques de poliestireno expandido para artículos muy diversos. Los ciudadanos pueden destinar estos residuos al contenedor o transportarlos a puntos especiales de tratamiento de residuos. Desafortunadamente en México, los residuos de poliestireno se acumulan en vertederos de basura municipales.

Opciones para la gestión de residuos⁸

El poliestireno expandido es uno de los principales materiales de embalaje, versátil y eficaz en términos de costo. La predicción de empaques usados de poliestireno expandido recuperados, principalmente a través de su reciclado mecánico, se ha duplicado con creces durante los últimos dos años. Las previsiones muestran que el reciclado de poliestireno continuará creciendo. Existen cuatro principales opciones para la reducción de los sistemas de embalaje de poliestireno, conocidas como las 4R.

Reducir. Mediante la optimización del diseño de envases y empaques, los fabricantes pueden reducir el empleo del poliestireno minimizando de esta manera el costo y la carga al medio ambiente.

Reutilizar. Algunos envases y embalajes de poliestireno pueden ser reutilizados en varias ocasiones en el canal de distribución. En algunas industrias, un único empaque de poliestireno se diseña de forma que puede ser utilizado para distintos componentes de las diferentes fases del proceso de producción. En los viveros se emplean semilleros de poliestireno y después de utilizarse se trituran,

mezclándolos con el terreno, como agente acondicionador del suelo, mejorando de esta forma su aereación y drenaje.

Reciclar. Se refiere a la utilización de envases y embalajes usados para destinarlos a nuevas aplicaciones. Por ejemplo, en reciclado mecánico⁸ el poliestireno expandido puede reciclarse a través de distintas formas y para distintas aplicaciones, como la fabricación de nuevas piezas de poliestireno expandido. Los envases y empaques post-consumo pueden triturarse y destinarse a la fabricación de nuevas piezas de poliestireno expandido, de esta forma se fabrican nuevos empaques con contenido reciclado o planchas para la construcción. También pueden destinarse a la aereación de los residuos orgánicos constituyendo una valiosa ayuda para la elaboración de composta. En el caso de producción de compactados de poliestireno, los embalajes de poliestireno usados se transforman fácilmente mediante procesos simples de fusión o sintetizado, de los cuales se obtiene el material de partida, el poliestireno en forma de compactados, para fabricar piezas sencillas mediante el moldeo por inyección, como perchas, bolígrafos, carcasas, material de oficina o extrusión en placas para utilizarse como sustituto de madera. Los empaques o planchas de poliestireno usado se transforman fácilmente en material para empaques o rellenos diversos.

Recuperar. La recuperación energética es la obtención de energía, normalmente en forma de calor a partir de la combustión de los residuos. Este proceso es una opción adecuada para aquellos productos y materiales que por diversos motivos no pueden ser recuperados fácilmente. Para los residuos “sucios” como las cajas

de pescado o los semilleros, la recuperación energética es una opción de gestión de residuos segura y adecuada con la que se puede obtener un beneficio ambiental con el aprovechamiento de su energía intrínseca.

Responsabilidad legal: Los poseedores finales de los residuos descritos en la directiva Europea de Envases y Residuos de Envases deberán entregarlos en condiciones adecuadas de separación por materiales a un agente económico para su reutilización, a un recuperador, a un reciclador o a un valorizador autorizado. La tasa de recuperación de envases y embalajes de poliestireno en países de Europa Occidental se sitúa por encima del 40% sobre el total producido y la tasa de reciclado media a nivel europeo (reciclado/ producción) se sitúa por encima del 28%, superando con creces el objetivo establecido en la directiva Europea de Envases y Residuos de Envases.

Manejo de residuos sólidos en México ⁹

Al proceso orientado a administrar eficientemente los recursos naturales de un determinado territorio, buscando mejorar la calidad de vida de la población, desde un enfoque de desarrollo sustentable se le denomina gestión ambiental. Está conformada por una serie de acciones y programas que las autoridades municipales deben diseñar tomando en cuenta todos los elementos que pueden impactar al ambiente en su localidad: gestión integral del agua, gestión integral del aire; gestión integral de los residuos; gestión integral de la flora y fauna silvestres, así como gestión integral de la biodiversidad y las áreas naturales protegidas

La gestión integral de los residuos sólidos municipales (GIRSM) tiene que ser considerada como una parte integral de la gestión ambiental. Se define como la disciplina asociada al control y manejo integral de los residuos sólidos en México (reducción en la fuente, re-uso, reciclaje, barrido, almacenamiento, recolección, transferencia, tratamiento y disposición final) en una forma que armoniza con los principios de la salud pública, la economía, la ingeniería, la conservación, la estética y otras condiciones ambientales, que responde a las expectativas públicas. Dentro su ámbito, la gestión integral de residuos sólidos en México incluye las funciones administrativas, financieras y legales de planificación y de ingeniería involucradas en las soluciones de los problemas relacionados con los residuos sólidos. Las soluciones pueden implicar relaciones interdisciplinarias complejas entre diversos campos como la ciencia política, el urbanismo, la planificación regional, la geografía, la economía, la salud pública, la sociología, la demografía, las comunicaciones y la conservación, así como la ingeniería y la ciencia de los materiales.

Los problemas asociados a la gestión integral de residuos sólidos en México en la sociedad actual son complejos por la cantidad y naturaleza diversa de los residuos, el desarrollo de zonas urbanas dispersas, las limitaciones de fondos para los servicios públicos, las repercusiones de la tecnología y las limitaciones emergentes de energía y materias primas. El enfoque tradicional para el manejo de los residuos sólidos ha influido significativamente en las decisiones y estrategias a nivel local, estatal, nacional e internacional durante los últimos 25 años que se le conoce comúnmente con el nombre de jerarquía de manejo de

residuos sólidos, la cual establece prioridad en las opciones de manejo de residuos a través de un orden de preferencia que parte de la reducción en la fuente, como primera opción, hasta la disposición en sitios sanitarios controlados como última.

Jerarquía de manejo de residuos sólidos en México, Reducción en la fuente, Reutilización y reciclaje, Tratamiento, Disposición final

Este programa carece de un plan para reciclar el poliestireno y solo se refiere a él como “si es necesario utilizar productos desechables, procurando que sean de cartón y no de poliestireno” para la reducción en la generación de residuos. Sin embargo, esta solución es poco práctica ya que en muchos productos se requiere de un empaque, por lo que la reducción o eliminación total de cierta clase de empaques no contribuye de manera importante a disminuir los flujos totales de residuos.

Residuos de poliestireno expandido⁴

En la ciudad de México se producen en promedio 12 mil toneladas de basura al día de las cuales solo se recicla entre el 12 y el 15 %. De acuerdo con el INEGI, la generación de residuos sólidos va en aumento. El poliestireno expandido (unicel), junto con otros plásticos, tienen como destino final los rellenos sanitarios, de los cuales existen en México existen 89, 3 de ellos en el Distrito Federal. La tabla 5 muestra la producción de basura en México

Tabla 5 Generación de residuos sólidos municipales por tipo de basura cifras INEGI

Miles de toneladas

Tipo de Basura	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Total	30510	31959	29272	30550	30952	30733	31489	32174	32916
Papel, cartón productos de papel	4293	4497	4119	4298	4355	4324	4430	4527	4909
Textiles	455	476	4736	455	461	458	469	479	495
Plásticos	1336	1400	1282	1338	1356	1346	1379	1409	2013
Vidrios	1800	1886	1727	1802	1826	1813	1858	1898	2158
Metales	885	927	849	886	898	891	913	933	1048
Aluminio	488	511	468	489	495	492	504	515	587
Ferrosos	246	257	236	246	249	247	253	259	283
Otros ferrosos	151	158	145	145	153	152	156	159	178

Tabla 6 Generación, recolección y disposición final de residuos sólidos municipales

2000-2008 Fuente INEGI

Método	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Generación de residuos sólidos urbanos	30.55	30.952	30.733	31.488	32.173	32.915	34.602	35.383	36.135
Recolección	25.854	26.194	26.009	26.648	27.669	28.636	30.106	31.257	31.928
Rellenos sanitarios	15.877	16.468	14.490	15.252	15.579	17.431	18.318	19.221	19.772
Rellenos de tierra controlados	1.007	.507	2.421	3.351	3.630	3.709	3.986	3.637	3.763
Sitios no controlados (tiraderos a cielo abierto)	12.945	13.286	13.096	12.141	12.182	10.954	11.401	11.337	11.423

El desarrollo de la industria del plástico ha contribuido al desarrollo de diversos sectores, como el automotriz, el industrial, las comunicaciones, los alimentos, el farmacéutico y el agrícola, debido al reemplazo de materiales convencionales: (madera, papel vidrio y metal) por plástico. Estos cambios, han modificado los hábitos de consumo de la población, propiciando el uso de una gran cantidad de materiales plásticos que se convierten en desechos y ocasionan un problema de contaminación. En los últimos años; se ha generalizado el cuidado del medio

ambiente y de los recursos materiales; por ello los plásticos enfrentan uno de los retos más importantes desde su introducción en el mercado, ya que sus ventajas, como resistencia a la degradación y economía con respecto a otros países, están siendo cuestionadas por su impacto ambiental. Algunos países han creado medidas legislativas, como retornabilidad y reglamentación en el uso de materiales para reciclado. El interés por el reciclaje de plásticos tiene como beneficios el mejoramiento ecológico y la generación de nuevas industrias que puedan resolver los problemas de contaminación, asociados a la obtención de utilidades y producción de empleos.

¿Que se está haciendo?

El objetivo de este proyecto de tesis, es encontrar alternativas tecnológicas para el aprovechamiento de poliestireno residual, y evitar la acumulación de estos materiales en vertederos de basura. Es necesario mencionar las alternativas existentes, así como los trabajos de investigación que se están llevando a cabo con el mismo fin.

La cantidad de desperdicios de poliestireno ha estado creciendo en los últimos años, debido al incremento de su uso como aislante acústico, protección de electrodomésticos, almacenaje de productos alimenticios, entre otros. La acumulación continua de desperdicios representa un serio problema en todo el mundo. El reciclado de estos desperdicios ha recibido atención significativa en todo el mundo, debido en los cambios en regulación y problemas ambientales, incrementándose los costos de tiraderos y disminuyendo los espacios para ellos.

Ello ha obligado a considerar alternativas adecuadas para la disposición de materiales de residuo de poliestireno.

Las dos alternativas para tratamiento de desperdicios poliméricos son el reciclado energético, donde los desperdicios son incinerados, y la segunda alternativa actual es el reciclado mecánico. Sin embargo, los argumentos ambientales sobre emisiones tóxicas han constituido resistencia pública contra los procesos de incineración. El reciclado mecánico (la conversión de pedazos de polímero en nuevos productos) en contraparte, es una forma popular de recuperación y es llevada a cabo en desperdicios de polímeros sencillos.

De cualquier forma, el mercado de polímeros reciclados puede ser comparado en calidad con el original²⁶. Desafortunadamente, el proceso de recuperación de estos desperdicios es mucho más caro que el plástico original. Por otro lado estos procesos de reciclado tienen otros problemas económicos relacionados a los costos de transportación. La transportación de altos volúmenes hacen económicamente improbable estos procesos. Es por ello que deberán explorarse otros planes de proceso para reducir los costos de los procesos mencionados anteriormente. Lo anterior puede lograrse con la disolución en el solvente adecuado, con el fin de reducir los volúmenes en más de 100 veces, sin degradación de las cadenas poliméricas. Es bien sabido que los compuestos aromáticos son buenos disolventes del poliestireno expansible.

En este trabajo²⁶ se estudia la solubilidad de el poliestireno expandible en diversos solventes, tales como benceno, tolueno, xileno, y tetrahidrofurano.

Desafortunadamente, estos disolventes no pueden ser considerados como “disolventes verdes”, pero presentan una opción viable para el reciclado de materiales de desecho.

Por otro lado, se están llevando a cabo investigaciones donde se analiza el tratamiento de poliestireno expansible con d-limonene²⁶ (principal componente de el aceite extraído de cáscaras de cítricos), eucaliptol, y nitrobenceno, como alternativa para la solubilización de poliestireno. Se propone un reciclado de poliestireno extruído en dos pasos: primero la disolución de poliestireno con disolventes adecuados en el mismo lugar donde el residuo es producido. El segundo paso es la eliminación del disolvente por destilación en una planta de reciclaje. En este trabajo²⁶ se evalúa la degradación del polímero en el proceso de solución.

Con el fin de aprovechar los materiales de desperdicio de poliestireno, se realizó una investigación²⁷ que propone recuperar energía de los residuos provenientes de plásticos. Al combinar estos residuos con biodiesel, y dado que el poliestireno es 27% en peso de todo el volumen del plástico, es atractivo desarrollar métodos para convertir estos desperdicios en energía. La idea de este proyecto²⁷ es utilizar la mezcla biodiesel – poliestireno en un automotor como combustible.

El biodiesel es un combustible biodegradable y es un buen disolvente para ciertos materiales (incluyendo el poliestireno), por lo que representa una alternativa para el aprovechamiento de la energía recuperada a partir de materiales de

desperdicio. Se han realizado pruebas con empaques de poliestireno a diferentes concentraciones, y los resultados obtenidos²⁷ muestran que el poder del motor se vio incrementado cuando aumenta la concentración de poliestireno y disminuye cuando ésta es mayor al 5% en peso.

El incremento reportado²⁷ del poder de la maquinaria fue debido al mejoramiento en el tiempo de inyección, a partir del aumento de la masa viscosidad de la mezcla combustible, mientras que la disminución del poder del motor a concentraciones muy altas de poliestireno, es debido a las altas viscosidades de las mezclas de poliestireno. Se encontraron también emisiones de NOX, hollín, CO y HC, cuando la concentración de poliestireno en la mezcla es muy alta.

Se propone²⁷ que la mezcla biodiesel – poliestireno, puede ser utilizada satisfactoriamente en automóviles de diesel, aplicando pequeñas modificaciones en el sistema de combustión, así como ajustes apropiados de las condiciones de operación, por lo que representa una alternativa viable para el reciclaje de estos materiales de residuo, para aprovechar sus propiedades, y evitar su acumulación.

Existe además una investigación²⁸ que propone la conversión de plásticos peligrosos en productos químicos útiles mediante el uso de Azoisobutilnitrilo (AIBN) utilizado como agente iniciador, en una serie de reacciones binarias con el fin de pirolizar el plástico. Los plásticos utilizados en este proyecto²⁸ fueron LDPE, HDPE, PET y PS.

El uso de AIBN en la pirólisis de plásticos, parece una opción factible y representa una alternativa amigable a procesos catalíticos para maximizar los combustibles líquidos.

Existe una alternativa tecnológica similar a la presentada en este trabajo de tesis, la cual presenta los resultados de la aplicación de la técnica de disolución re-precipitación en el reciclado de polímero de desperdicios de plásticos de empaque usados en comida, farmacéuticos y detergentes²⁹.

La técnica denominada, “disolución re-precipitación” ha sido aplicada en el reciclado de plásticos basados en polietileno de alta y baja densidad, polipropileno, poliestireno, polietilen tereftalato y PVC.

Mediante esta técnica el polímero puede ser separado y reciclado usando un sistema solvente-no solvente. La base solvente incluye etapas de tratamiento de desperdicios plásticos con disolventes en los que los materiales poliméricos son disueltos y recuperados por re precipitación. Este proceso tiene la ventaja de que es posible llevarse a cabo con mezclas de polímeros basadas en el principio de disolución selectiva.

La recuperación del polímero son registrados y los posibles cambios estructurales durante el proceso de reciclado por electroscopía de FTIR²⁹.

La degradación del polímero durante el proceso de reciclado fue evaluada midiendo las propiedades térmicas (punto de fusión, cristalinidad, temperatura de transición vítrea) antes y después del proceso. Las propiedades moleculares (peso molecular promedio) fueron evaluadas usando viscosimetría, así como sus propiedades mecánicas.

Entre las ventajas de este método se mencionan las siguientes:

- 1.- El desperdicio de plástico es convertido en una forma aceptable de fabricación de equipo (pequeños granos).
- 2.- El valor agregado del proceso de polimerización se mantiene intacto en los polímeros reciclados, libre de cualquier contaminante y puede ser utilizado para cualquier clase de aplicación, mientras que el producto final es competitivo en calidad, con el material original.
- 3.- Los aditivos y contaminantes insolubles pueden ser removidos fácilmente por filtración, dejando al material puro.
- 4.- Exceptuando el calentamiento por disolución no existe degradación de los materiales durante el proceso de reciclado.

Este método ha sido estudiado en el recuperado de una variedad de materiales poliméricos entre los que se incluyen PVC, polietileno de baja densidad, polietileno de alta densidad, polipropileno poli (tereftalato de etileno), y mezclas de polímeros. Hoy en día el reciclaje basado en disolución es usado en escala industrial para recuperar PVC³⁰.

En esta investigación²⁹ la técnica de “disolución re-precipitación” fue usada como un proceso efectivo de reciclado de plásticos de empaque.

Las condiciones experimentales apropiadas, incluido el tipo de disolvente, concentración de polímero y temperatura de disolución, fueron seleccionadas en base al correspondiente material polimérico

Capítulo 2

Esmaltes y Pegamentos¹³

El término solubilidad se refiere a la capacidad de una sustancia para ser disuelta en un disolvente a una temperatura y una presión dada. El fenómeno de disolución es el resultado de la “similitud energética y geométrica” que existe entre las moléculas del soluto y el disolvente. La disolución implica la interacción entre moléculas: inicialmente, se modificarán las interacciones disolvente-disolvente por la presencia de las moléculas de soluto para después generar interacciones soluto-disolvente, en las que tipo de interacciones existentes y su magnitud son factores que repercuten en la espontaneidad del proceso. Conceptualmente, podemos separar la disolución en varias etapas. La primera consiste en la formación de una cavidad en el disolvente para acomodar al soluto, rompiendo las fuerzas cohesivas del disolvente. Después, las fuerzas de dispersión se activan; éstas son universales pues se aplican tanto a solutos y disolventes no polares y altamente polarizables como a polares y a no polares. Por último, son activadas otras fuerzas que contribuyen con interacciones de moléculas polares con moléculas polares o polarizables y con las interacción donador receptor, como el puente de hidrógeno. Esto es una aproximación para separar las etapas conceptuales en distintas contribuciones a la energía libre de Gibbs total de mezclado. A diferencia de lo que ocurre en el caso de moléculas pequeñas, cuando un polímero se disuelve, primero ocurre la solvatación y penetración de moléculas de disolvente en el polímero, hinchándolo. Los polímeros lineales y

ramificados se disuelven en un segundo paso, pero los polímeros entrecruzados permanecen en la primera condición.

Teoría de soluciones ¹⁰

El objetivo de la teoría de soluciones es expresar las propiedades de la mezcla en términos de fuerzas intermoleculares y de la estructura de la mezcla líquida. Cuando dos o más líquidos puros son mezclados para formar una solución, se generan sistemas con diferentes propiedades. La teoría más simple de las soluciones líquidas es la propuesta por Raoult:

$$p=P^{\circ}x \quad \text{Ec(1)}$$

A presiones bajas, esta relación muestra aproximaciones razonables para el caso de mezclas líquidas en las que sus componentes son químicamente similares. La relación de Raoult es exacta solo cuando los componentes de la mezcla son químicamente similares en tamaño molecular, forma y fuerzas intermoleculares. La relación de Raoult se usa como referencia para expresar las desviaciones que presentan soluciones reales con respecto del comportamiento ideal. A partir de los trabajos de G. N. Lewis se ha expresado el comportamiento de soluciones reales en términos de coeficientes de actividad, descritos en función de propiedades (o constantes) con significado molecular.

Para que una teoría física sea exitosa, es necesario asumir simplificaciones adecuadas. Abarcar la totalidad de los fenómenos involucrados en un problema es

realmente difícil. La diferencia entre trascender o no en el modelo planteado consistirá, principalmente, en la construcción de un modelo que concuerde con los resultados experimentales o que resulte meramente teórico.

La teoría de Van Laar¹⁰

Van Laar consideró una mezcla de dos líquidos: x_1 moles del líquido 1 y x_2 moles del líquido 2, asumió que el mezclado de los dos líquidos se realizó a presión y temperatura constantes, de tal manera que el $\Delta V_{\text{mezclado}} = 0$ y que la entropía de exceso es igual a cero, $S^E=0$ Por lo tanto a presión constante:

$$g^E = u^E + Pv^E - Ts^E \quad \text{Ec (2)}$$

Para calcular el cambio de energía de mezclado, Van Laar construyó un ciclo termodinámico isotérmico de tres pasos, en el cual los líquidos son inicialmente vaporizados a una presión baja arbitraria, mezclados a esa presión y comprimidos. El cambio de energía es calculado para cada paso y dado que el cambio de energía de mezclado es una función de estado independiente de la trayectoria, el cambio de energía en el mezclado, Δu , está dado por la suma de los tres cambios de energía. Esto es:

$$\Delta u = u_1^E = \Delta u_1 + \Delta u_2 + \Delta u_3 \quad \text{Ec (3)}$$

Los líquidos son vaporizados isotérmicamente hacia el estado de gas ideal. El cambio de energía asociado a este paso es calculado por la siguiente ecuación termodinámica:

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V - P \quad \text{Ec (4)}$$

Van Laar asumió que las propiedades volumétricas de los líquidos puros están dadas por la ecuación de Van der Waals, en este caso:

$$\left(\frac{\partial u}{\partial v}\right)_T = \frac{a}{v^2} \quad \text{Ec (5)}$$

Donde a es una constante de la ecuación de Van der Waals. Con x_1 moles de líquido 1 y x_2 moles de líquido 2, obtenemos exactamente una mol de mezcla.

Entonces:

$$g^E = \frac{x_1 x_2 b_1 b_2}{x_1 b_1 + x_2 b_2} \left(\frac{\sqrt{a_1}}{b_1} - \frac{\sqrt{a_2}}{b_2} \right)^2 \quad \text{Ec (6)}$$

$$x_2 (u_{ideal} - u)_i = \int_{v_2^L}^{\infty} \frac{a_2 x_2}{v^2} dv = \frac{a_2 x_2}{v_2^L} \quad \text{Ec (7)}$$

Donde U_{ideal} es la energía del gas ideal y v^L es el volumen molar del líquido puro.

De acuerdo con la ecuación de Van der Waals, la temperatura crítica del volumen molar de un líquido puede ser remplazada aproximadamente por la constante b

Así:

$$\Delta u_i = \frac{a x_1}{b_1} + \frac{a_2 x_2}{b_2} \quad \text{Ec (8)}$$

El mezclado isotérmico de gases a baja presión (Mezcla ideal de gases) se lleva a cabo sin mezcla de energía:

$$\Delta u_{II} = 0 \quad \text{Ec (9)}$$

La mezcla ideal de gases se comprime isotérmicamente y se condensa a la presión original. Van Laar consideró que las propiedades volumétricas de la mezcla están dadas por la ecuación de Van der Waals:

$$\Delta u_{III} = -\frac{a_{mezcla}}{b_{mezcla}} \quad \text{Ec (10)}$$

Es necesario expresar las constantes a y b en términos de las constantes de los componentes puros. Van Laar usó las siguientes expresiones:

$$a_{mezcla} = x_1^2 a_1 + x_2^2 a_2 + 2x_1 x_2 \sqrt{a_1 a_2} \quad \text{Ec (11)}$$

$$b_{mezcla} = x_1 b_1 + x_2 b_2 \quad \text{Ec (12)}$$

La ecuación para escribir a_{mezcla} implica que solo las interacciones entre dos moléculas son importantes y que a es la constante característica de las interacciones entre dos moléculas diferentes y es determinada como una media geométrica. La ecuación para b_{mezcla} se construye a partir de la consideración de que no existe cambio de volumen en el mezclado de dos líquidos. Utilizando las ecuaciones anteriores se llega a una expresión para g^E :

$$g^E = \frac{x_1 x_2 b_1 b_2}{x_1 b_1 + x_2 b_2} \left(\frac{\sqrt{a_1}}{b_1} - \frac{\sqrt{a_2}}{b_2} \right)^2 \quad \text{Ec (13)}$$

La concordancia entre la ecuación de Van Laar y los resultados experimentales no es buena, debido a que el uso de la ecuación de Van der Waals implicó asumir simplificaciones adecuadas, haciendo el problema manejable sin alterar de manera importante su realidad física.

Parámetro de solubilidad ¹¹

La naturaleza de las mezclas líquidas puede ser interpretada en términos de interacciones moleculares. Según la magnitud de las fuerzas de interacción, se pueden clasificar como reactivas y no reactivas. La no-idealidad de soluciones se puede interpretar si se consideran ambas fuerzas, las químicas y físicas; la situación real de la solución se ubica entre estos dos extremos. La aproximación del parámetro de solubilidad se enfoca básicamente en fuerzas físicas, pero la introducción de interacciones específicas añade un grado más preciso en la predicción de propiedades.

Las teorías más complejas del estado líquido y soluciones involucran expresiones sumamente complejas que ligan energía térmica, volumen e interacciones moleculares. No obstante lo anterior, para la mayor parte de los casos prácticos es útil hacer simplificaciones. Se ha encontrado que un buen disolvente o mezcla de disolventes para un polímero tiene un parámetro de solubilidad muy cercano al del soluto.

Hace 50 años, Hildebrand introdujo el concepto de densidad de energía cohesiva para explicar las relaciones de solubilidad. La densidad de energía cohesiva de un líquido es el cociente entre la energía isotérmica de vaporización del sistema en el estado ideal, y el volumen del líquido. La raíz cuadrada de la densidad de energía cohesiva es llamada parámetro de solubilidad (δ) comúnmente expresado en unidades Hildebrand (Hildebrand = 1 (cal cm⁻³)^{1/2}).

Hildebrand mostró que la entalpía de mezclado para una mezcla binaria (no polar) puede ser expresada por la siguiente ecuación:

$$\Delta H_{\text{mez}} = (x_1 V_1 + x_2 V_2) \Phi_1 \Phi_2 \quad \text{Ec (14)}$$

Donde Φ es la fracción de volumen expresada como sigue:

$$\theta_1 = \frac{x_1 V_1}{x_1 V_1 + x_2 V_2} \quad \text{Ec (15)}$$

$$\theta_2 = \frac{x_2 V_2}{x_1 V_1 + x_2 V_2} \quad \text{Ec (16)}$$

Así mismo el intercambio de energía cohesiva dado por la siguiente expresión es:

$$\text{Intercambio de energía cohesiva} = (\delta_1 - \delta_2)^2 \quad \text{Ec (17)}$$

A partir de las ecuaciones se puede estimar la solubilidad y la entropía de mezclado. Para mezclas binarias de moléculas no polares de tamaño similar, la entropía ideal de mezclado es:

$$\Delta S_{\text{mez}} = -R(x_1 \ln X_1 + x_2 \ln X_2) \quad \text{Ec. (18)}$$

Por ello, el parámetro de solubilidad para solventes regulares (solventes no polares en los cuales la interacción entre las moléculas es baja, en caso contrario se necesitan correcciones) se calcula de la manera siguiente:

$$\delta = \left[D \frac{\Delta H_v - RT}{M} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ec (19)}$$

Donde H_v es la entalpía de vaporización, M es la masa molar del solvente y D su densidad. En el caso de un polímero es difícil medir la entalpía de vaporización, por lo cual Small¹⁰ introdujo una ecuación con parámetro aditivo G que es la constante de interacción y depende de grupos funcionales presentes, por lo tanto.

$$\delta = \frac{D \sum G}{M} \quad \text{Ec (20)}$$

Del cociente entre la densidad y la masa, nos da un volumen molar por lo que puede usarse en la ecuación.

Para la disolución de poliestireno δ no tiene que diferenciarse en más de 15%. Los valores de δ altos representan alto grado de polaridad. Para los disolventes que son donadores de enlaces de hidrógeno, los valores tienen que ser ligeramente corregidos. En el caso de disolventes no polares, estos pueden ser considerados como simples mezclas, por lo cual la combinación de varios solventes se puede obtener un nuevo solvente con δ deseada.

Para calcular el parámetro de solubilidad del poliestireno se emplea la ecuación siguiente:

$$\delta = \frac{\rho \sum E}{M}$$

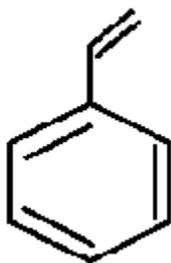
donde:

ρ =densidad de la unidad monomérica

E= Energía

M= Peso molecular de la unidad monomérica. La estructura del estireno, de acuerdo con la teoría de contribución de grupos se tiene:

Tabla 7
Aportación energética por grupo funcional



Grupo	G
Anillo aromático	745
CH ₂ =	133
-CH=	28
Total	906.28

Peso molecular = 104.15

Densidad = 1.050 g/ml

$$\delta = (1.050) \cdot (906.28) / (104.15) = 9.14 (\text{cal/cm}^3)^{1/2}$$

El poliestireno es un polímero no polar y es soluble en algunos solventes orgánicos no polares, debido en gran parte a una función de diferencia en los parámetros de solubilidad entre el poliestireno y el solvente. El parámetro que obtuvimos es de 9.03 (cal/cm³) lo cual quiere decir que es generalmente soluble en solventes con parámetro de solubilidad mas o menos de 0.9 cal/cm³

Tomando como pilar de este trabajo el parámetro de solubilidad, se procede a seleccionar el disolvente adecuado para la disolución de poliestireno.

La tabla 8 muestra valores típicos del parámetro de solubilidad de algunos polímeros a 25 °C.¹¹

Tabla 8 Parámetro de solubilidad de algunos polímeros¹⁰

Disolvente	δ 1 (cal/cm ³)	Polímero	δ 2 (cal/cm ³)
Acetato de etilo	9.04	Policloropreno	8.18
Acido acrílico	12	Poliétileno	7.9
Acilonitrilo	10.5	Poliestireno	9.1
Agua	23.5	Poliisobutileno	7.8
Benceno	9.2	Poli (metiacrilato de etilo)	8.95
2-butanona	9.3	Poli (metacrilato de metilo)	9.5
Clorobenceno	9.5	Poli (cloruro de vinilo)	9.7
Cloroformo	9.3	Poli (1,4-cis-isopropeno)	7.9
Ciclohexano	8.18	Poli-(tereftalato de etilenglicol)	10.7
Estireno	5.44	Nylon	13.6
Hexano	7.3	Poliacilonitrilo	15.4
Metanol	14.5		
Tetracloruro de Carbono	8.6		

Desarrollo experimental

De acuerdo a la información proporcionada en la tabla 8, se pueden considerar aquellos solventes en los que el poliestireno es altamente soluble con base su parámetro de solubilidad; el segundo criterio de selección será en base a su impacto ambiental, así como su toxicidad y riesgo de manejo.

Después de estudiar las propiedades físicas y químicas del poliestireno, así como sus principales usos, con base en el parámetro de solubilidad se procederá a realizar pruebas de solubilidad, para observar el comportamiento del poliestireno en solución.

Tabla 9. Pruebas de solubilidad de poliestireno¹²

Solvente	Parámetro de solubilidad	Solubilidad
n-pentano	7.08	No soluble
Dietil éter	7.38	No soluble
n-heptano	7.43	No soluble
Metilciclohexano	7.82	Solvente pobre
Diisopropil cetona	8.01	Solvente
Ciclohexano	8.21	Solvente
Perfluorobenceno	8.31	No solvente
Tricresil fosfato	8.40	No solvente
Acetato de butilo	8.50	Solvente
Tetracloruro de carbono	8.60	Solvente
Etilbenceno	8.79	Solvente

Tolueno	8.89	Solvente
Acetato de etilo	9.04	Solvente
Benceno	9.14	Solvente
2 butanona	9.28	Solvente
Cloroformo	9.28	Solvente
Estireno	9.28	Solvente
di-n-butyl ftalato	9.28	No solvente
Tetrahidrofurano	9.33	Solvente
2-etil-1-hexanol	9.48	No solvente
Clorobenceno	9.53	Solvente
Metil isobutil cetona	9.58	Solvente
Cloruro de Metileno	9.72	Solvente
Acetona	9.82	Solvente pobre
Ciclohexanona	9.87	Solvente
Alcohol Isoamilico	9.97	No solvente
Dimetil- tetrahidrofurano	8.26	Solvente
Dietil ftalato	9.97	Solvente
Dioxano	9.97	Solvente
Disulfuro de Carbono	9.97	Solvente
4 metil – 2- pentanol	9.97	No solvente
Glico éteres	9.97-11.48	No solvente
Ácido Acético	10.11	No solvente
o-diclorobenceno	10.21	Solvente
1-nitropropano	10.31	Solvente
Ciclopentanona	10.36	Solvente
1,2-dibromoetano	10.41	Solvente
2-etil-1butanol	10.46	No solvente
Piridina	10.70	Solvente
Dimetil ftalato	10.70	Solvente
Nitropopano	10.70	Solvente

Sec-butanol	10.80	No solvente
Nitroetano	10.80	Solvente pobre
n-butanol	11.09	No solvente
Dioxano	11.43	Solvente
Acetonitrilo	11.83	No solvente
n-propanol	11.92	No solvente
N,N-dimetilformamida	12.07	Solvente
Cloruro de etileno	12.22	No solvente
Nitrometano	12.71	No solvente
Etanol	12.80	No solvente

Se realizaron pruebas de disolución de poliestireno en los solventes propuestos, utilizando tubos de ensaye y el disolvente. El poliestireno se adiciona lentamente y si el solvente es capaz de disolverlo se le consideraba como opción para la posterior fabricación del esmalte. Para algunos solventes, fue necesario aumentar la temperatura. Tal fue el caso del ciclohexano, que requirió una temperatura de 35 °C, evitando que se perdiera el solvente por evaporación. Se realizaron pruebas con el poliestireno en presencia de plastificantes, para poder observar el comportamiento del polímero ante este tipo de agentes, que los convierten en una solución pastosa e insoluble en agua. Se realizaron pruebas con mezclas de disolventes, con el fin de tener un sistema ternario que pudiera disolver al poliestireno y cumpliera con las características de viscosidad, adherencia y tiempo de evaporación deseadas. La mezcla ciclohexano acetona, cumplió con los requerimientos solicitados. Un factor importante a tomarse en cuenta es la rapidez de evaporación, que es el tiempo que tarda el solvente en abandonar la solución.

Durante este proceso la función, del solvente es controlar las características de flujo mientras se forma la película: si el solvente se evapora muy rápido la película no tendrá tiempo de desarrollar una buena adhesión, pero si la evaporación es muy lenta la película se desprenderá o se volverá delgada. Por lo tanto, es muy importante la rapidez de evaporación del sistema, ya que puede mejorar la calidad del esmalte. A continuación se presenta la tabla 10, que contiene diferentes solventes en base a su rapidez de evaporación relativa.

Tabla 10. Rapidez relativa de evaporación relativa de disolventes (n-Butil Acetato=1)¹⁶

Grupo Funcional	Solvente	Rapidez relativa de evaporación
Cetonas	Acetonas	5.7
	Metil etil cetona	3.8
	Metil n propil cetona	2.3
	Metil isobutil cetona	1.6
	Metil isoamil cetona	0.5
	Metil n amil cetona	0.4
	Diisobutil cetona	0.2
	Ciclohexano	0.3
	Alcohol diacetona	0.12
Ésteres	Acetato de metilo	5.3
	Acetato de etilo	4.1
	Acetato de isopropílico	3.0
	N-propil acetato	2.3
	Iso butil acetato	1.4
	N-butil acetato	1.0
	P-amil acetato	0.4
	Isobutil isobutirato	0.4
Alcoholes	Alcohol metílico	3.5
	Alcohol etílico	1.7
	Alcohol isopropílico	1.7
	Alcohol n-propílico	1.0
	Alcohol sec-butílico	0.9
	Alcohol isobutílico	0.6
	Ciclohexanol	0.005

Selección de disolventes

Con base en los datos anteriores, se procedió a seleccionar el mejor disolvente para la fabricación de un esmalte o laca para ser aplicado sobre superficies como madera, papel o vidrio y observar así su comportamiento. Se buscaba que el esmalte tuviera adherencia a la superficie aplicada, así como un secado rápido en la superficie.

Se buscaba un disolvente de los llamados solventes verdes que tengan un menor impacto ambiental, así como un mínimo daño fisiológico para la persona. Es necesario usar un disolvente con una presión de vapor relativamente alta, con el fin de poder retirar el solvente del poliestireno en solución y así poder utilizar únicamente el polímero como una laca en la superficie seleccionada. Una vez encontrando el solvente con un parámetro de solubilidad apropiado para la selección final, se consideraban otros factores como propiedades físicas, químicas, toxicidad y usos.

Tabla 11 Propiedades de los solventes propuestos¹²

Solvente	Fórmula	Peso molecular (g/mol)	Composición
Acetato de etilo	$\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3$	88.1	C: 54.53% H: 9.13%

			O: 36.32%
Acetato de butilo	$\text{CH}_3\text{COOCH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{C}$ H_3	116.16	C: 61.98% H: 10.33% O: 27.54%
Tolueno	C_7H_8	92.13	C: 91.25% H: 8.75%
Xileno	C_8H_{10}	106	C: 91.25% H: 8.75%
Acetona	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$	58.08	C: 62.04% H: 10.41% O: 27.55%
Hexano	C_6H_{14}	86.17	C: 86.17% H: 16.38%

NFPA¹³ National Fire Protection Association. Esta asociación creó un rombo de colores, mediante el cual se representa el riesgo de una sustancia química ante un siniestro con números del 0 al 4.

Tabla 12 Evaluación del riesgo de acuerdo a la National Fire Protection Association

Solvente	Salud	Inflamabilidad	Reactividad
Acetato de etilo	1	3	0
Acetato de butilo	1	3	0
Tolueno	2	3	0
Xileno	2	3	0
Acetona	1	3	0
Hexano	3	4	2

Con estos datos se seleccionó al acetato de etilo como solvente debido a que es muy volátil, y que puede disolver una cantidad considerable de poliestireno.

Se iniciaron las pruebas con el disolvente seleccionado a fin de buscar dos regiones en la viscosidad: una para trabajar la formación de un esmalte para madera, y recubrimientos para papel, y la segunda con una zona de viscosidad mayor para la formulación de un adhesivo.

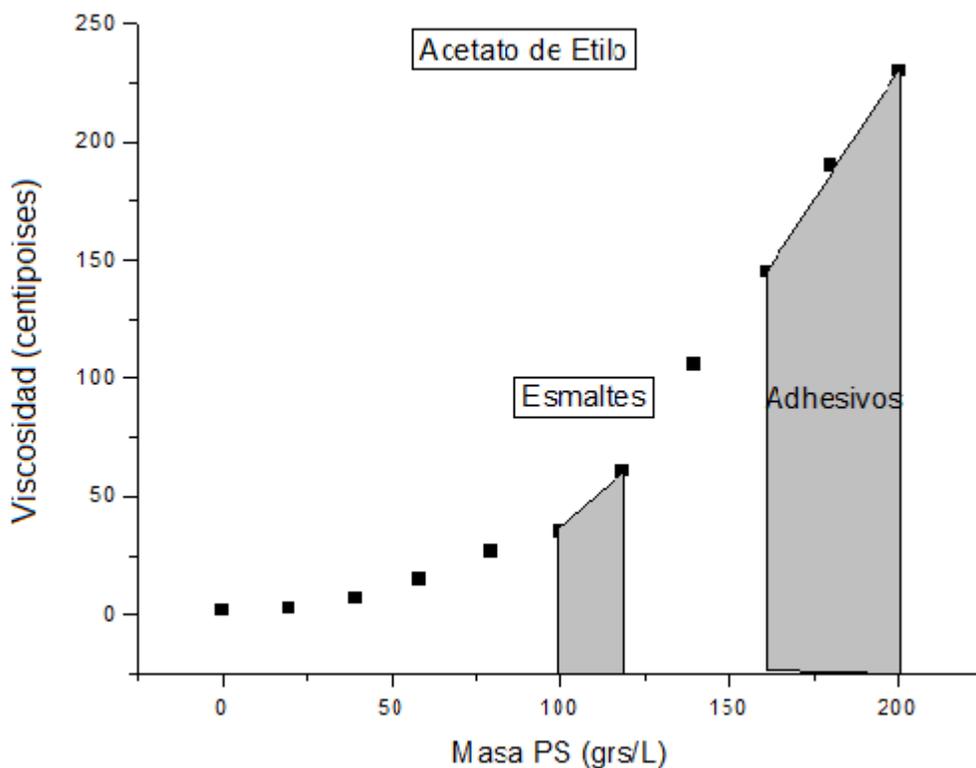
Desarrollo experimental

Una vez seleccionados los disolventes, se procede a las pruebas de viscosidad, necesarias para obtener un buen esmalte. Para ello se utilizó un viscosímetro Brookfield. Todos los viscosímetros Brookfield utilizan el principio de la viscosimetría rotacional, es decir miden la viscosidad captando el par de torsión necesario para hacer girar a velocidad constante un husillo inmerso en la muestra de fluido. El par de torsión es proporcional a la resistencia viscosa sobre el eje sumergido, y en consecuencia, a la viscosidad del fluido.

Desarrollo

Para preparar un esmalte para madera, con base en poliestireno residual y acetato de etilo se pesó el poliestireno residual expandido (unicel de deshecho, en forma de vasos) en la balanza digital para después agregarlo a la solución de acetato de etilo, la cual fue sometida a un control de temperatura para evitar la evaporación. El unicel se corta en pedazos pequeños, para facilitar la disolución del polímero en el solvente. Una vez que el polímero se encuentra totalmente disuelto en el solvente, se procede a medir la viscosidad con el Brookfield, que reporta la

viscosidad en centipoises. La tabla 6 del anexo, muestra la viscosidad de la mezcla en función de la concentración del polímero en solución. Se puede apreciar el comportamiento de la viscosidad como un aumento exponencial en función de la masa de poliestireno agregada. Esta grafica, muestra las condiciones para la formulación de esmalte, así como para la fabricación de adhesivos.

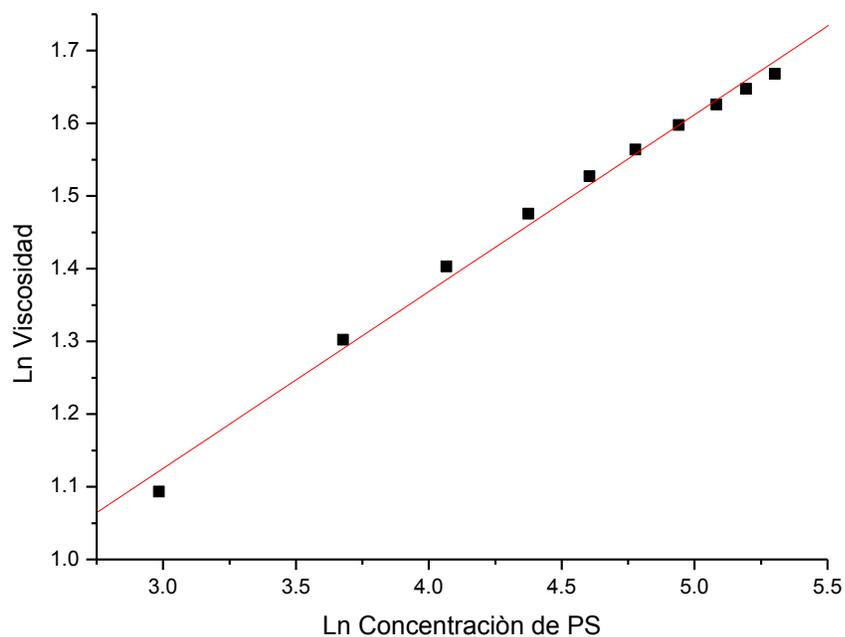


Gráfica 4 Viscosidad de la mezcla (en centipoises) en función de la concentración de poliestireno (gr/L)

Para realizar esta prueba, se pesó el poliestireno expandido en la balanza digital, para después agregarlo lentamente y en pequeños pedazos, a la solución de acetato de etilo, la solución de acetato de etilo fue sometida a un control de temperatura para evitar en la medida de lo posible la evaporación y evitar así, la pérdida de solvente.

En esta gráfica, se aprecian dos zonas; la primera, denominada zona para esmalte, que es la zona que vamos a trabajar para la fabricación del esmalte para madera, papel y recubrimientos, es una zona con una baja viscosidad; la segunda zona, es la que corresponde a los adhesivos, la cual tiene una viscosidad mayor.

Con el fin de linealizar los datos, se obtiene el logaritmo natural de la viscosidad en centipoises, así como de la concentración del polímero en g/L.



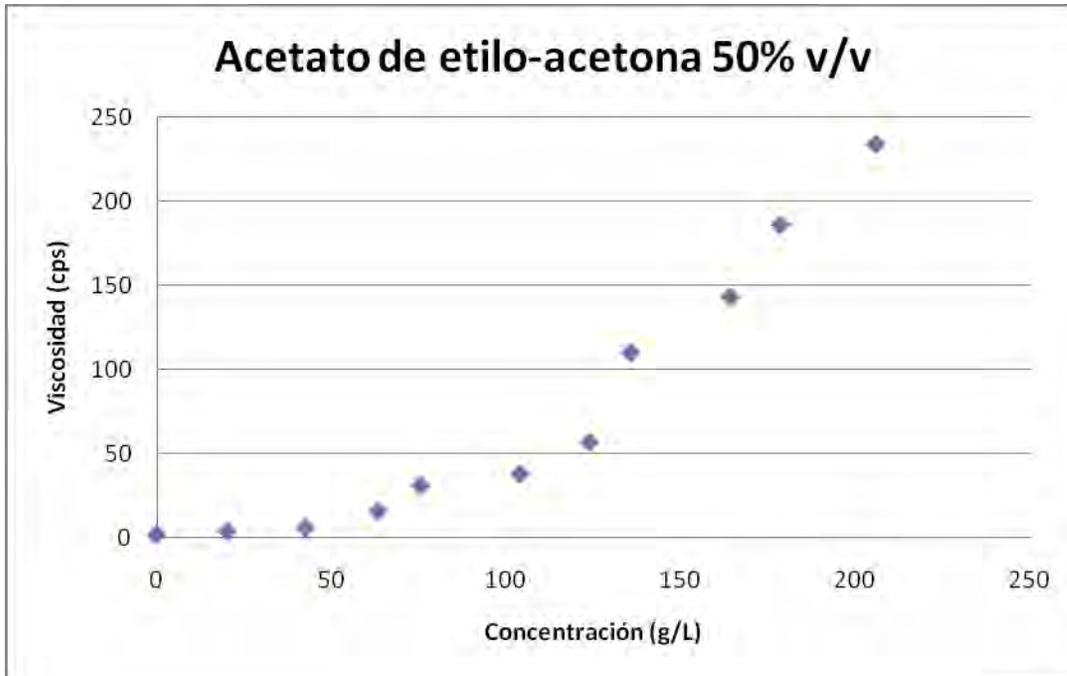
Gráfica 5. Linealización de la Concentración vs la Viscosidad

Sistema acetato de etilo-acetona

Se realizó la mezcla de acetato de etilo y acetona con el fin de observar la solubilidad del polímero en la mezcla de los disolventes. Se propone una mezcla al

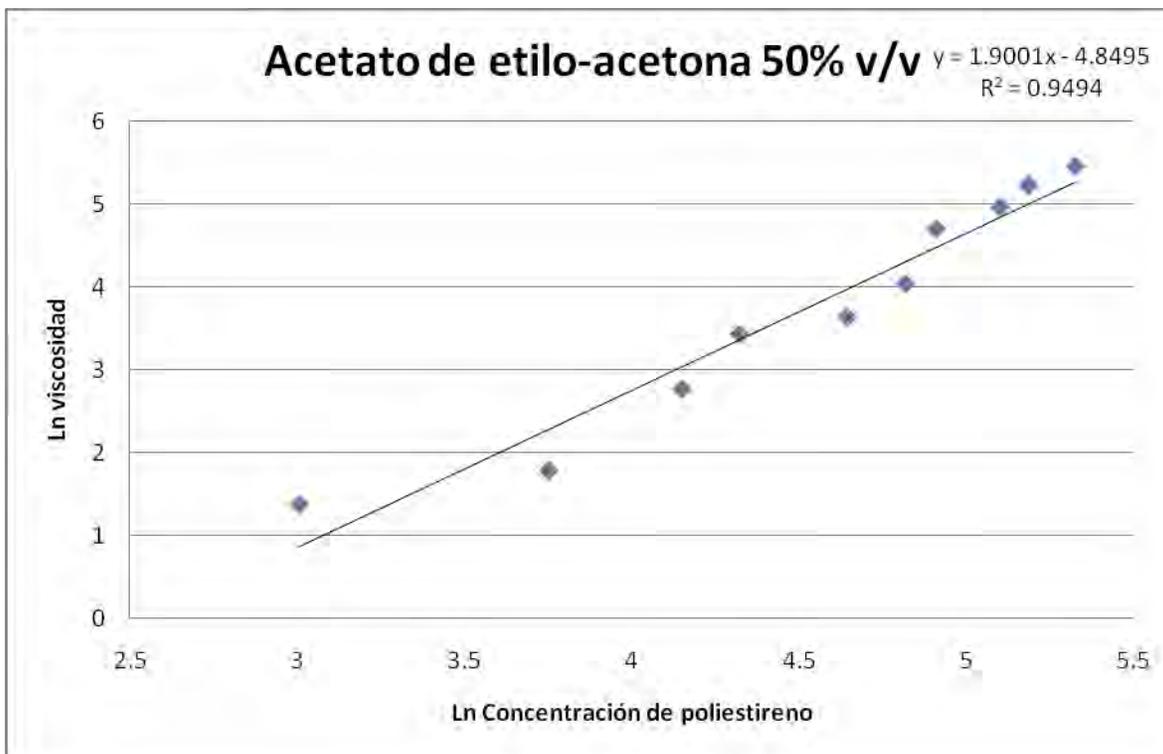
50% volumen/volumen de acetato de etilo y acetona. Al agregar el polímero las viscosidades fueron medidas con un viscosímetro de Brookfield.

La gráfica 6 muestra la viscosidad del polímero en la mezcla:



Gráfica 6. Viscosidad de la mezcla acetato de etilo-acetona 50% v/v

De igual manera, con el fin de linealizar los datos, se presenta la gráfica 7.



Gráfica 7. Linealización de la viscosidad en función de la concentración

Las propiedades de la mezcla de solventes propuesta se describen a continuación.¹⁴

Tabla13 Propiedades de la mezcla acetato de etilo-acetona

Mezcla acetato de etilo-acetona		
Composición	Densidad	Índice de refracción
0.0615	0.79368	1.35711
0.1098	0.80004	1.35794
0.156	0.80661	1.35871
0.209	0.81362	1.35958
0.26	0.81992	1.36038
0.2977	0.82451	1.36096
0.3498	0.8307	1.36175

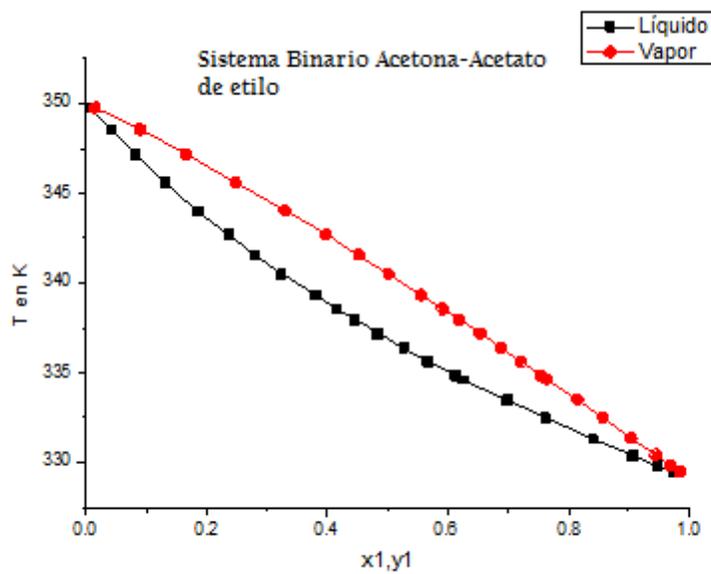
0.4011	0.83659	1.3625
0.4495	0.84198	1.3632
0.5003	0.84748	1.3639
0.5449	0.85218	1.3645
0.5967	0.85748	1.36519
0.6339	0.86121	1.36566
0.6893	0.86662	1.36635
0.7398	0.87142	1.36697
0.7785	0.87502	1.36743
0.8301	0.87971	1.36803
0.9092	0.88669	1.36892
0.9393	0.88929	1.36925

El equilibrio líquido vapor para el sistema acetato de etilo–acetona a 1 atmósfera de presión, se describen en la gráfica 7 y en la tabla 14.

Tabla 14. Equilibrio líquido vapor para el sistema binario a 1.01325 kpa¹⁵

Equilibrio líquido-vapor del sistema acetato de etilo-acetona a 101325 PA		
T en K	Líquido	Vapor
349.42	0.0105	0.0311
348.17	0.0325	0.0907
346.33	0.0683	0.1732
345.09	0.0966	0.2304
344.16	0.1214	0.2695
343.04	0.159	0.3208
341.74	0.2135	0.3806
340.93	0.2564	0.4191
340.13	0.3104	0.4599
339.43	0.3727	0.5004
338.9	0.4336	0.5356
338.47	5061	0.5748

338.26	0.5454	0.5948
338.16	0.5684	0.608
338.04	0.644	0.6498
337.99	0.6472	0.6513
338.08	0.7086	0.6888
338.3	0.7739	0.7337
338.61	0.8252	0.7754
339.19	0.8788	0.8266
340.07	0.9324	0.8908
341.09	0.9778	0.9602

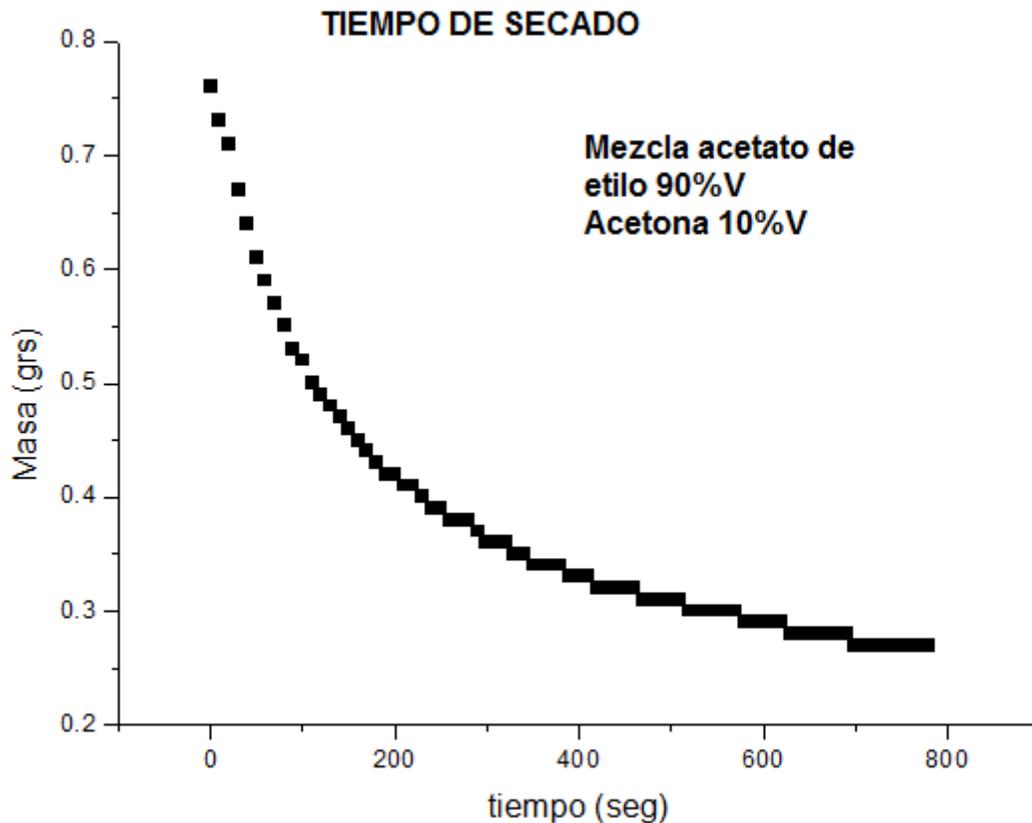


Gráfica 9. Propiedades del equilibrio líquido vapor del sistema binario acetato de etilo - acetona

Debido a que la mezcla al 50 %V/V, del sistema acetato de etilo - acetona no funcionó adecuadamente para la formulación del esmalte, ya que presentaba una capa de color blanco sobre la superficie de madera sobre la cual fue aplicada, se propone reducir la concentración de acetona a intervalos de 10%, 20% y 30% V/V en la mezcla.

Mezcla acetato de etilo 90% V y acetona 10%V

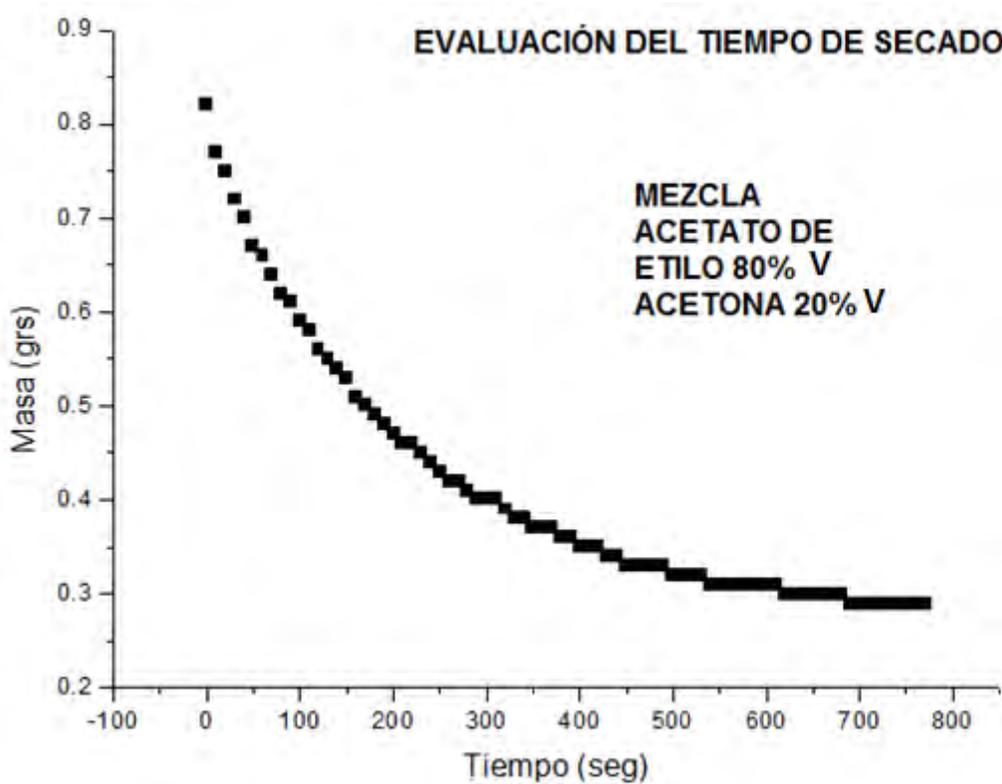
Se preparó la mezcla de acetato de etilo al 90% en volumen, con 10% de Acetona. La viscosidad obtenida para la formulación del esmalte es por debajo de 160 centipoises. El tiempo de secado resulta un factor clave en la formulación de un buen esmalte para madera, ya que si el solvente se evapora muy rápido, la película no tendrá tiempo de realizar una buena adhesión, pero si la evaporación es muy lenta, la película desaparecerá o se volverá muy delgada. Con el fin de observar si el esmalte, podía ser utilizado como recubrimiento para madera, se aplicó sobre una superficie y se midió el tiempo de secado.



Gráfica 9.- Evaluación de la pérdida de solvente en la película

Mezcla Acetato de etilo 80%V - acetona 20%V

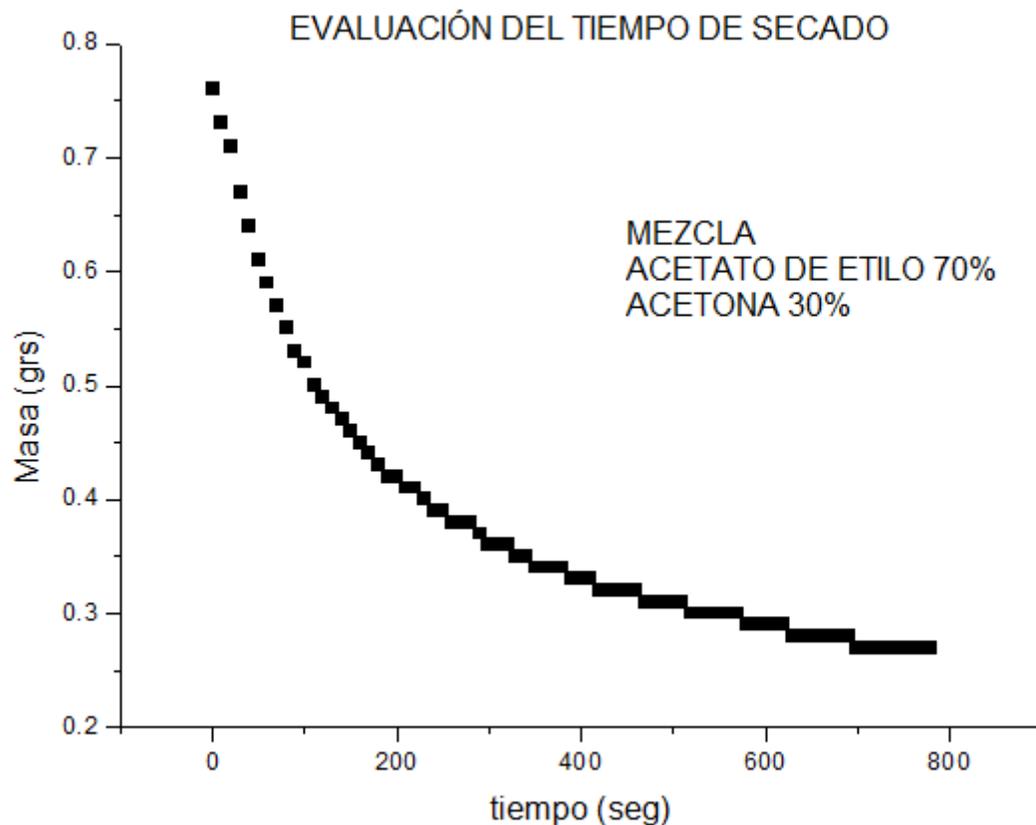
Se preparó la mezcla de acetato de etilo - acetona en las concentraciones 80% y 20%, respectivamente. Se agregó el poliestireno lentamente y en pedazos de un tamaño menor para facilitar su disolución. El esmalte obtenido se aplicó sobre una superficie de madera. Se midieron los tiempos de secado y la viscosidad con el fin de conocer el tiempo en que el solvente se evapora por completo, dejando únicamente al polímero en solución. Es necesario medir nuevamente el tiempo de secado para conocer las características de la película formada sobre la superficie de madera. La viscosidad para este esmalte fue de 130 centipoises.



Gráfica 10 Evaluación de la pérdida de solvente

Mezcla acetato de etilo 70%V acetona 30%V

Se preparó la mezcla acetato de etilo - acetona, con el fin de obtener un esmalte que será aplicado sobre una superficie de madera. Se midió el tiempo de secado sobre la superficie es decir, el tiempo que tarda el solvente en evaporarse y dejar únicamente al polímero. De esta medición se obtienen las características de la película formada, de acuerdo a las necesidades del esmalte o recubrimiento. Nuevamente se mide la viscosidad de la mezcla, de ahí se obtienen las zonas de viscosidad apropiadas para la elaboración de esmaltes y pegamentos.



Gráfica 11 Evaluación de la pérdida de solvente con el paso del tiempo

El poliestireno es soluble en todas las composiciones en el sistema ternario de acetato de etilo, acetona y hexano. Debido a su alta toxicidad, materiales como el hexano, xileno y tolueno no son considerados como opciones viables para la formulación de adhesivos o esmaltes, a pesar de que también solubilizan perfectamente al polímero, y tienen un rápido tiempo de secado. No obstante, una de las premisas originales de este proyecto, es la iniciativa del uso de solventes verdes o de un impacto ambiental mínimo.

Los recubrimientos basados en el sistema binario acetato de etilo - acetona, funcionan perfectamente como recubrimientos para madera, dando a la superficie una capa que la protege del impacto ambiental, así como una protección contra golpes. El recubrimiento con mayor estabilidad y mejor apariencia visual fue el compuesto por 90%V de acetato de etilo y 10%V de acetona. Esta concentración también es efectiva para la fabricación de un recubrimiento para papel, con el fin de proteger dibujos hechos a lápiz sin remover los pigmentos originales; el recubrimiento, además de darle protección al dibujo. Incluso se pueden cambiar las concentraciones del solvente, en función de brillo y apariencia deseados. En este caso, se aplicó el esmalte sobre un dibujo hecho a lápiz con el fin de probar el producto como un recubrimiento, así como evaluar las propiedades ópticas y la apariencia conseguida al aplicarlo. Al agregar una alta concentración del polímero en solución se puede obtener un efecto de cuarteadura.

La adhesión es el fenómeno por el cual las superficies son retenidas juntas por medio de fuerzas intermoleculares e interfaciales. De acuerdo a esta definición, un

adhesivo es una sustancia capaz de pegar dos superficies de diferente naturaleza. La fuerza molecular de adhesión es reconocida como la fuerza responsable de la cohesión de cualquier sólido, es decir, se considera que la adhesión se debe a fuerzas de enlace primarias y fuerzas de enlace secundarias o fuerzas de Van Der Waals.

La unión adhesiva

La formación de la unión adhesiva comprende las tres etapas siguientes:

- El adhesivo es aplicado a los sustratos.
- El adhesivo solidifica.
- Las propiedades de la unión permanecen constantes

Para aplicaciones prácticas se deben considerar tres tipos de uniones.

Unión enganchada. Este tipo de unión es común cuando se unen sustratos fibrosos, como papel, cartón, madera. Cuando el adhesivo es aplicado en estado líquido, este penetra los poros y entre las fibras de las superficies de los sustratos o lazos alrededor de las fibras y presenta agarre mecánico al sustrato. Después de que el adhesivo llega a su estado final, la fuerza de rompimiento de la unión depende del grado de penetración alcanzado durante su aplicación.

Unión impropia- Se forma cuando, en el momento de aplicar el adhesivo, éste presenta una película de impurezas débilmente adherida a la superficie del sustrato. Esta película puede originarse durante la aplicación del adhesivo o durante la formación de la unión.

Unión propia.- En este caso no existe ninguna película de impureza, el adhesivo esta en íntimo contacto con la superficie del material que se va a pegar y se forma la unión propiamente dicha. La fuerza de rompimiento de esta unión dependerá de la naturaleza del adhesivo.

Los factores que modifican la adherencia, de acuerdo a las observaciones realizadas en la práctica son cuatro y se mencionan a continuación:

Afinidad del adhesivo por el sustrato. Ocurre cuando el adhesivo ha mojado al sustrato y está en contacto íntimo con él. Al momento de poner el adhesivo en contacto con el sustrato (el cual debe estar libre de contaminación) se formará un ángulo de contacto Θ el cual estará en equilibrio cuando las fuerzas de la superficie en las orilla de la gota estén en balance.

La importancia de un ángulo de contacto entre un sólido y un adhesivo líquido, radica en que representa el grado en que un adhesivo se puede extender y humedecer la superficie que se va a pegar. Cuando el ángulo de contacto tiene un valor de $\Theta \geq 0$ indica que el adhesivo o no se extiende sobre la superficie o retrocede causando que el ángulo Θ tenga un valor alto, esto indica que tiene poca o nula actividad con el sustrato. Cuando el ángulo de contacto tiene un valor de $\Theta = 0$ indica que el adhesivo se extiende en una película tan delgada que no se puede medir, lo que indica que tiene una buena afinidad con el sustrato.

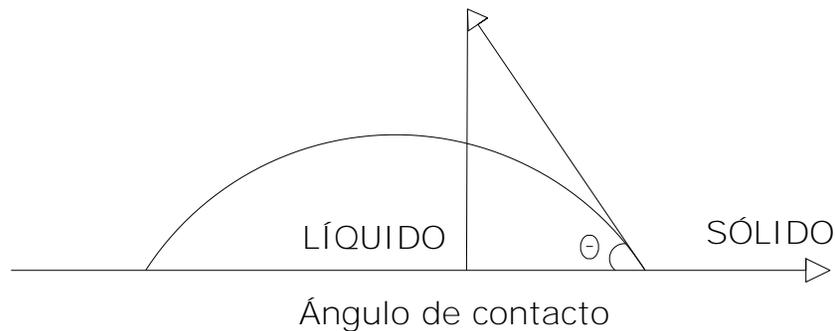


Figura 2 Evaluación del ángulo de contacto

La medición real del ángulo de contacto implica algunas dificultades, pues a pesar de que debería haber un valor único, en realidad siempre se miden dos y a veces muchos valores del ángulo de contacto. La presencia de impurezas como humedad, aire o partículas gruesas, es la causa de los diferentes valores que se hallan en las mediciones reales del ángulo Θ . Si las impurezas son removidas con los medios apropiados, las superficies se pueden adherir fácilmente.

Tendencia del adhesivo a penetrar en la superficie del sustrato. En este punto es muy importante la topografía del sustrato, ya que de ésta dependerá el grado de penetración del adhesivo. Las superficies presentan generalmente gran cantidad de asperezas distribuidas al azar. En la mayoría de las aplicaciones prácticas, los sustratos son apreciablemente ásperos, lo cual es conveniente para que se lleve a cabo una buena adhesión, pero cuando el sustrato presenta una superficie lisa se recomienda volverla áspera por medio de ácidos, chorros de arena a presión,

abrasión mecánica o algún solvente como tolueno, metil etil cetona o xileno, entre otros.

Continuidad y consistencia de los adhesivos. En la práctica se requieren adhesivos que tengan cierta continuidad, es decir, es necesario que fluyan en el momento de hacer la unión, para que penetren en los valles y capilares de la superficie de los sustratos. Asimismo, es necesario que presenten consistencia, es decir, que la viscosidad de los adhesivos permita poder esparcirlo con el espesor deseado, ya sea con brocha, atomizador o con cualquier otro método de aplicación.

Espesor y flexibilidad de la capa adhesiva.- Los adhesivos rígidos son más eficaces en forma de películas delgadas. En cambio, los adhesivos elásticos se pueden aplicar en películas gruesas, debido a que presentan mayor resistencia al impacto.

En aplicaciones industriales, cuando se trata de adhesivos rígidos, es recomendable utilizar películas tan delgadas como sea posible, sin llegar a tener una unión insuficiente. Para prevenir esta situación la cantidad de adhesivo utilizado debe ser suficiente para llenar todos los niveles de aspereza; también se debe considerar el volumen de encogimiento del adhesivo.

Técnica de formulación

El objetivo de esta parte del proyecto es la formulación de un adhesivo elastomérico cuyo polímero base sea poliestireno residual, en su forma espumada, con el fin de reusarlo para la fabricación del adhesivo, aprovechar sus propiedades y buscar un solvente de poco impacto ambiental. La formulación de adhesivos ofrece gran variedad de combinaciones entre polímeros y aditivos especiales, con lo cual resulta una gran cantidad de adhesivos para distintos usos.

Formulación de adhesivos en base solvente²⁶

Un adhesivo con base solvente es aquél en el cual el polímero se encuentra disuelto en un medio solvatante. Para formular un adhesivo se sigue la relación siguiente:

	Tipo	Proporción
Polímero base-----		
Medio solvatante-----		
Agentes de protección-----		
Aditivos especiales-----		

Para seleccionar adecuadamente el tipo de polímero, el medio solvatante, los agentes de protección y los aditivos especiales, se dependerá de la experiencia del formulador y del uso futuro del adhesivo. La relación anterior nos indica que la función que desempeñan cada uno de los ingredientes de la formulación se deberán referir a 100 partes del polímero base.

Polímero base. Proporciona la fuerza cohesiva. Debe presentar excelentes propiedades adhesivas y tener gran afinidad en el medio solvatante.

Medio solvatante. Deberá incorporar al polímero base en forma de solución, para poder ser aplicado. Cumplida su función, el agente solvatante tendrá que ser eliminado tan rápido como sea posible. Se puede usar como medio solvatante uno o varios solventes de la misma formulación. Recuérdese que para este trabajo se busca que el medio sea un disolvente de los denominados “verdes”, es decir, que el impacto ambiental sea el menor posible, pero que sea capaz de solvatar completamente al polímero. También debe ser de fácil eliminación; en este caso será por medio de evaporación, por lo que la presión de vapor del solvente seleccionado será vital para la obtención del adhesivo.

Agentes de protección. Estos agentes deberán evitar que el polímero base se degrade y la unión entre los sustratos pierda fuerza. Como agentes de protección se emplean los antioxidantes, cuya función es prevenir la oxidación del adhesivo.

Aditivos especiales. Su función es la de proporcionar ciertas características especiales al adhesivo. Entre los más comunes están las cargas, resinas y plastificantes.

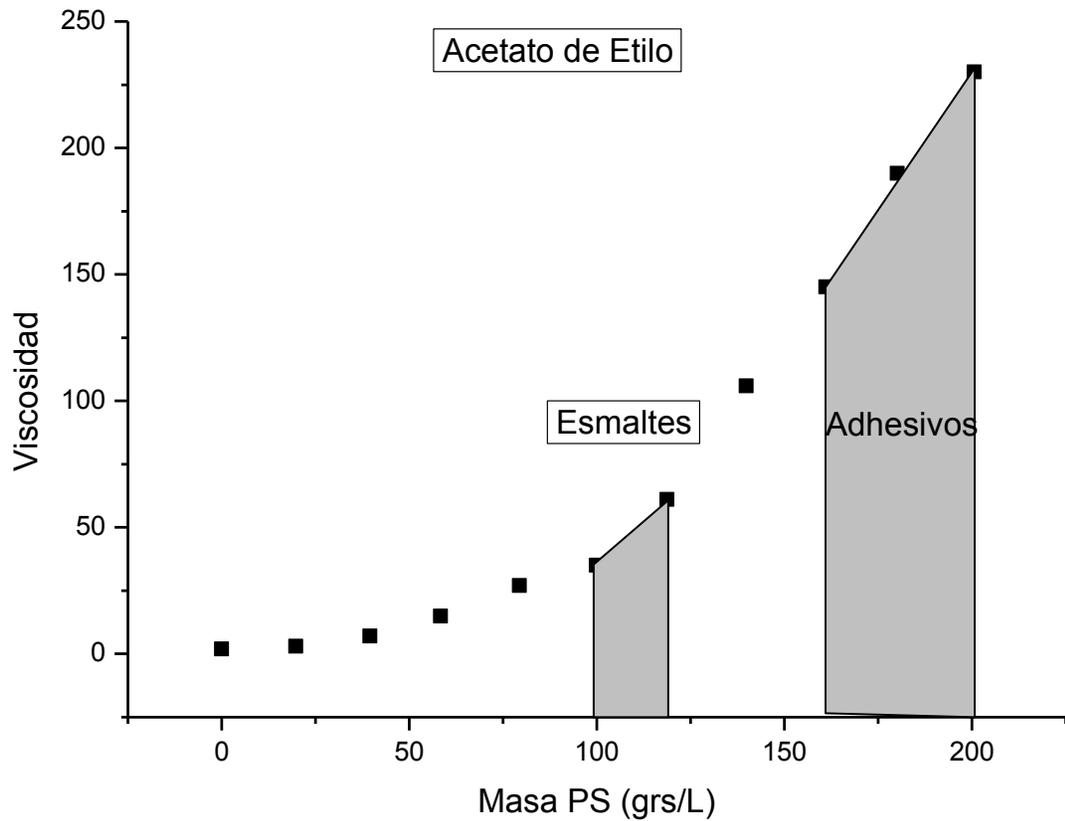
Cargas. Es proporcionan resistencia a la película de adhesivo y bajar el costo de adhesivo por kilogramo.

Resinas. Se adicionan en las formulaciones con el objeto de proporcionar propiedades como mejorar la adhesión, aumentar la pegajosidad y proporcionar estabilidad al adhesivo a elevadas temperaturas. La variedad de resinas que se emplean es muy alta y su selección depende de las propiedades que se deseen para el adhesivo.

Plastificantes. Estos adhesivos están presentes en las formulaciones proporcionando flexibilidad a la partícula adhesiva. Existe una gran variedad de plastificantes. La cantidad que se les adiciona en las formulaciones es generalmente muy pequeña.

La clave en la formulación de adhesivos con base en un polímero es la viscosidad; se buscan viscosidades muy altas. Se requiere también un solvente que desaparezca rápidamente de la solución, siendo la presión de vapor clave para la selección del disolvente. El parámetro de solubilidad y la toxicidad son factores claves en la selección del disolvente pues se busca el menor impacto ambiental.

Se propone el acetato de etilo, que cumple con las especificaciones mencionadas: soluble en este medio, es denominado solvente verde debido al poco impacto ambiental que tiene, su fácil manejo y su baja toxicidad, y su presión de vapor, facilita su evaporación, a fin de que el solvente abandone la mezcla dejando únicamente al polímero base y además proporciona fuerza cohesiva al adhesivo.

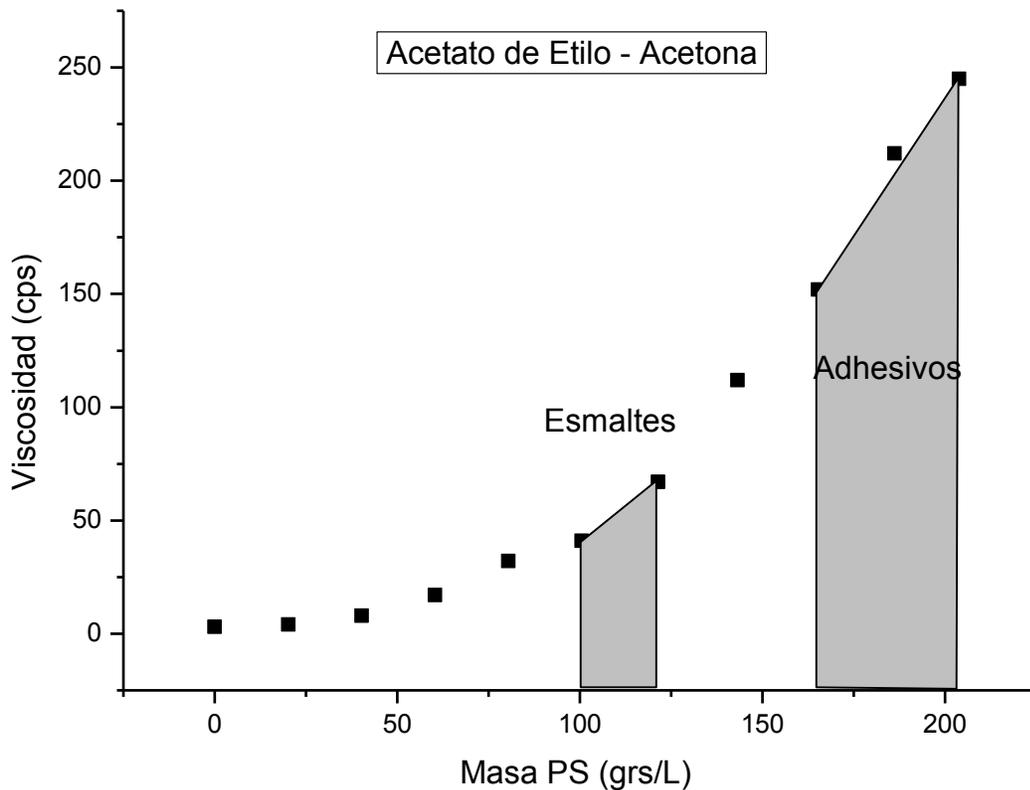


Gráfica 12 Zonas de viscosidad para la elaboración de esmaltes y adhesivos

La segunda zona que interesa de la gráfica 12, para la realización de los productos adhesivos, es la región denominada de alta viscosidad. Ahí, la concentración del polímero disuelto es la más alta. El adhesivo propuesto fue probado en papel, madera y plásticos con resultados aceptables, una sencilla aplicación, la cual consiste en aplicar una capa del adhesivo con un pincel sobre las superficies a pegar, unir las y esperar a que la mezcla de solventes se evapore.

Formulación 2. Acetato de etilo–acetona

Se propone la mezcla binaria de acetato de etilo-acetona. La acetona se agrega con el fin de estabilizar la mezcla y reducir los costos de producción, dar al esmalte propiedades como brillo, así como evitar la coloración amarilla sobre la superficie. Con respecto a la fabricación de adhesivos, la viscosidad que debe obtenerse es por encima de los 160 centipoises, zona a trabajar con la mezcla de solventes y el polímero para la fabricación de los adhesivos. La mezcla 70%V/V acetato de etilo y 30%V/V acetona, presenta las mejores propiedades adhesivas con respecto a las demás mezclas de solventes probadas a lo largo de este trabajo. El polímero es totalmente soluble en la mezcla de solventes acetato de etilo-acetona, además de que es una mezcla que pertenece a los denominados solventes verdes, requisito para su formulación debido al contacto con las personas, así como el impacto al medio ambiente. Además, la acetona se agrega para darle estabilidad al adhesivo, así como agente plastificante. El sistema binario puede usarse en la formulación del adhesivo debido a que el sistema binario es completamente miscible. La cantidad de acetona agregada es la necesaria para tener una mezcla al 70V% de acetato de etilo y 30V% de acetona.



Gráfica 13 Zonas de viscosidad para la elaboración de esmaltes y adhesivos, mezcla acetona acetato de etilo

Debido a la estabilidad del adhesivo, cuya formulación consiste en la mezcla binaria de 70%V de acetato de etilo y 30%V de acetona, pueden considerárseles como mejor, en comparación con las formuladas únicamente en acetato de etilo, o aquellas formulaciones de 80%V de acetato de etilo y 20%V de acetona. La concentración de poliestireno es mayor para los adhesivos que para esmaltes, con alrededor de 200g y hasta 300g de poliestireno en mezcla de solventes. No se trabaja a mayores concentraciones de poliestireno debido a la dificultad para evitar la pérdida de solvente por evaporación, así como para ajustar los tiempos de evaporación de la mezcla que permitieran la aplicación correcta del adhesivo

sobre las superficies a pegar. La figura 3 muestra dos superficies de madera que fueron unidas con el adhesivo con base en poliestireno residual.



Figura 3.- Superficies de madera pegadas con el adhesivo en base acetato de etilo- acetona – poliestireno

Capítulo 3

Recuperación del poliestireno por el método de difusión - dilución

Reciclar implica la recirculación de materiales dentro de un sistema cerrado con el propósito de optimizar recursos, disminuir la generación de basura, propiciar la separación de desperdicios e introducir los mismos al sistema productivo para generar artículos útiles al hombre. Aunque no se cuenta con documentos acerca de cómo y cuándo comenzó el reciclado de plásticos, es posible que al iniciar el desarrollo de la industria los transformadores comenzaron a reciclar piezas defectuosas, que obtenían durante el proceso de producción, y posteriormente determinaron que mezclándolas en determinados porcentajes con el material virgen podían obtener piezas de buena calidad.

También es posible que el reciclado de plásticos haya comenzado con el desarrollo de la revolución industrial, cuando los fabricantes observaron que gran parte de las materias primas o productos terminados eran eliminados o desperdiciados durante el proceso productivo, originando mermas económicas importantes. Esta situación motivó la búsqueda de métodos y técnicas para reducir residuos y controlar procesos, así como reutilizar productos en otras aplicaciones útiles al hombre, aunque sin preocuparse por el impacto ambiental que ocasionaría. Con el objetivo de encontrar soluciones para manejar los desechos plásticos, se han desarrollado diversas investigaciones que incluyen métodos físicos y químicos

Métodos físicos. Incluyen sistemas de lavado, separación, molienda, fusión y granulado.

Métodos químicos. Incluyen procesos como la pirolisis, que aprovecha el poder calorífico de los materiales plásticos o, el proceso de hidrólisis, que sirve para depolimerizar las moléculas de plásticos, como el poli (tereftalato de etileno), PET y poli (metacrilato de metilo) PMMA, o acrílico, logrando recuperar sus materias primas originales. Después de analizar el costo energético y productivo, desde la extracción del crudo hasta la transformación final, se obtuvieron datos poco favorables para hacer de la incineración una solución que eliminara la basura plástica, por lo que se crearon otras tecnologías que permitieron transformarla en una vida útil secundaria. Considerando las ventajas de los métodos físicos nace el reciclado de materiales plásticos, que cobra gran importancia en la década de 1980 y surgen mercados y aplicaciones como una opción de negocio. Posteriormente, se inician investigaciones para recuperar plásticos de manera práctica por el método químico de pirolisis instalando una planta de recuperación capaz de recuperar productos químicos y combustibles. Mientras tanto, en Alemania y Japón, consideraron la opción del proceso de pirolisis realizando investigaciones para determinar la viabilidad económica en sus países. Como resultado se establecieron dos plantas de recuperación.

Las compañías automotrices FORD y GM desarrollaron un método de hidrólisis para recuperar espumas de poliuretano. Debido a la gran cantidad de material que ocupan en la fabricación de automóviles. Posteriormente se patentó el proceso de glicólisis para recuperar este tipo de espumas, eliminando el riesgo de generar

ácido cianhídrico o cianuro por la combustión de poliuretano. El uso de estos plásticos ha tratado de ser evitado por grupos ecologistas, basándose en el hecho de que el petróleo es un recurso natural no renovable. No obstante, algunas empresas han iniciado programas de acopio de material post-consumo, con el fin de evitar que estos lleguen a los basureros y presenten dificultad en la selección y recuperación. En la década de 1990 se desarrollaron centros de acopio con la finalidad de recolectar sistemáticamente diferentes materiales y facilitar su transformación posterior. De esta manera los desperdicios plásticos se integran al ciclo industrial o comercial, convirtiéndose en materias primas a través de procesos cada vez más especializados. La molienda criogénica es uno de los últimos desarrollos utilizados para el reciclado de plásticos. El proceso resulta ser caro por el uso de gas criogénico de especial manejo y suministro. Este proceso solo se justifica para grandes volúmenes de material, como el reciclado de hule vulcanizado y plásticos de ingeniería. Actualmente existen empresas fabricantes de líneas completas de reciclado que ofrecen un amplio panorama de oportunidades y tecnologías, pero se ha comprobado que la escasez de materias primas que presenta la industria del plástico provoca el desarrollo tecnológico del reciclado y posibilidad económica. Cuando los precios de materia prima bajan, presentan una competencia directa con el material reciclado y por obvias razones los transformadores prefieren las resinas vírgenes.

Entre las ventajas derivadas del reciclado están la reducción en la cantidad de residuos domiciliarios, pues los materiales termoplásticos pueden fundirse y reprocesarse para aplicaciones de larga vida o diferentes usos al inicial, y la

producción de energía al incinerar los plásticos. Actualmente, las normas ecológicas se han reestructurado presentando mayor exigencia en el control de los desechos plásticos. El reciclado contribuye con la ecología, ya que ayuda a resolver el problema de los desperdicios plásticos, se ahorra hasta el 88% de la energía que se requiere para producirlos a partir de petroquímicos y conserva los recursos naturales al reutilizar los productos del petróleo.

La generación de desperdicios es inevitable en la industria de transformación de plásticos, pero se puede evitar una pérdida económica, al reciclar las mermas, combinándolas con material virgen. Estas mezclas ayudan a reducir el costo del producto, de acuerdo a los porcentajes utilizados de regranulado, siempre y cuando no se afecten las características del artículo fabricado. El precio del material reciclado debe ser menor que el virgen, para reducir el costo del producto y competir en el mercado. Existe un importante ahorro de energía cuando se reciclan plásticos, porque se consume menos que la empleada para transformar los plásticos a partir de petroquímicos.

Clasificación de desperdicios

Desechos industriales- Son todos aquellos artículos que se separan antes de formar parte de la basura. De este modo, su recuperación es económica y práctica, permitiendo que se utilicen de nuevo los materiales. En la industria de la transformación de plásticos se obtienen piezas defectuosas y mermas, que se separan de acuerdo al tipo de material para ser recicladas. La reutilización es práctica, ya que los artículos no han tenido contacto con el usuario o con la basura

y están libres de contaminación. Los desperdicios se pueden volver a transformar o vender a un reciclador, para que no generen pérdidas a la empresa.

Propiedades del poliestireno reciclado

El poliestireno reciclado reduce su resistencia a la radiación, no absorbe humedad y pierde transparencia. El poliestireno expansible ocupa un gran volumen con una relación de peso pequeña. El consumo de artículos desechables y empleado como empaque de productos delicados ha incrementado en forma considerable durante los últimos años. Los principales contaminantes del poliestireno son: los alimentos, el polvo, el papel, el aluminio, las tintas, los pigmentos y los lubricantes.

Tabla15. Propiedades del poliestireno reciclado

Propiedad	PS Virgen	Lámina de EPS Regranulada
Densidad (g/cm ³)	1.05	2.05
Impacto	1.1	1.1
Resistencia a la flexión (kg/cm ²)	703	562
Elongación (%)	1.6	1.2
Temperatura Vicat (°C)	107	106

Para reciclar poliestireno, se recupera de fuentes de abastecimiento, tales como centros de acopio, tiendas de comida rápida y autoservicio, para pasar por las siguientes unidades de reciclaje: físico- separación, molido, lavado-secado-pelletizado, densificación, químico-hidrogenación.

El mayor porcentaje de los artículos que se fabrican con poliestireno cristal se utilizan para envasar alimentos, por lo que van directamente a la basura. El poliestireno expansible presenta el problema de generar grandes volúmenes de basura por el aditivo neumatógeno que se agrega durante su producción. Para estabilizar al poliestireno cristal y al poliestireno expandido se recomienda utilizar un estabilizador como el A0-5 en cantidades de 0.1%; sin embargo, el poliestireno expandido solo conserva sus propiedades durante tres historias térmicas.

Desarrollo del método de Precipitación difusión dilución.

Para desarrollar nuevos métodos de recuperación del polímero, así como el posterior reprocesamiento de poliestireno residual, esta investigación propone el método llamado “precipitación por difusión dilución” el cual tiene como objetivo recuperar el poliestireno presente en placas y vasos de unicel. Consiste en disolver parcialmente el polímero en el solvente, para posteriormente depositar gotas sobre agua. Al contacto con esta, el solvente migra hacia la fase acuosa y el polímero precipita en el medio; la difusión y solubilidad del solvente en agua genera partículas esféricas porosas que pueden separarse y recuperarse para su reproceso posterior.

Por tal motivo, y con base en la solubilidad del polímero, el parámetro de solubilidad, y los criterios previos de selección, se llevó a cabo la selección de un disolvente totalmente soluble en agua, y que disuelva totalmente al poliestireno, con el impacto ambiental mínimo, el costo y la disponibilidad serán factores a considerar también, en la selección del disolvente.

Desarrollo experimental

Se prepararon soluciones de poliestireno y el solvente en concentraciones con un intervalo del 20 al 30% W/V. Se desea que el tamaño de las partículas a disolver, sea el menor posible, esto para facilitar su incorporación al solvente. Se disuelve lentamente el poliestireno en la solución se recomienda agitación continua mediante una parrilla de agitación. La viscosidad será evaluada con ayuda de un viscosímetro de Brookfield, hasta alcanzar los 230 centipoises, viscosidad necesaria para lograr la condición esférica de las partículas en el momento de ingresar al medio acuoso a temperatura ambiente.

Una vez que se obtiene una solución homogénea, y que todo el poliestireno está disuelto, se procede a tomar alícuotas de esta solución que serán inyectadas en un medio acuoso.

El goteo de la solución sobre un vaso de precipitados que contenga agua, aproximadamente a 15 cm de altura con respecto al espejo de agua en el vaso. El goteo se realiza con ayuda de una jeringa. Puede observarse que el solvente abandona la solución de poliestireno al entrar en contacto con el agua para incorporarse a la solución de agua, dejando al polímero en una forma esférica y de un tamaño de partícula adecuado. Este proceso comienza desde el goteo de la solución, ya que el solvente se evapora al contacto con el aire, formando partículas esféricas que presentan porosidad, partículas huecas con canales internos y de baja densidad. Estas partículas pueden ser separadas del agua rica en solvente mediante un sencillo proceso de filtración, para recuperar las perlas de poliestireno para su posterior reprocesado. El solvente, puede separarse del agua

mediante destilación, esto gracias a la diferencia entre los puntos de ebullición de los dos componentes.

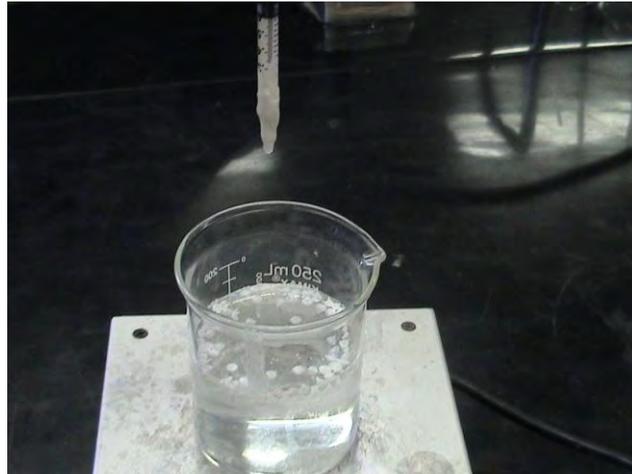


Figura 4 Goteo de la mezcla sobre una superficie de agua

Comparación de las perlas obtenidas mediante el proceso precipitación difusión - dilución

En la figura 5, del lado derecho, se pueden apreciar las perlas de poliestireno obtenidas industrialmente, mientras que del lado izquierdo se pueden encontrar las perlas obtenidas mediante el método de precipitación por difusión dilución, las cuales presentan una densidad similar y casi idéntica a las obtenidas industrialmente. Puede observarse que las perlas obtenidas mediante este método son de un color más blanco en lugar del casi transparente que presentan las perlas de poliestireno obtenidas industrialmente. Se busca que, estas perlas de poliestireno puedan ser reprocesadas para la refabricación de unigel, es decir que puedan ser reutilizadas como materia prima, debido a la eliminación del aire presente en el poliestireno espuma. Estas perlas son de fácil almacenaje, por lo

que no tienen el problema de espacio debido a la baja densidad en el poliestireno espuma.



Figura 5 Comparación entre las partículas obtenidas en el laboratorio (lado izquierdo) y las obtenidas industrialmente (lado derecho)

El Proceso “Difusión dilución” consiste en la selección de un disolvente favorable para el polímero y además soluble en agua. El procedimiento consiste en disolver parcialmente el polímero en el solvente, para posteriormente depositar gotas sobre agua. Al contacto con el agua, el solvente migra hacia la fase acuosa y el polímero precipita en el medio; la difusión y solubilidad del solvente en agua genera partículas esféricas porosas.

Conclusiones

El objetivo de este proyecto es desarrollar tecnologías que permitan el aprovechamiento del poliestireno residual, tanto en su forma cristal como en espuma, para la fabricación de otros productos, mediante el uso de solventes de bajo impacto ambiental, como esmalte, pegamento y poliestireno a granel.

El esmalte de secado rápido se formó con una mezcla de acetato de etilo en una proporción de 70%, con 30 % de acetona en volumen. La concentración mas adecuada de poliestireno en este producto para lograr la aplicación y viscosidad funcional fue de 120 g/ L. El producto presenta estabilidad aplicado en superficies como papel y madera, a manera de recubrimiento ó laca. Los solventes utilizados, el acetato de etilo y la acetona, permitieron regular la evaporación de la mezcla. El acetato de etilo es un buen solvente para el poliestireno, pero de presión de vapor elevada, mientras que la acetona logra su hinchado y disminuye la velocidad de evaporación.

El pegamento se formuló con una mezcla de acetato de etilo y acetona en una proporción 60% y 40% en volumen, respectivamente. La concentración de poliestireno en este producto fue de 200 a 250 g/L. La concentración de poliestireno en la mezcla acetato de etilo-acetona, se modificó con el fin de contar con valores de viscosidad mas altos, necesarios para aumentar la adhesión y la retención entre las superficies. Se logró así un adhesivo para papel, madera, plástico y cartón, con un tiempo corto de adhesión, fácil aplicación y sencillo manejo.

La recuperación del poliestireno residual para producir partículas a granel se efectuó con un método novedoso, calificado en esta investigación como precipitación por difusión y dilución, que consiste en la selección de un disolvente favorable para el polímero y además soluble en agua. El polímero se disuelve en el solvente, para posteriormente dispersarlo en agua en forma de gotas. Al contacto con el agua, el solvente migra hacia la fase acuosa y el polímero precipita en el medio; la difusión y solubilidad del solvente en agua genera partículas esféricas porosas, que pueden separarse y recuperarse para su reproceso posterior. La concentración del poliestireno en el solvente fue de 270g/L; concentración resultante de diversas pruebas tendientes a optimizar la viscosidad (230 centipoises) y tensión interfacial, para lograr la condición esférica de las partículas en el momento de ingresar al medio acuoso a temperatura ambiente.

Bibliografía

- 1.-Heinz G. Pohlemann and Adolf Echte
Fifty years of Polystyrene
Polymer Science Overview
Chapter 18, pp 265-287

- 2.-Anuario Estadístico de la Industria Química Mexicana
Edición 2006
Editorial ANIQ

- 3.- John Wiley
Enciclopedia of Polymer Science and Engineering
Vol 18 1989

- 4.- Libro Blanco del EPS
ANAPE
Eumeps Construcción
2003

- 8.- Enciclopedia del Plástico 2000
Instituto Mexicano del Plástico Industrial
Editorial Centro Empresarial del plástico
Tomo 1

- 9.- Enciclopedia del plástico 2000
Instituto Mexicano del Plástico Industrial
Tomo 3 Capítulo 29

- 12.-Gilbert W. Castellan
Fisicoquímica
Addison Wesley Longman
Segunda Edición 1987

- 13.-Allan F. M. Barton, Ph. D.
Handbook of solubility Parameters and Other Cohesion Parameters
CRC Press, Inc 1983

- 11.- C. M. Hansen
Three dimensional solubility parameters – Key to paint component
affinities
CRC Press Inc 1985

- 15.- Jhoany Acosta, Alberto Arce
Vapor- Liquid Equilibrium of the Ternary system Ethyl Acetate + Hexane +
Acetona at 101.325 kPa
Journal of Chem. Eng, Data 2002
Vol. 47 pags 849-854

- 16.- Jhony Acosta, Alberto Arce
Densities Speed of Sound, Refractive Indices and the Corresponding
Changes of mixing at 25 °C and astmosferic pressure for systems
composed by ethyl acetate, hexane and acetone
Journal of chemical Eng. Data 2001
Vol. 46 pags. 49-50

- 17- John G. Walshown and Granville D. Edwards
Model of evaporation for solvents
Journal of Painting technology

- 18.- Federation Series on Coating Technology Solvents
Second Edition
1985 Capítulo 28 pags. 661-700

- 19.- Sheng Liang Tsaur and Robert M Flicht
Preparation and Properties of Polystyrene Model Colloids
Journal of Colloids and Interface Science Vol 115 No. 2
Febrero 1987 PAgS 450-462

- 20.- T. Alfrey, A. Bartovics and H. Mark
Temperature and solvent effects on viscosity of high polymers
Journal of American Chemical Society 1942 Vol 64 pags 1557-1560

- 21.- Georgia D. Pappa
Prediction of Ternary Liquid – Liquid equilibria in Polimer – solvent – Solvent
Systems”
Ind. Eng. Chem. Res 1997 Vol. 36 pags 5461-5466

- 22.- John M. G. Cowie
Polymer Cosolvent Systems. Free Volume and Contact Energies in two
Cosolvent Mixtures for Polystyrene and an Interpretation in Terms of a Site
Mode
Macromoleculas 1984
Capítulo 17 pags 755-759

- 23.- Mitsuo Abe and Hiroshi Fujita
Binary mixures of Θ solvents
The journal of Physical Chemistry
Vol. 69 # 10 1964 pags 3263-3267

- 24.- C.C. Hsu and J. M. Prausnitz
Thermodynamics of Polymer Compatibility in Ternary Systems
Macromolecules Vol 7 No. 3
Julio 1972 pags 513-516

- 25.- L. Zeman and D. Patterson
Effect of the Solvent on Polymer Incompatibility in Solution
Macromoleculas Vol 5 No. 4

- 26.- Juan A. González – Leon And Anne M. Mayes
Phase Behavior Prediction of Ternary Polymer Mixtures
Macromolecules 2003, Vol. 36 pags 2508-2515

- 27.- Maria Teresa Garcia, Ignacio Gracia, Gema Duque
Study of solubility and Satability of Polystyrene Wastes in a Dissolution
Recycling Process
Waste Management 29 (2009) pag. 1814-1818

- 28.- Najeed Nuzhiyil, Song Charg Kong
Energy Recovery form Waste Plastics by using Blends of Biodiesel and
Polystyrene in Diesel Engines
Energy & Fuels 23 (2009) pags 3246-2553

- 29.- Mohamaad Nahid Siddiqui
Conversion of Hazardous Plastics Wastes into useful Chemical Products
Journal of Hazardous Materials 167 (2009) pags 728-735

- 30.- D.S. Achilians, A. Giannoulis
Recycling of Polymers from plastics Packings Materials using the
dissolution Precipitation technique.
Polym. Bull 63 (2009) pags 449-465

- 31.- Pappa G. Kouvalos
The selective Dissolution / Precipitation Technique for Polymer Recycling: a
Pilot Unit Application
Resources, Conservations 34 (2001) pags 33-4

- 4.- Asociación Nacional de poliestireno expandido
<http://www.anape.es>

- 6.- Interempresas, La plataforma multimedia de la industria
<http://www.interempresas.net/plasticos>

- 7.- Secretaria de medio ambiente y recursos naturales. Educación
ambiental
www.semarnat.gob.mx

- 10.- Instituto Nacional de Estadística y Geografía
www.semarnat.com.mx

- 14.- National Fire Protection Association
www.nfpa.org

ANEXO

Densidad del poliestireno

Densidad (kg/m ³)		
TIPO	Mínima	Nominal
I	9	10
II	11	12
III	13.5	15
IV	18	20
V	22.5	25
VI	27	30
VII	31.5	35

Clasificación de los productos de poliestireno expandido

Tipo	Tensión de Compresión al 10% de deformación (σ_{10}) kpa	Resistencia a Flexión (σ_B) kPa
EPS S	---	50
EPS 30	30	50
EPS 50	50	75
EPS 60	60	100
EPS 70	70	115
EPS 80	80	125
EPS 90	90	135
EPS 100	100	150
EPS 120	120	170
EPS 150	150	200
EPS 200	200	250
EPS 250	250	350
EPS 300	300	450
EPS 350	350	525
EPS 400	400	600
EPS 500	500	750

Comportamiento frente a factores atmosféricos

La radiación ultravioleta es prácticamente la única que reviste importancia en nuestro caso. Bajo la acción prolongada de la luz UV, la superficie del poliestireno expandido amarillea y se vuelve frágil, de manera que la lluvia y el viento logran erosionarla. Dichos efectos pueden evitarse con medidas sencillas, en las aplicaciones de construcción con pinturas, revestimientos y recubrimientos.

Propiedades	UDS	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 6	Tipo 7
Densidad nominal	Kg/m ³	10	12	15	20	25	30	35
Densidad minima	Kg/m ³	9	11	13.5	18	22.5	27	31.5
Espesor mínimo	mm	50	40	30	20	20	20	20
Conductividad térmica	mW/(mK)	46	43	39	36	35	34	33
Tensión por compresión	KPa	30	40	65	100	150	200	250
Resistencia permanente	KPa	---	---	15-25	25-40	35-50	45-60	55-70
Resistencia a la flexión	KPa	50	60	100	150	200	275	375
Resistencia a la tracción	KPa	---	≤100	110-290	170-350	320-410	300-480	420-580
Modulo de elasticidad	KPa	---	≤1.5	1.6-5.2	3.4-7.0	5.3-7.2	7.7-9.5	9-10.8
Indeformabilidad al calor	°C	75	75	75	80	80	80	80

Propiedades	UDS	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 6	Tipo 7
Indeformabilidad al calor duradera	°C	75	75	75	80	80	80	80
Coefficiente de dilatación térmica	1/K(xE-5)	5-7	5-7	5-7	5-7	5-7	5-7	5-7
Capacidad térmica	J/(kgK)	1210	1210	1210	1210	1210	1210	1210
Clase de reacción al fuego		---	M1 o M4					
Absorción de agua en condiciones de inmersión al cabo de 7 días	% en volumen	0.5-1.5	0.5-1.5	0.5-1.5	0.5-1.5	0.5-1.5	0.5-1.5	0.5-1.5
Absorción del agua en condiciones de inmersión al cabo de 28 días	% en volumen	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3
Índice de resistencia a la difusión de vapor en agua	1	≤20	≤20	20-40	30-50	40-70	50-100	60-120

Estabilidad del poliestireno frente a diversas sustancias activas

SUSTANCIA ACTIVA	ESTABILIDAD
Solución Salina (agua de mar)	Estable: El poliestireno expandido no se destruye con una acción prolongada
Jabones y soluciones de tensoactivos	Estable: El poliestireno expandido no se destruye con una acción prolongada
Ácidos diluidos	Estable: El poliestireno expandido no se destruye con una acción prolongada
Lejías	Estable: El poliestireno expandido no se destruye con una acción prolongada
Ácido clorhídrico (al 35%), ácido nítrico (al 50%)	Estable: El poliestireno expandido no se destruye con una acción prologada
Ácidos concentrados (sin agua) al 100%	No estable: El poliestireno expandido se contrae o se disuelve
Soluciones alcalinas	Estable: El poliestireno expandido no se destruye con una acción prolongada
Disolventes orgánicos (acetona, esterres...)	No estable: El poliestireno expandido se contrae o se disuelve
Hidrocarburos alifáticos	No estable: El poliestireno expandido se contrae o se disuelve
Aceites de parafina, vaselina	Relativamente estable en una acción prolongada el poliestireno expandido

SUSTANCIA ACTIVA	ESTABILIDAD
	puede contraerse o ser atacada su superficie.
Aceite de diesel	No estable: El poliestireno expandido se contrae o se disuelve
Carburantes	No estable: El poliestireno expandido se contrae o se disuelve
Alcoholes (metanol, etanol...)	Estable: El poliestireno expandido no se destruye con una acción prolongada
Aceites de silicona	Relativamente estable: en una acción prolongada el poliestireno expandido, puede contraerse o ser atacada su superficie.

Comportamiento frente al fuego

Probeta Componentes de los gases de combustión		Composición del gas de combustión en ppm a una determinada temperatura de ensayo			
		300 °C	400 °C	500 °C	600 °C
Material expandido de producto estándar	Monóxido de	50*	200*	400*	1000*
	Estireno monómero	200	300	500	50
	Otras sustancias aromáticas	Trazas	10	30	10
	Ácido bromhídrico	0	0	0	0
Material expandido de producto auto extinguible	Monóxido de	10*	50*	500*	1000*
	Estireno monómero	50	100	500	50
	Otras sustancias aromáticas	Trazas	20	20	10
	Ácido bromhídrico	10	15	13	11
Madera de abeto	Monóxido de	400*	6000*	1200*	15000*
	Sustancias aromáticas	----	---	---	300
Planchas aisladas de aglomerado de madera	Monóxido de	14000**	24000**	59000*	69000*
	Sustancias aromáticas	Trazas	300	300	1000

*Combustión sin llama ---no se midió

**Combustión con llama

Viscosidad del poliestireno en acetato de etilo a 25 °C

Masa (grs/L)	Viscosidad (cps)
0	2
19.77	3
39.55	7
58.37	15
79.40	27
99.92	35
118.74	61
139.52	106
161.11	145
180.48	190
200.67	230

Este trabajo de tesis contó con el apoyo de las siguientes publicaciones a quienes se agradece la atención así como el apoyo en la difusión de este proyecto:

- Revista Día siete Año 9 # 475

Obtienen en la UNAM
productos amigables con
el ambiente a partir del
unicele

Se trata de un barniz sellador y un adhesivo para papel, cartón, madera y plástico; además materia prima a granel para producir nuevos recipientes.

Estos desarrollos contribuyen a disminuir el problema de contaminación por unicele, material que tarda en degradarse más de 400 años.

La técnica desarrollada por académicos de la Facultad de Química es económica y de fácil manejo, además que utiliza disolventes con nulo o poco impacto en el ambiente.

 www.unam.mx 
DGCS

Químico, salud, Calles y 13 - septiembre - 2009

- Gaceta UNAM
17 de agosto de 2009 #4178

ACADEMIA	<p>Opción favorable y no costosa</p> <p>El temascal, baño de vapor con propiedades terapéuticas</p> <p>Aminorar el estrés y disipa tensiones que propician enfermedades</p> <p style="text-align: right;">⇒ 12</p>	<p>Biología promueve su cultivo y consumo</p> <p>El árbol moringa, especie generosa para el hombre</p> <p>Las hojas son ricas en proteínas, vitaminas y aceite; las semillas limpian el agua</p> <p style="text-align: right;">⇒ 11</p>
-----------------	---	--

Ciudad Universitaria
17 de agosto de 2009
Número 4,178
ISSN 0188-5138



Gaceta

ORGANO INFORMATIVO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



► Tres desarrollos de académicos de la Facultad de Química con base en el unicef

Crean un barniz y adhesivo económicos y ambientales

► También lograron partículas de varios tamaños que pueden volver a moldearse para manufacturar nuevos recipientes

⇒ 14



Ceremonia en el Salón Juárez del Centro Cultural Universitario Tlatelolco. Foto: Marco Mijares.

⇒ 4-7 y centrales

CULTURA

Exhiben filmes del CUEC en Beijing

⇒ 17

GOBIERNO

Terna para Bibliotecológicas

Juan José Calva, Jaime Ríos y Juan Voutsás

⇒ 23

VOCES ACADÉMICAS

Luis Ángel Maldonado Biodiversidad y bioprospección en microbiología

⇒ 15

Gaceta en línea: www.gaceta.unam.mx