



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO CON BASE EN
EL UNICEL COMO MÉTODO ALTERNATIVO DE
DISPOSICIÓN DE RESIDUOS POLIMÉRICOS**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

ALFONSO DÍAZ ARMAS

**DIRECTOR DE TESIS:
DRA. MARÍA DEL PILAR CARREÓN CASTRO**



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016

Dedicatoria

A mis padres Alfonso Enrique Díaz Tejeda y Ma. Alicia Armas Galicia, que han dirigido y apoyado mi formación. Siendo capaces de ayudarme a identificar y a trabajar en mis errores y deficiencias, que me han inspirado, y me enseñado a disfrutar la vida. Que han confiado en mí, y de quienes he aprendido a afrontar la vida con su inquebrantable voluntad.

Agradecimientos:

A la UNAM, por proporcionarme un único y especial ambiente de desarrollo, en el cual las experiencias vividas, me han formado como persona. Por permitirme conocer a personas que han marcado mi vida de muy diversas maneras.

A la Facultad de Ingeniería, por darme acceso a los conocimientos que serán invaluable a lo largo de la vida, por permitirme lograr las metas que me he propuesto.

Al Intituto de Ciencias Nucleares de la UNAM, por abrirme las puertas a sus instalaciones, para poder desarrollar este trabajo y el servicio social.

A la Dra. Ma. Del Pilar Carreón Castro, mi directora de tesis, por su comprensión, conocimientos y tiempo; sin los cuales, este trabajo no hubiera sido posible.

A la DGAPA-UNAM a través del proyecto PAPIIT IN116716 por el soporte financiero asignado para esta investigación.

Al Dr. Maykel González Torres, del laboratorio de Nanopelículas del Departamento de Química de Radiaciones y Radioquímica del ICN, por el apoyo técnico recibido en la parte de espectroscopía.

Al técnico Martín Cruz Villafañe, de la unidad de Cómputo y Seguridad Informática, por todo el apoyo y soporte técnico recibido en el área de cómputo.

A la coordinadora de la Unidad de Información y Biblioteca del Instituto de Ciencias Nucleares, la Mtra. María Magdalena Sierra y a la jefa de servicios de información, la Mtra. María de la Luz Escamilla, por el apoyo en la búsqueda bibliográfica para realizar este trabajo de investigación.

Al técnico académico del Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM José Rangel Gutiérrez, por el apoyo recibido en la elaboración de material especializado de laboratorio.

Al Fís. Raúl Caudillo Viurquez de la Facultad de Ciencias, UNAM, por el apoyo técnico recibido.

Al M. en A. Reyna Caballero Cruz y M. en C. Erick Ramos Barocio de la Facultad de Ciencias. UNAM. Por su apoyo técnico.

Contenido

CAPÍTULO 1	7
1 INTRODUCCIÓN	7
1.1 Objetivos	7
1.2 Motivación del trabajo	8
1.3 Hipótesis.....	9
CAPÍTULO 2	10
2 GENERALIDADES.....	10
2.1 Situación actual	10
2.2 Generalidades sobre el poliestireno	14
2.2.1 Fabricación del estireno	15
2.2.2 Estructura química y fabricación del poliestireno.....	17
2.2.3 Usos del poliestireno	20
2.2.4 Usos del poliestireno en la ingeniería civil.....	21
2.3 Disposición actual e impacto ambiental del poliestireno	25
2.4 Métodos de fabricación de celdas	29
2.4.1 Comparación de las técnicas disponibles	30
2.5 Espectrometría de fluorescencia	32
CAPÍTULO 3	38
3 DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	38
3.1 Caracterización del poliestireno como material factible para la elaboración del dispositivo	38
3.2 Método de casting.....	40
3.2.1 Determinación de la concentración de trabajo	45
3.3 Fluorescencia del poliestireno	46
3.4 Caracterización de las fuentes de poliestireno	48
3.5 Determinación de la generación.....	49
CAPÍTULO 4	51
4 ANÁLISIS DE RESULTADOS	51
4.1 Caracterización del poliestireno como material factible para la elaboración del dispositivo	51
4.2 Método de casting.....	57
4.3 Espectrometría de fluorescencia	59

4.4	Generación de residuos sólidos.....	61
4.5	Manejo de residuos.....	66
4.6	Difusión de proyecto.....	69
CAPITULO 5.....		71
5	CONCLUSIONES.....	71
CAPÍTULO 6.....		73
6	BIBLIOGRAFÍA.....	73

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos

Se analizará la viabilidad del uso del poliestireno reciclado en los procedimientos de espectrografía de fluorescencia, mediante la obtención de las bandas de emisión y absorción del material, a fin de obtener un rango propio de trabajo.

Se analizarán los métodos actuales de disposición del poliestireno, junto con sus ventajas y desventajas. Por lo que se obtiene de esta manera un marco de trabajo acerca de la importancia del reciclaje como método alternativo de disposición. Y se permite comprender el impacto de los proyectos de reciclaje de poliestireno, en comparación con los métodos actuales de disposición final.

También se compararán los diversos métodos utilizados para la obtención de películas delgadas, y se determinará cuál es el método más conveniente para la fabricación de celdas.

Se estudiarán los usos actuales más importantes del poliestireno, a fin de promover una visión más completa del material. Además de promover la comprensión de la importancia del material en la vida actual y en la ingeniería civil.

Se realizará un estudio de generación de residuos sólidos en la zona de estudio, para determinar la cantidad de poliestireno reciclable a la cual se tiene acceso. Esto permitirá comparar la generación con el uso esperado de poliestireno y determinar si la generación es capaz de satisfacer la demanda del material.

Se darán recomendaciones de manejo del poliestireno durante los procedimientos de fabricación, a fin de garantizar la calidad del material. Se logrará la estandarización de los procedimientos. Lo que permitirá reducir de ésta manera los posibles inconvenientes que se podrían presentar durante los procesos recomendados.

Se espera que con el desarrollo del trabajo, se establezca una relación de trabajo y colaboración, entre la ingeniería civil y las diferentes especialidades de investigadores presentes en el Laboratorio de nanopelículas. Se reunirán conocimientos de distintas disciplinas, y se establecerán nuevos métodos de cooperación entre la ingeniería civil y la investigación científica.

1.2 Motivación del trabajo

El equipo de trabajo del Laboratorio de nanopelículas del departamento de química de radiaciones y radioquímica del Instituto de Ciencias Nucleares (ICN) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), desea implementar un procedimiento para el uso de material reciclado como material de apoyo en diversas investigaciones. La principal de ellas, como material suplente de los contenedores y celdas utilizadas durante la fluorescencia. La necesidad de reemplazar las celdas utilizadas, proviene de los inconvenientes derivados de los equipos existentes.

El equipo propuso el poliestireno como material, por las características generales que presenta, y a la experiencia de trabajo con materiales similares. Sus características químicas son conocidas, adecuadas, y en algunos casos, se ha comprobado su utilidad para los usos esperados. Se desea, sin embargo, se deben cotejar las características del poliestireno en los equipos de fluorescencia, a fin de garantizar su correcto funcionamiento con las técnicas y procedimientos a los que se espera someter.

El equipo del laboratorio de nanopelículas, propuso el uso de poliestireno reciclado, contra de poliestireno nuevo. Reduciendo el impacto en el ambiente, y una mejora en el manejo de residuos. Se espera también, en el mejor de los casos, que el proyecto no sólo sea realizable sólo en el interior ICN, si no que sea posiblemente comercializable a pequeña escala en el ámbito hospitalario. Sin embargo, a corto plazo, los beneficios obtenidos serán relevantes para las áreas de investigación involucradas en el ICN.

A fin de garantizar el éxito del proyecto, se llegó a la conclusión de que se debe involucrar a la comunidad del ICN, haciendo de su conocimiento los beneficios del reciclaje de poliestireno en el interior del ICN, las investigaciones desarrolladas con ayuda del reciclaje y la clasificación de desechos.

1.3 Hipótesis

El poliestireno es un material factible para el uso como celda en la técnica de espectroscopía de fluorescencia.

La producción de poliestireno de desecho del ICN es suficiente para abastecer la demanda de poliestireno en forma de celdas que se pueda presentar en las investigaciones.

CAPÍTULO 2

2 GENERALIDADES

2.1 Situación actual

El constante crecimiento poblacional observado en la actualidad, y la expansión de la cultura de consumo, han llevado a un considerable aumento en la producción de residuos sólidos en México. El mencionado incremento en la producción de residuos, aunado a la falta de recursos y desarrollo tecnológico, impide su correcto procesamiento y disposición.

Esta situación puede provocar serios problemas a la población y al ambiente. Algunos de los problemas que son producto de los residuos sólidos mal procesados pueden ser la proliferación de enfermedades, malos olores en las áreas cercanas, presencia de plagas, contaminación al suelo, al agua y al aire.

Solamente en el D.F. la población de 2000 a 2010 aumentó en 245 000¹ personas, mientras que la generación de residuos sólidos per cápita aumento de 1.4246 a 1.7376 kg^{1,2}. Por lo que se tienen cada vez más personas, cada una generando más basura. En el 2012, los plásticos representaron en el país el 10.9%² de los residuos sólidos totales.



Figura 2.1 Composición de los RSU en México para 2011.¹¹

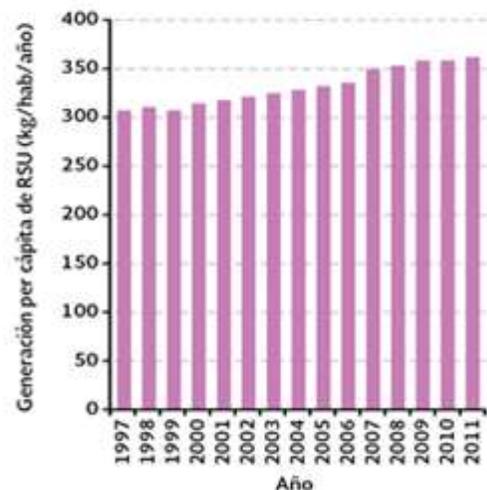


Figura 2.2 Generación per cápita.¹¹

La principal técnica de disposición de residuos sólidos, mediante vertederos, fueron desarrolladas para trabajar con desechos orgánicos, que hace cuatro décadas era el mayor componente de los residuos sólidos. Actualmente, los residuos sólidos se componen de múltiples elementos cuya descomposición es lenta o no se produce. Mientras que su confinamiento en el subsuelo puede impedir su descomposición o incluso provocar mayores daños al ambiente.

Mientras los desechos continúan aumentando en cantidad y diversidad, el desarrollo de la tecnología no ha sido explorado ni implementado. Doce de las entidades federativas no cuentan con recolección selectiva, y en 2010, 1643 de los vertederos son tiraderos a cielo abierto, mientras que sólo 283 son rellenos sanitarios². Por lo que no es posible el desarrollo de la infraestructura para reciclaje a partir de la separación en la mayoría de los estados.



Figura 2.3 Disposición final de los RSU en rellenos sanitarios, sitios controlados y sitios no controlados por tipo de localidad.¹¹

El poliestireno expandido presenta diversas características que lo hacen muy inconveniente al momento de ser procesado con el resto de los residuos sólidos. Es no biodegradable, le toma de varias décadas a cientos de años deteriorarse en el ambiente de un vertedero, y al ser deteriorado es posible que regrese al ambiente. Se compone aproximadamente de 95% aire, por lo cual su transporte es muy costoso y el volumen que ocupa en los vertederos es excesivo. Además su bajo costo de reciclaje hace su disposición final una mala opción económica recomendada sólo como último recurso, cuando la cantidad a separar sea tan pequeña como para separarlo convenientemente de los demás desechos.

El poliestireno, presenta ciertas ventajas que hacen su disposición controlada justificable en ciertos casos. Es totalmente inerte, por lo que no hay riesgo de contaminación mediante gases o lixiviados. Y mediante la introducción de aire, permite la descomposición de residuos orgánicos en el interior del vertedero.

La producción de poliestireno es mucho más contaminante que su reciclaje. Anteriormente, se utilizaban algunos clorofluorocarbonos para su extrusión, compuestos que se ha encontrado son muy agresivos con la capa de ozono, desde entonces, los procesos han sido revisados y modificados. Ahora, algunas empresas utilizan compuestos que son menos destructivos aunque no llegan a ser inocuos.⁵

Los procesos actuales de reciclaje del poliestireno son simples comparados con los de otros productos:

- Debido a su bajo punto de fusión (90°C dependiendo del fabricante) se puede fundir fácilmente para ser reutilizado.
- Pulverizarlo, permite facilitar su manejo mientras que se fabrican nuevas piezas de poliestireno.
- Es soluble en distintos disolventes de muy fácil acceso, reduciendo su volumen considerablemente aunque procesos químicos de reciclaje no se encuentran muy desarrollados.

La presencia de grasas y aceites contamina el poliestireno volviéndolo inadecuado para su reciclaje, razón por la cual se puede optar por la combustión de los residuos para generar energía. No se producen gases dañinos si las instalaciones son adecuadas para el manejo de los gases. Sin embargo, la pérdida del material es una razón para evitar su implementación.

En México los procesos de reciclaje de plásticos, se encuentran muy atrasados. En 2012 fueron producidos 4 584 990¹ ton de plásticos de desecho, y según datos del INEGI, en México solo se recicla el 0.1 por ciento del consumo anual, siendo el promedio en otros países el 30%².

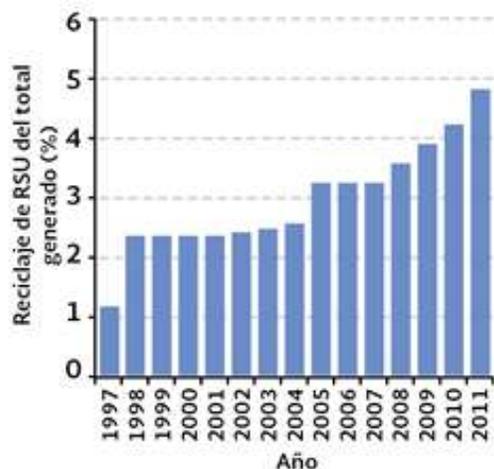


Figura 2.4 Reciclaje de RSU por año.¹¹

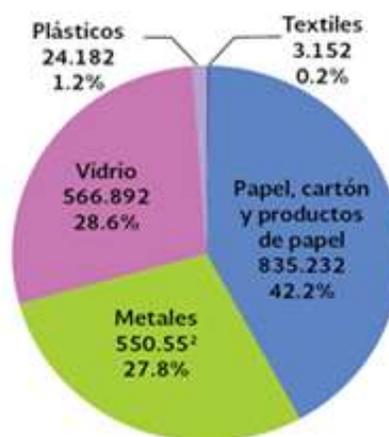


Figura 2.5 Composición de los RSU reciclados.¹¹

Varios factores impiden el desarrollo de técnicas de reciclaje, los principales problemas que se observan en México, son los altos costos del transporte ineficiente, debido al alto volumen de aire contenido en el poliestireno. La separación de los desechos en México también se encuentra muy atrasada, en la mayoría de los casos siendo implementada en planta o ignorada totalmente en el peor de los casos. El costo de la separación de los residuos útiles es una gran limitante en México. Sólo en las grandes ciudades se incentiva la separación de los residuos sólidos, siendo evidente que la mayoría del país no cuenta con un sistema adecuado de separación. Los costos asociados a separación y transporte de residuos no permite el desarrollo de industrias nuevas en el mercado de reciclaje de poliestireno. Siendo sólo empresas con ciertos ingresos capaces de incursionar en el mercado.

2.2 Generalidades sobre el poliestireno

El poliestireno es un material plástico celular y rígido, es un polímero de la familia de los vinílicos. Producido a partir del estireno, (Figura 2.6). Tiene una elevada resistencia a la tensión y una baja resistencia al impacto. Es muy resistente a químicos inorgánicos, incluyendo ácidos y bases. En cambio, es muy reactivo a muchos disolventes orgánicos, como hidrocarburos aromáticos, y es inerte con el agua.

Existen varias presentaciones de poliestireno, variando sus propiedades físicas y químicas. Estas variaciones permiten su uso en gran cantidad de industrias. Las principales presentaciones del poliestireno son, poliestireno cristal, poliestireno expandido, poliestireno extruido y poliestireno de alto impacto.

El poliestireno cristal, es el producto puro de la polimerización del estireno. Se denomina cristal ya que es transparente. El poliestireno de alto impacto se produce mediante la adición de caucho al estireno, alterando sus propiedades químicas. El poliestireno de alto impacto no es transparente, es menos quebradizo y más resistente a los impactos.

El poliestireno expandido y extruido son químicamente idénticos. La diferencia radica en los procesos utilizados para su manufactura. Mientras el poliestireno expandido requiere esferas expandibles, el poliestireno extruido se fabrica mediante un proceso continuo.

Se ha producido en la actualidad otro tipo de poliestireno, llamado sindiotáctico. Se diferencia del poliestireno cristal en la estructura de la molécula. Lo que le da mayor resistencia a las altas temperaturas, fundiéndose a los 270°C. Su principal desventaja es el costo de producción que es mucho mayor a la del poliestireno común o la de las alternativas plásticas. Por lo que ha caído en desuso.

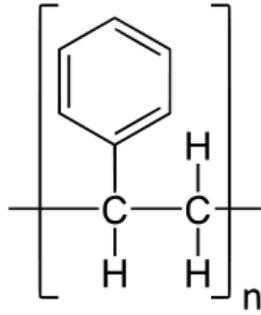


Figura 2.6 Estructura química del estireno.¹²

El estireno es un hidrocarburo aromático, C_8H_8 consiste en un anillo de benceno con un sustituyente de etileno. Se disuelve en algunos líquidos orgánicos pero no en agua. En su presentación pura es un líquido incoloro que se evapora con facilidad y de un aroma dulce penetrante. Posee una masa molar de 104.15g/mol, y una densidad de $0.909g/cm^3$. Un punto de fusión de $-30^\circ C$ y un punto de ebullición a $145^\circ C$.

2.2.1 Fabricación del estireno

El proceso de fabricación del estireno (Figura 2.7), se denomina deshidrogenización del etilbenceno. Se utilizan catalizadores, altas temperaturas, y bajas presiones, para promover la reacción del poliestireno. Los subproductos que se obtienen son tolueno y benceno.

El etilbenceno, y el etilbenceno recuperado, son combinados con vapor y precalentados por intercambio de calor con el producto a la salida del reactor. Antes de entrar el reactor se mezcla con más vapor que sale de un sobrecalentador que eleva la temperatura del vapor a $800^\circ C$. Esta mezcla es alimentada a los reactores donde se produce la reacción. El producto posteriormente es enfriado.

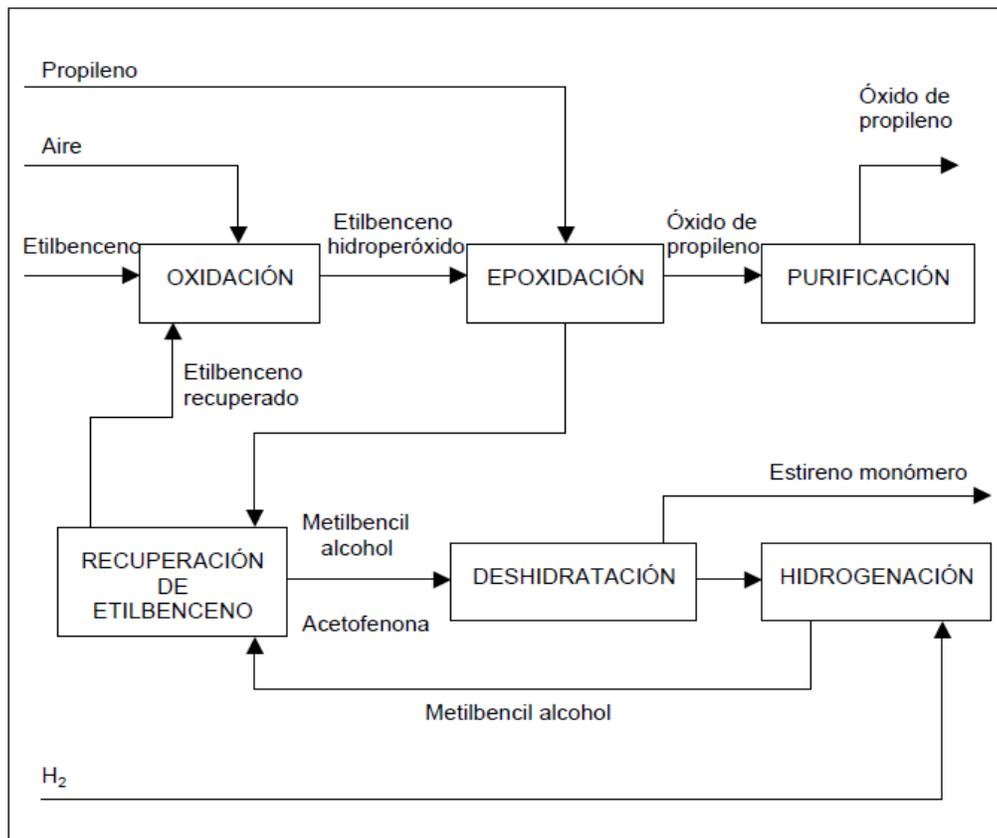


Figura 2.7 Proceso de fabricación del estireno.¹³

Luego se separa el etilbenceno del estireno mediante una destilación. El etilbenceno que contiene más de 3% de estireno es conducido de vuelta a la deshidrogenación donde es reciclado. El resto es estireno puro y los residuos son utilizados como combustible.

La mayoría del estireno se encuentra en la vida diaria en forma de poliestireno. El estireno se encuentra de manera natural en pequeñas cantidades en algunos alimentos, como son la canela, la carne de res, el café y otras semillas. En las pequeñas cantidades encontradas de manera natural, el poliestireno no es perjudicial para la salud. En grandes cantidades, aunque no se conocen efectos adversos a la salud a largo plazo, su olor penetrante puede generar diversos malestares como dolor de cabeza, mareos e incluso desmayos. Ésta sintomatología aguda desaparece rápidamente una vez que el individuo es alejado de fuente de exposición al poliestireno.

2.2.2 Estructura química y fabricación del poliestireno

La molécula de poliestireno consiste en una cadena de monómeros estireno de longitud variable. Por lo que la masa molecular del estireno varía entre 100 000 y 400 000 g/mol.

El poliestireno se produce mediante una reacción química denominada polimerización por adición (Figura 2.8). Para realizar esta reacción se requieren monómeros de estireno, una pequeña cantidad de un iniciador; que pueden ser algunos peróxidos, y un aporte de calor para iniciar la reacción.

La polimerización por adición es una reacción en la cual moléculas pequeñas, denominadas monómeros, se unen formando largas cadenas denominadas polímeros. La función del iniciador, es liberar los primeros enlaces ya que no es posible para los monómeros solos. Después la reacción se propaga por la disolución, y cada vez se adiciona otro monómero, lo que le da su nombre a la reacción. Esta reacción es muy importante ya que la mayoría de los plásticos y algunas fibras se fabrican mediante este procedimiento.

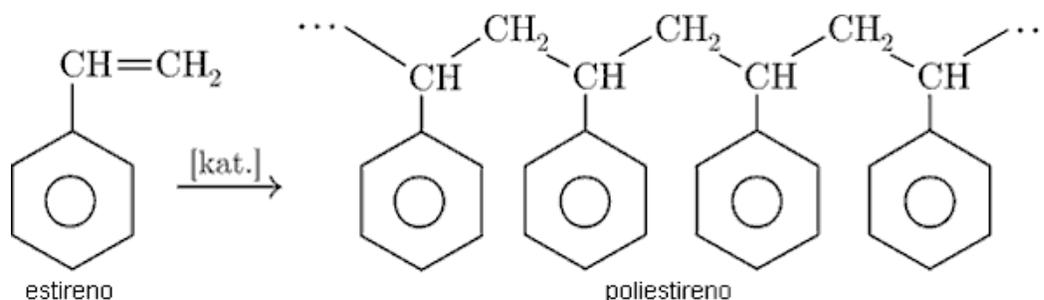


Figura 2.8 Fabricación del poliestireno, kat=catalizador.¹²

La primera producción industrial de poliestireno cristal fue realizada en Alemania, en 1930. Ya que los grupos fenilo se distribuyen aleatoriamente a ambos lados de la cadena, se dice que es un polímero completamente amorfo.

El poliestireno de alto impacto consiste en una matriz de poliestireno en la cual se encuentran suspendidas partículas microscópicas de caucho, casi siempre se utiliza polibutadieno. El resultado es un poliestireno opaco con características físicas mejoradas, se designa comúnmente como HIPS. No todo tipo de caucho es utilizado para la fabricación de poliestireno de alto impacto. Algunas combinaciones producen una mezcla amorfa sin propiedades de interés.

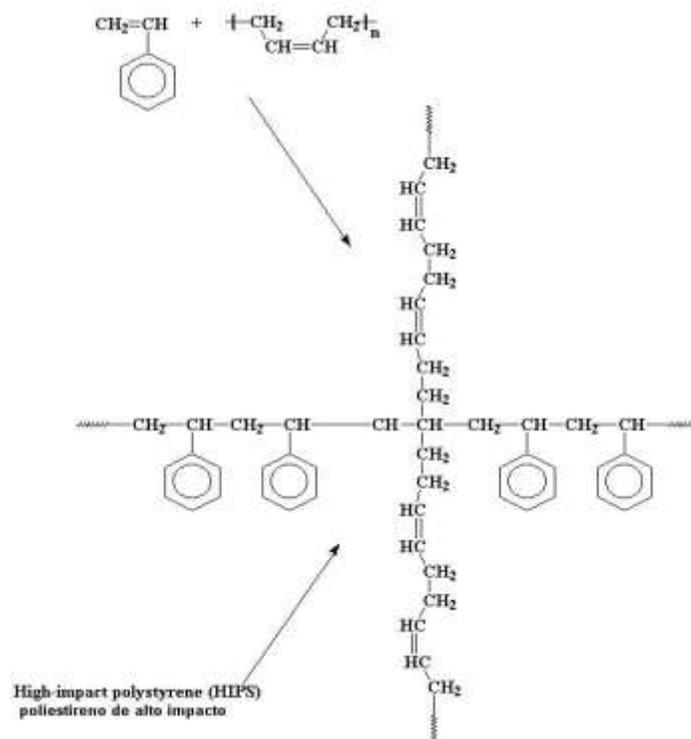


Figura 2.9 Poliestireno de alto impacto.¹⁴

Como se puede observar (Figura 2.9), en el poliestireno de alto impacto, las cadenas de caucho sobresalen de la cadena principal. Los polímeros de caucho y estireno no se mezclan entre sí, por lo que las cadenas de caucho intentan provocar una separación de fases. Al no ser exitosa la separación de fases, se propicia la formación de pequeñas conglomeraciones de caucho. Sin embargo, al producirse a nivel molecular, se propicia que el poliestireno y el caucho actúen

como una mezcla homogénea. Al recibir un impacto, el polibutideno absorbe la energía mediante una deformación temporal. Esto permite al producto final resistir impactos más fuertes y lo vuelve menos quebradizo.

El poliestireno expandido, es fabricado a partir de perlas de poliestireno expandible (Figura 2.10). Estas perlas contienen en su interior hasta un 6-7% de pentano. La facilidad con la que se evapora el pentano, hace necesario que las perlas sean transportadas a temperaturas relativamente bajas, menores a 20°C.



Figura 2.10 Perla de poliestireno expandible y expandida.¹⁵

Las perlas de poliestireno expandible son alimentadas a máquinas preexpandidoras. Estas inyectan vapor de agua a las perlas. El pentano al evaporarse rápidamente aumenta su volumen, produciendo la expansión del poliestireno. Posteriormente, el poliestireno expandido es calentado y moldeado en bloques o en diversas figuras, dependiendo del uso que se le dará dado posteriormente. Los bloques también pueden ser posteriormente cortados o moldeados según las necesidades del cliente.

El poliestireno extruido es fabricado de manera similar, la diferencia radica en que el poliestireno extruido es creado en un proceso continuo. Por ésta característica, las placas que se obtienen de poliestireno extruido pueden ser tan largas como se desee. Luego las placas fabricadas son cortadas a necesidad del cliente.

2.2.3 Usos del poliestireno

Cada presentación de poliestireno que se produce, tiene propiedades diferentes y únicas. La variedad de características permite su uso en una amplia gama de aplicaciones. Por lo que en la industria se ha aprovechado el poliestireno en muy diversas áreas.

El poliestireno, en cualquiera de sus presentaciones puede moldearse muy fácilmente por métodos térmicos, a un costo comparativamente bajo al de otras soluciones. Sus principales desventajas son su comportamiento ante las altas temperaturas, y su baja resistencia mecánica. Éstas características son las principales que limitan el uso del poliestireno.

El poliestireno además presenta la característica de que no es biodegradable, y no permite el desarrollo de microorganismos. Esto lo hace uno de los polímeros más utilizados en la industria alimentaria. Ya sea como empaque permanente o temporal, para gran cantidad de alimentos.

- El poliestireno cristal, es utilizado principalmente en aplicaciones donde la transparencia y el bajo costo son esenciales. Se encuentra fácilmente en la vida diaria en forma de empaques para CDs, empaques para huevo o cubiertos desechables.
- El poliestireno de alto impacto, más resistente que el poliestireno cristal. Su principal desventaja es la opacidad. Puede encontrarse transparente pero su costo es muy elevado y su uso no se encuentra muy extendido. El poliestireno de alto impacto se utiliza en carcazas para electrónicos, impresoras, algunos equipos de

seguridad.

- El poliestireno expandido, posee una densidad muy baja y puede ser cortado o moldeado muy fácilmente mediante procesos térmicos. Es muy utilizado como material didáctico. Es producido para formar diversas figuras ya que requiere moldeado. Ya que al deformarse puede absorber impactos fuertes, es utilizado en la industria del transporte como embalaje, asegurando la integridad de los productos incluso bajo condiciones adversas de transporte.
- El poliestireno extruido, al ser muy similar al poliestireno expandido, puede ser utilizado como sustituto a éste. Sin embargo, los métodos de producción aseguran que mayor cantidad de poliestireno pueda ser producida en conjunto. Por lo que es muy recurrido en aplicaciones en las cuales se requieren grandes cantidades de poliestireno. La industria de la construcción es un gran ejemplo, aunque también se utiliza como aislante de calor en gran cantidad de industrias.

2.2.4 Usos del poliestireno en la ingeniería civil

La industria de la construcción es una de las empresas que mayor uso hacen del poliestireno, especialmente en su presentación extruida. El uso extendido del poliestireno en la industria de la construcción se debe a que se requieren grandes volúmenes del material, casi sin importar el uso que le será dado.

En la industria de la construcción, no sólo se utiliza el poliestireno en grandes cantidades. También se utiliza en muchas aplicaciones, a continuación se presentan algunas de las más relevantes.

Aislamiento acústico

El aislamiento acústico es un procedimiento mediante el cual se intenta disminuir la contaminación auditiva producida por distintas fuentes, reduciendo el impacto en las áreas circundantes. Puede utilizarse para aislar fuentes de sonidos muy fuertes, aislar áreas que serán utilizadas para usos especializados que requieren bajos niveles de sonido, o para aislar distintas áreas dentro de una misma construcción para evitar que el sonido viaje entre ellas.

Como el poliestireno común no presenta cualidades apropiadas para el aislamiento acústico. Por lo que es sometido a un proceso mecánico de flexibilización. El proceso consiste en prensar el poliestireno expandido a fin de romper su rigidez interior y provocar que se convierta en un material flexible y con una baja rigidez mecánica. Además de trabajar en conjunto con otros materiales.

Para fines de aislamiento acústico, el poliestireno se puede encontrar de manera comercial en forma de placas. Generalmente se utiliza en medio de dos capas rígidas. Las placas pueden ser colocadas fácilmente alrededor de las fuentes de contaminación sonora, o alrededor de las zonas que se quieran proteger de los ruidos ambientales. Cabe mencionar que el aislamiento acústico es muy extendido para suelos flotantes, que se instalan para disminuir la transmisión de ruidos de impacto, como son pasos o arrastre de mobiliario.

El relleno con poliestireno expandido en la construcción de pantallas acústicas es una solución económica, ligera y de rápida ejecución que además permite emplear pendientes elevadas, con el consecuente ahorro de espacio. En este caso, los materiales normalmente empleados son sustituidos por bloques de poliestireno, que posteriormente se cubren con tierra y vegetación.

Relleno ligero

El poliestireno como relleno ligero es utilizado en la construcción de carreteras y ferrocarriles. El poliestireno destinado a este uso es capaz de soportar una carga de compresión conservando su forma. Esto posee varias ventajas, ya que reduce ampliamente los costos de mantenimiento, que tomados en cuenta contra otras alternativas, favorece al poliestireno. Además, su baja densidad, comparada con otros materiales utilizados, permite su uso expansivo sin temor a afectar la estabilidad del suelo.

Sus propiedades como aislante térmico hacen que el poliestireno limite los daños por heladas en la estructuras de la ingeniería civil incluso con el mínimo espesor. Una capa de poliestireno de 5 a 6 cm de espesor es suficiente para evitar que la temperatura de la cimentación descienda por debajo de los 0°C. Por lo que evita formación de fisuras en la estructura situada encima, provocada por el deshielo de la superficie del terreno.

En algunos casos, pequeños bloques de poliestireno son adicionados al suelo para mejorar la filtración de agua, ya que el agua puede pasar entre los granos de poliestireno. Ésta propiedad, en conjunto con un sistema de drenaje, puede disminuir el nivel de aguas freáticas de un área relativamente grande.

Uno de los usos más extendidos del poliestireno en la construcción es el aislamiento térmico de estructuras y espacios. Puede disminuir la oscilación térmica entre el día y la noche, disminuyendo la fatiga de los materiales debida a la expansión por calor. Además de que el mantenimiento es sencillo en caso de requerirse. La mejora del aislamiento térmico de un edificio puede suponer significativos ahorros energéticos, económicos y de emisiones de CO₂ del 30% en el consumo de calefacción y aire acondicionado, por disminución de pérdidas. Esto es importante, ya que en algunas edificaciones, el uso de los sistemas de calefacción y aire acondicionado, en algunas zonas puede significar el 50% del consumo energético del edificio.

Dependiendo de las características de la estructura a aislar, se deberá considerar la aplicación de aislamiento térmico en zonas donde:

- Se separen zonas habitables de no habitables, como estacionamientos, bodegas, etc. Esto debido a que las zonas no habitables tienden a tener mayores variaciones de temperatura. Siendo fuentes de incomodidad para los habitantes y produciendo pérdidas de energía.
- Zonas que separen con exteriores.
- Sistemas de suelos sobre el terreno, en algunas zonas, el gran gradiente de temperatura, y la gran área de contacto del suelo con el terreno, hacen de éstos sistemas una gran fuente de problemas para la habitabilidad de las estructuras. Especialmente si no se considera el uso de sistemas de aislamiento térmico.

El poliestireno cuenta además con usos para satisfacer ciertas necesidades específicas como pueden ser:

- Muelles para embarcaciones ligeras. Utilizando bloque de poliestireno se puede conseguir una cimentación flotante e insensible a la humedad. Es posible diseñarlos para funcionar con grandes cambios de nivel en el agua. El espesor del poliestireno depende de la cantidad máxima de personas que se espera soporte el muelle.
- Pequeños puentes de poliestireno. Una serie de grandes bloques de poliestireno puede permitir fácilmente el paso de peatones y bicicletas a través de un cuerpo pequeño de agua. Ofrece las ventajas de una

instalación rápida e incluso transporte o retiro de la estructura, permitiendo diseñar estructuras temporales.

- El poliestireno a veces se usa como aditivo para el concreto. La adición del poliestireno no sólo reduce la densidad del concreto fabricado, sino que también aumenta su capacidad de aislante térmico. A veces este concreto es utilizado en la construcción de carreteras.

2.3 Disposición actual e impacto ambiental del poliestireno

El sistema de tratamiento y recuperación de los residuos de poliestireno, es distinto dependiendo del uso que desempeñó el material. De ésta manera, se puede dividir el poliestireno en tres categorías dependiendo de las fuentes que lo producen:

Residuos industriales: Es el poliestireno que se utiliza para la industria del transporte. Debido a las grandes cantidades de poliestireno que genera la industria, es conveniente recoger los residuos en la industria generadora.

Residuos del comercio y distribución: Se incluyen cajas para alimentos, embalajes y otras bandejas agrupadoras de unidades a la venta. Los residuos de este tipo suelen concentrarse en diversos tipos de mercados; generalmente son gestionados por empresas especializadas.

Residuos domésticos: Son los que se producen en domicilios particulares, provenientes de envases y embalajes. En algunos lugares los ciudadanos disponen de diversas opciones para la disposición de estos desechos. En el caso del poliestireno, el volumen de los residuos muchas veces justifica el desarrollo de mecanismos de gestión de residuos¹⁰.

En México, el método principal de disposición de poliestireno es el relleno sanitario, debido a que existen muy pocas empresas dedicadas al reciclaje de poliestireno. La mayor parte del poliestireno utilizado que no se recicla, pasa a ser procesado con el resto de los residuos sólidos. La disposición de sólidos mediante un relleno sanitario no se considera la más adecuada para el poliestireno; ya que no es biodegradable y dependiendo del ambiente que lo rodea, puede tardar en degradarse hasta 500 años.

Dependiendo del nivel socioeconómico de la zona estudiada se genera mayor cantidad de desechos de poliestireno expandido. En zonas urbanizadas los desechos de poliestireno pueden llegar a formar entre 5% y 11% en masa de los residuos plásticos domiciliarios⁸.

El poliestireno expandido es 100% reciclable, puede utilizarse para formar bloques o productos del mismo material. Ya que en su composición el poliestireno no contiene compuestos dañinos, algunas veces la incineración controlada puede ser una técnica aceptable para su disposición.

El poliestireno puede ser contaminado con otras sustancias, lo cual lo hace inadecuado para su reciclaje. Éstos contaminantes casi nunca provienen de los usos industriales del poliestireno, y en el caso de desechos domiciliarios, el poliestireno puede ser contaminado por desechos orgánicos, aunque éstos son fáciles de eliminar.

El poliestireno es contaminado cuando entra en contacto con desechos industriales. Los aceites y disolventes utilizados en muchas industrias pueden producir pérdidas en la cantidad de poliestireno reciclable. El poliestireno entra en

contacto con éstas sustancias cuando es sometido a un manejo inadecuado de residuos. Encontrar poliestireno contaminado por sustancias difíciles de limpiar, no es muy común.

El reciclaje del poliestireno es separado en cuatro etapas a fin de facilitar su manejo y administración. Las etapas del reciclaje del poliestireno son las siguientes:

1. Acopio y recolección

Centros de acopio se abren en centros urbanos y se reciben desechos post consumo. Se reciben todo tipo de desechos, desde artículos de uso domiciliario (vasos, platos desechables, etc.), particulares, empresas e instituciones. En algunos centros de acopio, se procede a limpiar el material de contaminantes como líquidos, papel, y otros plásticos; aunque se prefiere recibir el poliestireno libre de impurezas.

2. Densificado/compactación

Luego de ser separado, el material pasa a un equipo de termodensificado, donde a través de calor, el aire es extraído del poliestireno y se producen bloques de 20 kg.

3. Transformación a materia prima

El bloque es transportado un centro de transformación a materia prima, donde pasa a un proceso de molienda y extrusión. El resultado de este proceso son pellets de poliestireno, en algunos casos, si se requiere poliestireno expandido nuevamente, son embebidos en una solución expansiva.

4. Fabricación de nuevos productos

Los productos resultados del reciclaje, pueden ser de cualquier tipo de poliestireno existente. Debido a sus propiedades químicas, gran parte del poliestireno de alto impacto no es utilizado para aplicaciones específicas, si no como parte de materia prima para productos de poliestireno de menor resistencia.

Las técnicas preferidas de reciclaje no utilizan exclusivamente poliestireno reciclado. Se prefiere en cambio utilizar poliestireno nuevo, con un porcentaje de poliestireno reciclado, para asegurar una calidad aceptable en el poliestireno y evitar la presencia de contaminantes en el material.

Cabe resaltar que el poliestireno reciclado no puede ser utilizado para crear productos que puedan entrar en contacto con alimentos o juguetes. Aunque el proceso de reciclado por sí mismo, puede eliminar microorganismos nocivos para la salud. La normatividad garantiza que el poliestireno destinado a la industria alimentaria no contenga contaminantes o patógenos.

Las principales técnicas de manejo de residuos de poliestireno son el reciclaje y la disposición final en rellenos sanitarios. La disposición en rellenos sanitarios no se considera ideal para el poliestireno. Aunque el poliestireno permite la descomposición de residuos orgánicos mediante la inclusión de aire, el poliestireno toma mucho tiempo en degradarse bajo las condiciones de un relleno sanitario. En algunos lugares, la incineración de poliestireno se considera una técnica adecuada para la disposición de poliestireno, debido a su alto contenido energético. La incineración de poliestireno genera contaminantes que son liberados al aire, que aunque pueden ser tratados, no es aconsejable, y se prefiere el reciclaje.

2.4 Métodos de fabricación de celdas

Para poder satisfacer las necesidades de los laboratorios del ICN, será necesario comparar las propiedades de los productos creados por los métodos disponibles, con las propiedades requeridas por las aplicaciones esperadas. Ya que los laboratorios que esperan hacer uso del material, trabajan en su mayoría con películas delgadas, se restringieron los métodos, a los capaces de obtener productos en ésta presentación. A continuación, se describen brevemente los métodos disponibles.

La técnica de Langmuir-Blodgett, permite la formación de capas de espesores muy delgados. Para desarrollarla, se produce una disolución del material de interés en un disolvente insoluble en agua. Después, se coloca el material disuelto en un espejo de agua. Se permite que se produzca la evaporación del disolvente, y el resultado es la obtención de una fina capa del material de interés en el espejo de agua. Se coloca esta fina capa de material sobre una superficie limpia y, finalmente, se deja secar en un ambiente limpio y seco, para garantizar la fijación del material en la superficie.

La evaporación es un método físico de formación de películas delgadas. Consiste en colocar una muestra del material de interés en un vacío, sobre una placa metálica. Luego, mediante el uso de un arco eléctrico, se calienta el contenedor metálico hasta el punto de producir gases del material de interés. Los gases se evaporan y son captados en una superficie previamente preparada para este fin. Produciéndose así una capa uniforme de material de interés.

La técnica de spin coating es otro método físico que funciona a partir de una disolución del material de interés. Se procede a formar una disolución del material de interés. Luego, se coloca un portaobjetos en el equipo, que se adhiere al portaobjetos mediante un vacío. Finalmente, el equipo procede a producir una

rotación de alta velocidad en el vidrio de reloj. Finalmente, se procede a colocar pequeñas cantidades de la disolución mientras ésta se encuentra en rotación. La rotación que el equipo imprime sobre el portaobjetos, permite que el exceso de material sea eliminado y por adherencia se genere una capa uniforme de éste. Se retira del equipo el portaobjetos y se coloca en un ambiente controlado para su secado.

La técnica de casting consiste en disolver el polímero en un disolvente. Posteriormente, se filtra la disolución y se procede a colocarla cuidadosamente sobre una superficie limpia y plana. Se coloca el conjunto en un ambiente controlado y seco, a fin de promover la evaporación del disolvente. Finalmente, se obtiene una capa de espesor constante sobre la superficie limpia. En algunos casos la capa de material puede ser removida de la superficie, dependiendo del espesor y del material utilizado.

2.4.1 Comparación de las técnicas disponibles

Las técnicas presentadas tienen diversos inconvenientes. Dependiendo el uso que se desea dar al material, es como se escoge el método a utilizar. Se presentan a continuación los principales problemas que se observan en cada una de las técnicas propuestas.

Técnica de Lagmuir-Blodgett: Los problemas que presenta este método para la creación de celdas son numerosos. Las capas creadas por el método son de un espesor muy pequeño, al punto de no poder ser separadas de la superficie en la que se encuentran, y en algunos casos no son visibles a simple vista. La técnica puede aplicarse varias veces para incrementar el espesor de la capa de material, pero se empiezan a presentar dificultades en la adición de capas posteriores. El equipo para la ejecución de este método es costoso y requiere personal capacitado. La técnica fue diseñada para investigación y su

implementación industrial, incluso a pequeña escala no es factible.

Técnica de evaporación: A pesar de producir capas de espesores mayores a loe que la técnica de Langmuir-Blodgett, la separación de las capas de la superficie de depósito es, en la mayoría de los casos, inviable. Los grandes tiempos requeridos para generar un vacío y para limpiar el equipo limitan su uso a 1 o 2 procesos por día. Aunado la pequeña cantidad de capas generadas, el proceso de evaporación presenta una capacidad de producción muy baja.

Técnica de Spin Coating: El equipo a utilizar no es tan costoso como las técnicas de Langmuir-Blodgett o de evaporación, la inversión requerida puede ser limitante. Requiere el uso de personal especializado y el control que se tiene sobre el espesor y forma de las capas producidas es muy limitado, dependiendo de la concentración del material en la disolución utilizada y de la velocidad de rotación proporcionada por el equipo.

Técnica de casting: No permite un control preciso del grosor de la capa que se produce, ya que depende de diversos factores que son: del área del molde utilizado, del volumen de la disolución utilizada, y de la concentración del polímero en ésta. Requiere ambientes estables, debido a que el tiempo de evaporación puede ser muy largo. El espesor de las capas puede llegar a ser muy inconsistente, dentro de una misma capa, dependiendo de la nivelación de la superficie y de la manera de distribuir la disolución.

Después de comparar los métodos disponibles, se decidió utilizar la técnica de casting para la fabricación de las celdas. Los rangos de espesores de las capas producidas son muy superiores a los permitidos por otras técnicas. Y aunque el control sobre los espesores producidos es muy limitado, sus otras características compensan sus desventajas.

2.5 Espectrometría de fluorescencia

La técnica de fluorescencia es una de las técnicas de identificación de compuestos más extendidas en la industria. Su uso extendido se debe principalmente a la facilidad con la cual permite identificar gran variedad de compuestos y concentraciones.

- Grandes costos que genera la adquisición y mantenimiento del equipo.
- Requiere un gran espacio en algunas aplicaciones.
- Requiere ambientes controlados para mejorar la calidad de las mediciones.
- El manejo cuidadoso del equipo puede ser un impedimento, ya que golpes fuertes y ambientes difíciles pueden dañar o descalibrar el equipo muy fácilmente
- La adquisición de aditamentos para el equipo puede provocar gastos considerables
- Requiere personal capacitado

El uso del método de espectrometría de fluorescencia se encuentra muy extendido en varias industrias, y su importancia no debe ser subestimada. A continuación se presenta una descripción de su mecanismo de funcionamiento.

Para su estudio, el mecanismo de fluorescencia se divide en tres etapas:

1. Absorción
2. Disipación no radiactiva
3. Emisión

El ciclo completo es muy breve, por lo que suele considerarse instantáneo. El tiempo del ciclo, es la principal diferencia que presentan los fenómenos de fluorescencia y fosforescencia.

El fenómeno de fluorescencia tiene gran cantidad de aplicaciones prácticas, entre los que se encuentran análisis de mineralogía, gemología, espectroscopia de fluorescencia, pigmentos, detectores biológicos y lámparas.

Mecanismo básico

La organización de los electrones en el interior de las moléculas y en los átomos es la responsable del efecto de fluorescencia.

La presencia de orbitales de baja y de alta energía en el átomo, permite que los electrones se desplacen entre ellos. Sin embargo, el desplazamiento del electrón entre los orbitales, necesita de una absorción o emisión de energía. Los electrones liberan o absorben la energía necesaria para cambiar de orbitales, en forma de radiación electromagnética.

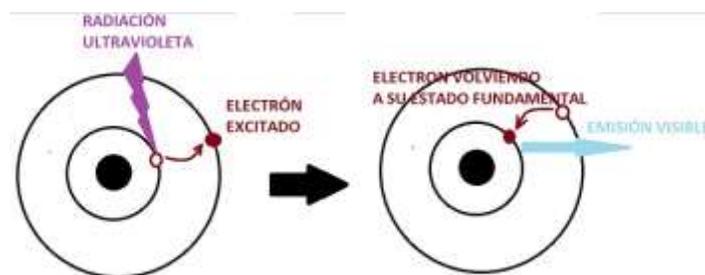


Figura 2.11 Procesos de excitación y emisión.¹⁶

Cuando la energía llega a los electrones, se hallan en los niveles bajos de energía, se excitan, y cambian a una órbita de mayor energía. Pero las órbitas de alta energía son inestables, por lo que el electrón regresa a su órbita anterior. Sin embargo, al regresar a su órbita, libera parte de la energía absorbida en forma de radiación electromagnética y el resto se pierde en forma de calor.

Las pérdidas en forma de calor, significan que la energía liberada siempre es menor a la absorbida, pero las longitudes de onda involucradas dependen de las sustancias estudiadas.

Para cada tipo de átomo la diferencia energética entre dos orbitales es constante, lo que significa que los electrones sólo pueden cambiar de orbital si reciben una cantidad de energía igual a la necesaria para el cambio de orbital. En átomos elementales, las cantidades de energía son muy precisas y definidas, porque las diferencias entre orbitales son muy marcadas.

En el caso de compuestos, los orbitales atómicos se combinan, interactúan entre sí, y forman orbitales moleculares. Las energías necesarias para que los electrones cambien de orbital en las moléculas, pueden ser muy distintos a las líneas de absorción de los átomos que las conforman. Y la mayor cantidad de átomos que conforme la molécula, mayor cantidad de orbitales que permiten el desplazamiento de los electrones.

Cuando se estudia la formación de bandas de absorción en compuestos, se debe considerar que la forma de la molécula puede modificar ligeramente la cantidad de energía necesaria para permitir el salto de electrones por los orbitales. De esto se deduce que las interacciones entre orbitales y energía son bastante complejas.

La espectrometría de fluorescencia es un procedimiento experimental de espectrometría que analiza las longitudes de onda absorbidas y emitidas de una muestra. Este procedimiento requiere el uso de un haz de luz para excitar los electrones y provocar la emisión. Aunque la emisión no es el objetivo del análisis por fluorescencia.

Conocer la longitud de onda e intensidad del haz de luz utilizado para excitar los electrones, permite comparar el haz de luz antes y después de interactuar con los compuestos estudiados. El haz de luz es controlado para emitir una longitud de onda en un momento determinado. El compuesto absorbe parte de la energía emitida en el haz de luz, sólo en ciertas frecuencias, por lo que se puede medir la reducción en la intensidad del rayo luminoso. El diagrama que resulta del proceso compara la intensidad de la onda con la longitud de onda.

El otro diagrama que se puede obtener en el equipo de fluorescencia son las bandas de emisión. Con un lector perpendicular a la dirección del haz de luz, se puede detectar la intensidad y longitud de onda de la luz emitida por la muestra al momento de la emisión. Esto permite conocer el espectro de emisión de los compuestos de interés. Con los resultados que se obtienen del equipo de fluorescencia, se pueden identificar compuestos, concentraciones o partes que conforman las moléculas de estudio en algunos casos.

Los resultados que se obtienen del equipo consisten en dos gráficas de intensidad-longitud de onda. Las variaciones que se observan en las intensidades son denominadas bandas. Las bandas son dependientes del compuesto que sea sometido a la prueba de fluorímetro.

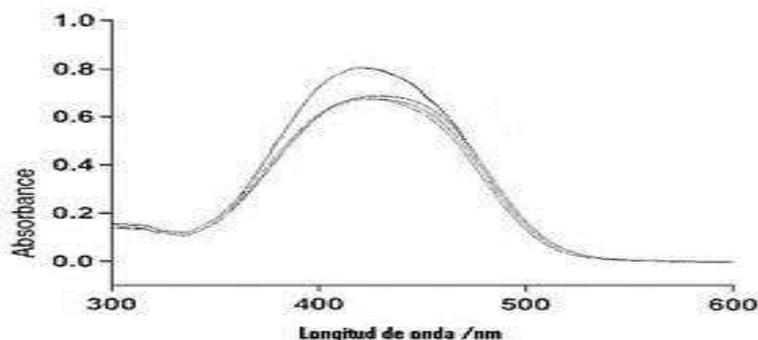


Figura 2.12 Ejemplo de bandas de absorción.¹⁶

Las bandas que muestra un compuesto bajo la prueba de fluorímetro dependen principalmente de su composición y de la forma de la molécula analizada. Para identificar compuestos, se comparan las bandas obtenidas con aquellas de compuestos conocidos. Cuando se cuida e identifica la presencia de contaminantes ambientales como el bióxido de carbono y el agua, se puede obtener una confiable predicción de la composición del compuesto y su identificación.



Figura 2.13 Equipo de fluorescencia.¹⁶

Otra manera de identificar compuestos, es socorrida cuando las bandas obtenidas no coinciden con compuestos conocidos. Consiste en separar los elementos que conforman las bandas y compararlas con componentes conocidos. Existen bandas que se forman especialmente con ciertos tipos de enlaces y estructuras moleculares.

Con este método se pueden generar aproximaciones a la estructura interna de la molécula. Sin embargo, la forma y composición completa de la molécula no se puede obtener mediante este método. Ya que algunos átomos y compuestos son transparentes para las longitudes de onda electromagnética utilizados por el equipo.

CAPÍTULO 3

3 DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1 Caracterización del poliestireno como material factible para la elaboración del dispositivo

Ya que se conocen las características que requiere el equipo de fluorescencia para su correcto funcionamiento, también es necesario conocer las características que requieren los equipos de investigación. Diversos usos esperados requieren diferentes cualidades de las películas de poliestireno. A continuación se presentan las características requeridas de las películas de poliestireno. A fin de garantizar su funcionamiento en los equipos de fluorescencia e investigación propuestas.

- **Transparencia:** La opacidad en los compuestos analizados en espectroscopia generalmente no es un problema. La opacidad en los materiales se considera un buen indicador de la transparencia general del material durante la prueba. Igual que la presencia de color, la opacidad puede considerarse como un indicador del desempeño del material en la prueba de fluorescencia.
- **Métodos de producción simples:** La frecuencia de análisis realizados al compuesto de estudio, requieren una disponibilidad adecuada. Un proceso de producción complejo puede ser un obstáculo para la implementación del proyecto, ya que las cantidades de celdas que se planean producir no son muy grandes y una implementación industrial no se considera factible.

- Estériles: Debido a la variedad de usos a los que se desea sean sometidos, las celdas no deben promover la presencia y proliferación de bacterias. Aunque no se espera que sean almacenadas durante largos periodos de tiempo, el crecimiento de bacterias podría generar errores en las lecturas obtenidas mediante fluorescencia debido a la sensibilidad del equipo. Al ser capaces de metabolizar el compuesto o mediante la formación de compuestos similares a partir de otras fuentes.
- Libres de impurezas: Algunas impurezas introducidas en el material podrían alterar las lecturas obtenidas mediante fluorescencia. Sin embargo, se debe tener especial cuidado con contaminantes de compuestos orgánicos, ya que se sabe que pueden generar interferencias en las lecturas en los rangos de trabajo.
- Color: la presencia de color en un compuesto, es un fuerte indicador de que en algún punto de las bandas, la intensidad va a ser tan alta que el lector no lo puede medir. Por lo que cuando se analiza un compuesto con color aparente se pueden utilizar los filtros de intensidad del equipo o se puede disolver el compuesto, de manera que la intensidad sea reducida.
- El estado de agregación en el cual se encuentra el compuesto, no es un impedimento para realizar las pruebas. Pero se requiere de distintos accesorios para utilizar el equipo, que requieren calibración y un procedimiento específico.
- Impurezas, la alta precisión del equipo de fluorescencia puede provocar cambios en los espectros observados. Principalmente si no se limpian adecuadamente las celdas o las muestras contienen contaminantes.

3.2 Método de casting

Ya que se escogió la técnica de casting para trabajar el poliestireno, es necesario determinar los elementos necesarios para su ejecución. Para desarrollar la técnica de casting, se requiere determinar el disolvente a utilizar, la concentración de trabajo, y el espesor de las capas que se producen del poliestireno.

Se comienza por determinar el disolvente a utilizar. Se debe garantizar que la disolución de poliestireno sea adecuada para la técnica de casting, que la disolución no altere las propiedades deseadas del poliestireno. Se previó además que el disolvente no tenga elevado punto de ebullición, a fin de disminuir el tiempo de evaporación y evitar el uso de equipos más sofisticados.

En el laboratorio, se puede trabajar con diversos disolventes. Pero sólo algunos de son candidatos para trabajar el poliestireno mediante la técnica de casting. De esto, se seleccionaron tres disolventes orgánicos en el laboratorio, dependiendo de su accesibilidad, y costo. Se seleccionaron ciclohexano, cloroformo y acetona como candidatos para desarrollar el proyecto. A continuación, se procede a presentar las características más importantes de los disolventes seleccionados.

Cloroformo.

También llamado triclorometano o tricloruro de metilo. Su fórmula química es CHCl_3 , posee una masa molecular de 119.38 g/mol y una densidad de 1.483 g/cm³. Es un líquido incoloro y no inflamable, con un olor dulce y penetrante. Es volátil a temperatura ambiente y posee un punto de ebullición de 61°C. Se descompone rápidamente cuando se expone al oxígeno y a la luz solar.

Sus principales usos son en la industria como disolvente de aceites, grasas y otros compuestos orgánicos. Y en la industria química como materia prima, para extraer ciertas moléculas de estudio en la biología.

El cloroformo es un depresor del sistema nervioso central, y como tal, su vapor fue usado en la medicina como anestésico general. Sin embargo, su uso se ha sustituido por otros compuestos debido a la toxicidad que presenta. El cloroformo puede producir muerte por depresión del sistema respiratorio cuando es inhalado. La exposición constante puede producir daños al hígado y los riñones.

También tiene efectos agudos dependiendo la concentración a la cual se expone el individuo. De 100 a 400 mg/m³ se ha reportado que provoca dolor de cabeza, depresión y molestias digestivas. Se ha estudiado su potencial carcinógeno en ratas, dando resultados negativos, su potencial carcinógeno en humanos, no ha sido estudiado.

Acetona.

La acetona es un compuesto de fórmula $\text{CH}_3(\text{CO})\text{CH}_3$ Es un líquido incoloro de olor característico y penetrante. Es volátil, e inflamable. Posee una masa molar de 79 g/mol, una densidad de 0.788 g/cm³ y un punto de ebullición de 56°C, además de ser soluble en agua.

Se utiliza en la producción de plásticos, fibras y medicamentos, así como disolvente de otros compuestos. Se encuentra en forma natural en plantas, emisiones de gases volcánicos, y como producto de degradación de grasas animales.

Su toxicidad es baja, por lo que se considera un compuesto poco peligroso. Sin embargo se ha observado que la presencia de acetona puede aumentar la toxicidad de otros compuestos. Los efectos de la intoxicación crónica por acetona son dolor de cabeza, irritación de ojos, nariz y tráquea, los síntomas desaparecen al salir del área contaminada.

Ciclohexano.

Es un compuesto de fórmula C_6H_{12} , un líquido incoloro de olor característico. Tiene una densidad de 0.779 g/cm^3 , una masa molar de 84.160 g/mol y un punto de ebullición de $81 \text{ }^\circ\text{C}$. Su cadena de carbonos se encuentra en forma de anillo. Es utilizado principalmente como disolvente y en la producción de nylon.

El vapor de ciclohexano es más denso que el aire y puede extenderse al ras de suelo. Esto es de gran importancia si se toma cuenta que el ciclohexano es inflamable. Por lo que se debe evitar su uso en lugares con mala ventilación, debido a riesgo de incendio o explosión.

Se absorbe en humanos por vía pulmonar y es expulsado por la respiración y en vías urinarias. Tiene una baja toxicidad por vía cutánea, oral o por inhalación. Exposiciones prolongadas al compuesto pueden provocar diversos malestares, como son tos, dolor de cabeza e irritación de la piel, los efectos empiezan a ceder al terminar al alejar al afectado del área.

Aunque no se espera llegar con la técnica de casting a la concentración de saturación, se deberá obtener en el laboratorio, para obtener un rango de trabajo. La prueba servirá también para determinar las propiedades físicas de la disolución con poliestireno. Ya que algunas características propias de las disoluciones, como la viscosidad, o la evaporación del disolvente, pueden dificultar el desarrollo de la técnica de casting. Por lo que además de la solubilidad, se ejecutará la técnica de casting a las disoluciones. A fin de detectar posibles complicaciones que puedan presentar las disoluciones durante la técnica y en las celdas finalizadas.

Para determinar la máxima concentración del poliestireno en los solventes. Se siguió el siguiente procedimiento:

- Se mide la masa de los vasos de precipitados en los cuales se colocarán los solventes
- Se coloca 1 ml de disolvente en el vaso de precipitados.
- Se mide la masa de los vasos de precipitados con el disolvente.
- Se disuelven pequeñas cantidades de poliestireno en los solventes. Hasta que se observe que la disolución se encuentra en estado saturado. Es decir, hasta que la disolución no acepte más poliestireno.
- Se procede a medir la masa de los vasos de precipitados con las disoluciones de poliestireno, para poder determinar la concentración masa/masa.

Utilizando la densidad, se transforma la concentración masa/masa, a una concentración masa/volumen, que por fines prácticos, será utilizada a lo largo de la experimentación.

El procedimiento que se siguió para realizar la técnica de casting fue el siguiente:

Primero, se coloca el cristal en una superficie lisa, y se procede a comprobar su nivelación. Ya que cualquier inclinación sobre la superficie puede producir que las disoluciones fluyan fuera del área de trabajo.

Se limpian muy bien los portaobjetos, mediante el proceso estándar en el laboratorio. Primero, se lavan los portaobjetos con agua y jabón, después se eliminan los residuos de agua enjuagando el portaobjetos en alcohol y finalmente se enjuaga nuevamente el portaobjetos, esta vez con cloroformo. Luego, se colocan los portaobjetos sobre el cristal nivelado.

Se colocó una pequeña cantidad de algodón en el interior de la jeringa de pasteur. Esto con el fin de filtrar la disolución, para retirar contaminantes que pudieran alterar las propiedades de la capa.

Con ayuda de una pipeta, se coloca 1 ml de disolución en el interior de la jeringa de pasteur.

Una vez colocada la disolución en el interior de la jeringa de pasteur, se procede con cuidado a colocar la disolución sobre los portaobjetos. Se cuida de no colocar material fuera de los portaobjetos, ni que la disolución pueda fluir fuera de los mismos.

Se repite el procedimiento con todas las disoluciones, utilizando una nueva jeringa de pasteur para cada disolución.

En algunos casos, debido a las propiedades de los solventes, puede ser recomendable colocar las muestras en un autoclave, para controlar la temperatura y promover la evaporación de los solventes. En este caso, ya que los solventes son inflamables, y su temperatura de ebullición muy baja, se consideró demasiado peligroso e innecesario el uso de autoclave.

Se procedió a permitir la evaporación del disolvente durante un periodo de 72 h. a fin de terminar el proceso de casting. Ya que se observaron cambios relevantes en las características de las películas obtenidas, se procederá a documentar las variaciones que se presentaron. También se mencionarán diversos inconvenientes que se presentaron durante la ejecución del método de casting, derivados del disolvente utilizado para disolver el poliestireno.

3.2.1 Determinación de la concentración de trabajo

Ya que se estableció el disolvente a utilizar en la técnica de casting, se procede a obtener la concentración de trabajo, que es menor a la de saturación. La concentración de trabajo se obtiene a partir de los espesores de capa deseados, el espesor de la capa que se obtiene mediante casting, es directamente proporcional a la concentración de la disolución de poliestireno. Debido a los proyectos que se desarrollarán con el poliestireno, se considera que un espesor de 0.1 mm es adecuado.

Para obtener la concentración de trabajo, primero se midió con ayuda de un vernier, el espesor de las capas creadas previamente.

Se observa que las capas creadas con la concentración de saturación tienen un espesor de 0.6 mm. Ya que este espesor se obtuvo con una concentración de 0.62 g/ml. Se obtiene una relación de 9.67 mm/g/ml, y ya que se quiere obtener un espesor de 0.1 mm se deberá utilizar una concentración de aproximadamente 0.103 g/ml.

Ya que el resultado de espesor es una aproximación, se trabaja con disoluciones cercanas a ésta. Para observar el comportamiento del espesor contra la concentración, se trabajará con nueve muestras de tres concentraciones distintas de 0.1, 0.2 y 0.3 g/ml. Se procederá a medir sus espesores con ayuda de un vernier, de las mediciones se espera conocer las concentraciones de trabajo a utilizar.

3.3 Fluorescencia del poliestireno

Como el uso películas de poliestireno, es en el área de fluorescencia, se considera necesario obtener el espectro de fluorescencia de poliestireno.

Para obtener los espectros de fluorescencia del poliestireno, se procede a utilizar el equipo de fluorescencia en el ICN. Ya que el poliestireno se encuentra en forma de películas, se procederá a seguir el procedimiento de prueba para sólidos en el equipo de fluorescencia. El equipo se utiliza principalmente para obtener los espectros de muestras disueltas en líquidos. Por lo que será necesario usar los aditamentos adecuados para los sólidos.

Pruebas en sólidos y películas.

Ya que se desea comparar las propiedades del poliestireno con el equipo estándar, se presentarán y compararán los espectros bajo diferentes combinaciones. El poliestireno sin combinar, el vidrio estándar, el vidrio con poliestireno, vidrio con un compuesto conocido, y el de poliestireno con un compuesto conocido. A partir de estas combinaciones, se espera comparar las propiedades del poliestireno, y obtener un intervalo de trabajo factible para las pruebas de fluorescencia. La transparencia del poliestireno podría repercutir sobre los trabajos a desarrollar.

Como se utilizará otro accesorio al comúnmente utilizado en el laboratorio se utilizará el procedimiento de calibración del equipo.

- Se retira el dispositivo de análisis de disoluciones apretando los botones que se encuentran en la parte superior de la placa, a los lados del contenedor de celdas.
- Se coloca el aparato de análisis de polvos y sólidos, presionando los botones que se encuentran a ambos lados en la parte superior del dispositivo
- Se enciende el equipo y se deja calentar, para disminuir el desgaste que recibe la lámpara con el uso.
- En el software del equipo, se accede a las utilidades y se accede a la opción de calibración. Cabe mencionar que el equipo detecta automáticamente el dispositivo instalado.
- Se coloca una tarjeta opaca de cartón en el equipo de análisis de sólidos.
- Se cierra la tapa del equipo de fluorescencia.
- Se inicia la calibración en el software del equipo de fluorescencia.
- Se giran los tornillos colocados en la parte posterior del aditamento para sólidos hasta que se consiga la máxima intensidad, en este punto el equipo se encuentra calibrado.
- Se detiene la calibración del equipo en el programa.

Una vez calibrado el equipo, se procede a realizar las pruebas de fluorescencia para determinar el rango de trabajo permitido por el poliestireno. Los espectros de emisión se encuentran en rojo, mientras que los espectros de excitación se encuentran en azul.

Para comparar los espectros, se tomará el espectro obtenido cuando se utiliza solamente vidrio de cuarzo estándar utilizado en el equipo. Luego se tomará la muestra de poliestireno que se desea utilizar. Finalmente, se tomará el espectro combinado de poliestireno y vidrio.

3.4 Caracterización de las fuentes de poliestireno

Las características del poliestireno que se obtiene de las diversas industrias, pueden modificar los procedimientos utilizados en el laboratorio. Por lo que es importante identificar las posibles desventajas que se asocian a las fuentes.

Residuos domésticos: Los residuos de poliestireno que son producidos por la población en general, presentan varias desventajas. Entre ellas, la presencia de contaminantes orgánicos. Al entrar en contacto con los compuestos utilizados en el laboratorio, estos contaminantes podrían generar gases tóxicos. Por lo que se requiere un procedimiento de limpieza previo para utilizarlos con seguridad.

Residuos industriales: Los residuos producidos por la industria del transporte no poseen contaminantes. Sin embargo, la reutilización del poliestireno expandido, significa que la producción de los residuos es muy baja.

Residuos de comercio: los residuos de producto del comercio son de poliestireno no extruido, lo cual puede ser un inconveniente para los métodos utilizados. Algunos de ellos contienen contaminantes orgánicos, y parte de ellos son difíciles de separar de otros plásticos.

3.5 Determinación de la generación

A fin de tener una mejor idea del posible alcance y capacidad de la puesta en práctica del proyecto, es necesario conocer las características de los residuos de poliestireno que se pueden utilizar como fuente.

El estudio de residuos sólidos, ha sido de vital importancia para el establecimiento de metodologías que permiten un adecuado manejo de los residuos sólidos. La información obtenida de estos estudios permite conocer la cantidad de residuos producidos, y los materiales que componen los mismos.

Los estudios de residuos sólidos, permiten identificar la cantidad de residuos aprovechables, determinando el potencial de los proyectos de reciclaje. Los estudios de generación se realizan generalmente en las plantas de transferencia, o en los sitios de disposición final, ya que permiten una muestra más representativa de la población. Aunque también han sido realizados en el transporte recolector, o en la fuente.

La frecuencia con la que se producen los estudios de generación de los residuos sólidos, y la importancia de los datos que proveen, ha llevado al desarrollo de normatividad para su ejecución. La normatividad establece diversos métodos y criterios para determinar la generación de residuos sólidos. Las normas que se utilizan para desarrollar un estudio de generación de residuos son las NMX-AA-15, NMX-AA-19, NMX-AA-22, NMX-AA-61 y la NMX-AA-91 establecidas en 1985 y actualizadas en 1992.

La norma NOM-AA-61, establece como objetivo, establecer un método para determinar la generación de residuos sólidos a partir de un muestreo estadístico aleatorio. Se utilizará el procedimiento para conocer la generación per cápita de residuos sólidos de las zonas cercanas a Ciudad Universitaria. Por lo que se establece la posibilidad de que éstas zonas sean fuentes de producción de poliestireno reciclable.

Para fines del proyecto, se procederá a establecer la generación per cápita de residuos sólidos domésticos. Ya que las cantidades requeridas para el proyecto son demasiado pequeñas para considerar una fuente constante de grandes cantidades de poliestireno.

Se procede a seguir y explicar los procedimientos establecidos por la NMX-AA-61 para la determinación de la generación per cápita de residuos sólidos domésticos.

Ya que no se posee un equipo de trabajo de varias personas, o con todo el equipo necesario para el desarrollo de un estudio extensivo de producción de residuos sólidos. Se adaptará la metodología establecida en la norma para facilitar la determinación de la producción. Sin embargo, se buscará que los resultados sean lo más representativos posibles de la zona de interés.

Ya que la producción de las capas delgadas de poliestireno, se espera sea destinada principalmente a la investigación, no se espera que se requieran grandes volúmenes. Ya que los proyectos en los que se desea utilizar el poliestireno aún se encuentran en fase de planeación, no se cuenta con datos de consumo del material. Sin embargo, se espera que el principal uso sea la investigación, por lo que no se espera un consumo constante o de grandes cantidades.

CAPÍTULO 4

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Caracterización del poliestireno como material factible para la elaboración del dispositivo

A continuación se presenta una tabla con las concentraciones de saturación experimentales obtenidas para los disolventes utilizados con poliestireno.

Tabla 4.1 **Concentración de saturación de poliestireno en los solventes**

Disolvente	Masa vaso de precipitados [g]	Masa vaso de precipitados con disolvente [g]	Masa vaso de precipitados con disolución [g]	Concentración % m/v
Cloroformo	27.4	28.83	29.48	0.65
Cloroformo	27.9	29.01	29.59	0.58
Cloroformo	26.8	28.73	29.36	0.63
			Promedio	0.62
Ciclohexano	27.4	28.18	29.76	1.58
Ciclohexano	27.5	28.28	29.75	1.47
Ciclohexano	28	28.79	30.56	1.77
			Promedio	1.61
Acetona	27.6	28.39	28.67	0.28
Acetona	27.3	28	28.33	0.33
Acetona	27.9	28.69	29.01	0.32
			Promedio	0.31

Ya que se ha determinado la concentración de saturación de las disoluciones, se procede a determinar sus características físicas relevantes.

La disolución de cloroformo es transparente, y su viscosidad aumenta con la concentración de poliestireno. No presenta la formación de grumos y el color no cambia a concentraciones mayores.



Figura 4.1 Disolución de poliestireno con cloroformo.¹⁸

La disolución de poliestireno en acetona presenta características muy inconvenientes para el método de casting. Presenta un color blanco al momento de contacto. Se forman grumos de poliestireno que se precipitan dentro de la disolución. Se forma una mezcla de poliestireno y acetona de consistencia pastosa, la consistencia es muy inadecuada para el desarrollo de la técnica de casting.



Figura 4.2 Disolución de acetona con poliestireno.¹⁸

Finalmente, la disolución con ciclohexano presenta cambios muy drásticos de viscosidad y adherencia, siendo estos cambios fácilmente observables sin la necesidad de equipos de medición. La disolución presenta una ligera coloración marrón transparente, que se vuelve más notoria mientras la concentración de poliestireno aumenta.



Imagen 4.3 Disolución de poliestireno con ciclohexano.¹⁸

Una vez, que se han definido las características físicas de las disoluciones se aplica la técnica de casting, a fin de determinar las características de las películas formadas por los distintos disolventes.

La disolución con acetona fue la que más inconvenientes presentó al aplicar la técnica de casting. La presencia de grumos de poliestireno, evita el paso de la disolución por el filtro de algodón. Por lo que se recurrió al uso de una propipeta para promover el paso por la jeringa de pasteur, por lo que la calidad del filtrado se ve comprometida.

La película formada por la disolución de poliestireno presenta un color blanco opaco, característica inaceptable para los propósitos en los cuales se desean utilizar las celdas. Presenta burbujas de aire, y una superficie rugosa. La separación del portaobjetos se logra de manera significativamente sencilla, en algunos casos presentándose de forma espontánea una vez terminado el secado. De éstas características se deduce que la disolución de poliestireno con acetona no es adecuada para la fluorescencia.



Figura 4.4 Celda de poliestireno y acetona.¹⁸

La película formada con ciclohexano presentó un color ámbar una vez terminado el periodo de secado. Luego del periodo de 72 horas, la disolución de ciclohexano aún presentaba gran cantidad de disolvente, no se observaron cambios en la evaporación aún después de otro periodo de 72 horas. La separación de la capa de poliestireno del portaobjetos no es viable debido a la presencia de disolvente, que mantiene el poliestireno en un estado plástico y adherente.



Figura 4.5 Película de poliestireno y ciclohexano.¹⁸

La película formada con disolución de cloroformo presentó las mejores características. No se observó color aparente del poliestireno, y la separación del poliestireno del portaobjetos es sencilla. La superficie es lisa, con ligeras imperfecciones. Durante la técnica de casting, se observó que la rápida evaporación del cloroformo dificultaba la ejecución de la técnica de casting, promoviendo la aparición de imperfecciones superficiales. Sin embargo se espera que al reducir la concentración de trabajo, este inconveniente sea resuelto.



Figura 4.6 Película de poliestireno y cloroformo.¹⁸

Observando las características y problemas que se presentaron durante el casting y en sus resultados, se decide trabajar con cloroformo para desarrollar el resto del proyecto.

4.2 Método de casting

Para aplicar el método de casting, se requirió el siguiente equipo:

- Jeringa de pasteur larga
- Propipeta
- Pipeta.
- Algodón
- Portaobjetos
- Cristal de 20*20 cm
- Nivel

Tabla 4.2 Relación del espesor con la concentración

Concentración de la disolución [g/ml]	Espesor de la película [mm]
0.1	0.1
0.1	0.1
0.1	0.1
0.1	0.1
0.1	0.1
0.2	0.1
0.2	0.1
0.2	0.1
0.2	0.1
0.2	0.1
0.3	0.2
0.3	0.2
0.3	0.2
0.3	0.2
0.3	0.2

Como se puede observar, el vernier no contiene suficiente resolución para determinar la variación de espesores con la variación de las concentraciones. En vista a este problema, se recomendó utilizar el equipo de perfilometría para conocer la variación de los espesores.

El equipo de perfilometría se encuentra en el Instituto de Física de la UNAM, y las películas a analizar son enviadas y analizadas en el lugar. Se pueden obtener varios resultados, como una gráfica del perfil de altura de capas delgadas. En este caso sólo se desea conocer el espesor promedio de las películas utilizadas. Único dato que se utilizará para el desarrollo del proyecto.

Se analizaron en el equipo seis películas. Se decidió enviar 2 películas de cada concentración.

Tabla 4.3 Espesores de perfilometría

Concentración de las disoluciones [g/ml]	Espesor de perfilometría [mm]
0.1	.0895
0.1	0.08897
0.2	0.1563
0.2	0.1568
0.3	0.2336
0.3	0.2335

Se observa que las variaciones en la medida de la concentración no tienen relevancia hasta el tercer o cuarto decimal del espesor de la película. Por facilidad de trabajo, se decidió trabajar con concentraciones de 0.1g/ml. Se observa que la estabilidad de los espesores, permite un amplio control del espesor de la película por medio de la variación de la concentración a utilizar. En caso de ser requerido, se podría calcular la concentración a utilizar para obtener otros espesores de capa.

4.3 Espectrometría de fluorescencia

A continuación se presentan comparaciones de los espectros de emisión y absorción para las celdas estándar y de poliestireno, obtenidas en laboratorio.

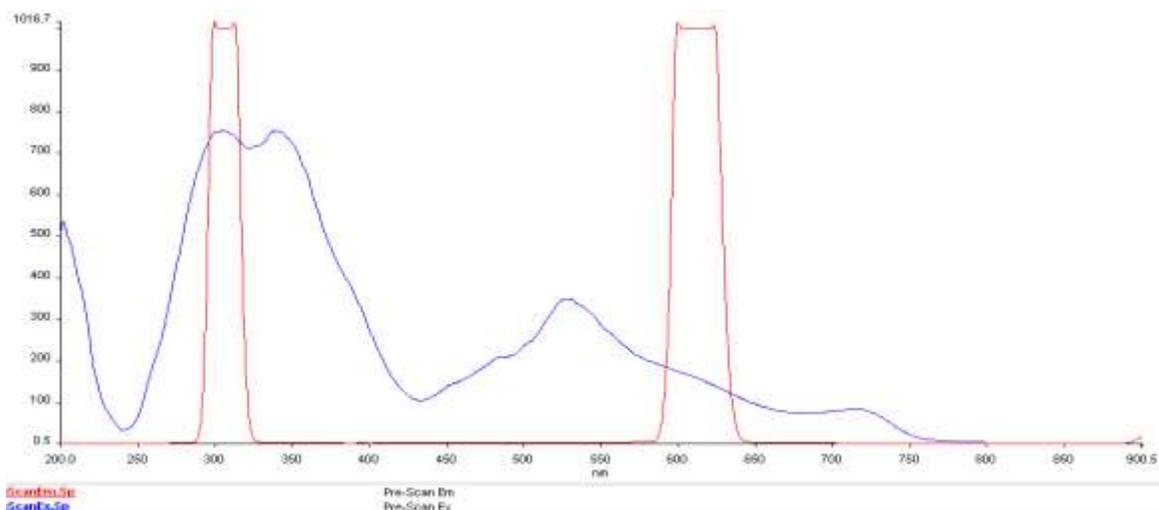


Figura 4.7 Espectros del vidrio de cuarzo estándar.

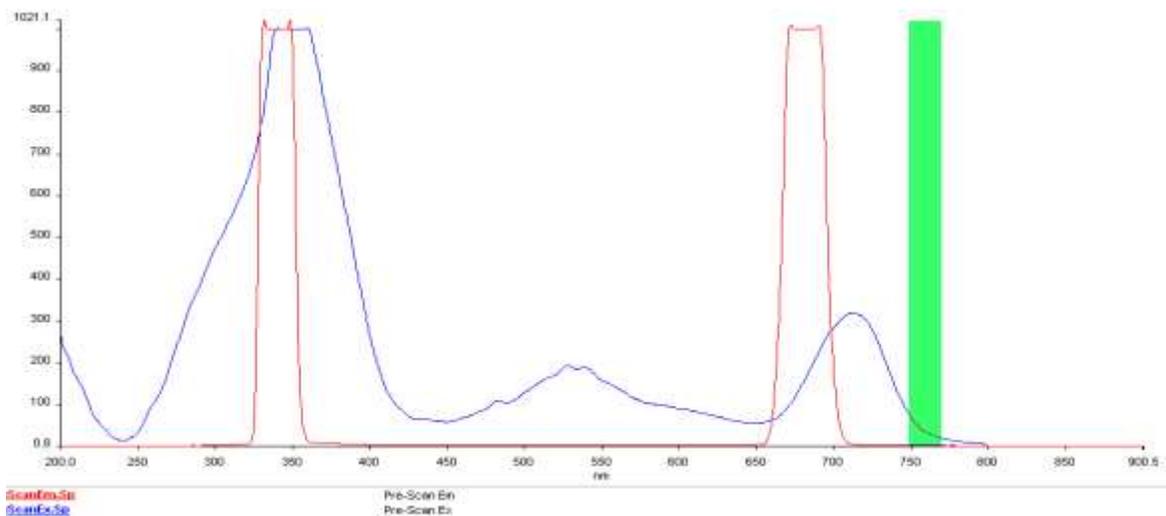


Figura 4.8 Espectros de poliestireno.

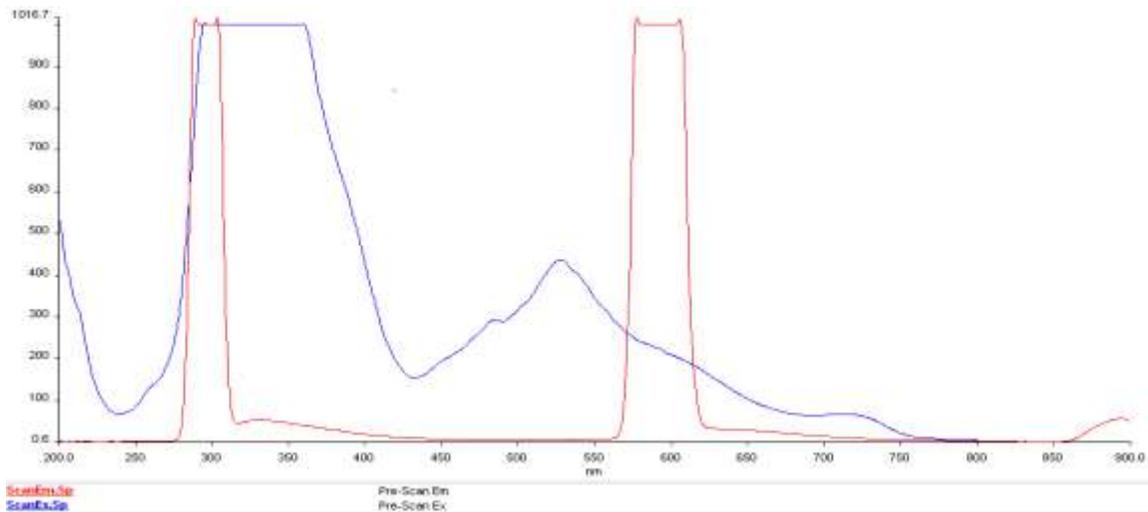


Figura 4.9 Espectros de poliestireno y vidrio.

Se observa que los espectros de emisión en rojo, no se alteran, lo que significa que el poliestireno puede ser utilizado sin problema para la obtención de espectros de emisión, sin necesidad de realizar ajustes matemáticos o de procedimientos. El desplazamiento a la izquierda observado en el tercer diagrama de espectros, es una condición normal de trabajo del equipo según el fabricante, y no conlleva ningún error de medición de intensidad de los espectros mostrados.

En el espectro de excitación en azul, se observa que el poliestireno presenta una mayor absorción en el rango de 400 nm. Ya que el espectro es muy similar al presentado por el cuarzo. La presencia de un pico a 400 nm reduce visiblemente aunque no substancialmente el rango de trabajo con el espectro. Mientras que el resto del espectro es muy similar. Por lo que sólo ajustes menores serán requeridos para el uso de poliestireno en rangos mayores a 400 nm mientras que su uso no es recomendable rangos de trabajo menores a este valor.

4.4 Generación de residuos sólidos

Tabla 4.4 Masa de bolsas

Bolsa	Masa (kg)
1	21.60
2	20.30
3	9.50
4	22.20
5	10.20
6	19.20
7	11.90
8	11.70
9	22.60
10	13.10
11	18.90
12	21.60
13	19.10
14	14.10
15	16.30
16	22.60
17	15.50
18	11.40
19	13.20

Se conoce de estudios anteriores la generación per cápita de residuos sólidos, sin embargo, se desconoce la proporción de residuos de poliestireno. Para obtener éstos datos, se procederá a utilizar el método del cuarteo como se definió en la NMX-AA-15

Se realizará el estudio en un complejo de departamentos, se espera que la muestra sea representativa del estrato económico de clase media. Se cuenta con diversos contenedores en el área de estudio, que son recolectados cada 7 días por lo que la muestra es de un tamaño adecuado para realizar el método. Ya que se cuenta con un contenedor para cada edificio, se cuenta el número de habitantes por edificio, para determinar la capacidad de servicio de cada contenedor.

Cada edificio contiene 11 departamentos, con una población de 2.4 personas por departamento, obteniendo un total de 26.4 personas por edificio

Se procedió a pesar los contenidos del contenedor utilizando una báscula de 20 Kg con 1 g de resolución. Se pesaron individualmente las bolsas de residuos que se encontraban en el contenedor, a continuación se presenta el resultado de las mediciones.

De la tabla obtenida se pueden calcular diversos datos de interés. El primero de ellos es que se obtuvo una muestra de 315 kg de residuos sólidos. Del tamaño de la muestra y de la capacidad de servicio del contenedor, se obtiene una producción per cápita de 1.7 kg/hab/día, lo cual es cercano a los 1.7376kg/hab/día de los datos oficiales.

La diferencia en los valores de la producción per cápita se considera esperada. Las diferencias son fáciles de explicar si se consideran diferencias en la extensión de los estudios y en el estrato socioeconómico estudiado. Ya que es de clase media, algunas zonas obtendrán valores mayores, y otras, valores menores. Y ya que la diferencia es pequeña, se considera que la muestra escogida es representativa de la producción general de residuos sólidos en el D.F.

Una vez que se ha determinado el tamaño de la muestra, se procede a aplicar el método de cuarteo, como definido en la NMX-AA-15.

Se vacía el contenido de las 19 bolsas en un área de 4 m² y se homogeniza, la muestra. Se retiran las partes opuestas A y D y se regresan al contenedor para su recolección. Ya que la masa que queda es de 157.5 kg, se repite la operación de cuarteo. Se homogenizan las muestras que no fueron desechadas, y se procede a retirar las partes opuestas B y C. Después de lo cual se obtienen 78.75kg.

Ya que se obtienen los 78.75 kg de residuos sólidos homogeneizados. A continuación se incluye la cédula de campo para el cuarteo de residuos sólidos.

Cédula de campo para el cuarteo de residuos sólidos.

Colonia Tlalpan Estado D.F.

Fecha y hora del cuarteo 04/Oct/2015 11:30 am

Procedencia de la Muestra: Contenedor privado.

Condiciones climatológicas imperantes durante el cuarteo (describa):

Se presenta un día ligeramente nublado, aunque no amenaza lluvia

Cantidad de residuos sólidos para el cuarteo 315 kg

Cantidad de residuos sólidos para la selección de subproductos 78.75 kg

Cantidad de residuos sólidos para los análisis físicos, químicos y biológicos. –

Responsable del cuarteo.

Nombre Díaz Armas Alfonso

Dependencia o Institución Laboratorio de nanopelículas, ICN

Observaciones _____

Una vez realizado el método de cuarteo, se procede a realizar la cuantificación de los subproductos, conforme a la NMX-AA-22. Se utilizan los residuos sólidos que no se desecharon del método de cuarteo.

Se procede a seleccionar los subproductos depositándolos en bolsas de acuerdo a la siguiente clasificación.

- Algodón
- Cartón
- Cuero
- Residuo fino (todo material que pase la criba M 2.00)
- Envase de cartón encerado
- Fibra dura vegetal (esclerénquima)
- Fibras sintéticas
- Hueso
- Hule
- Lata
- Loza y cerámica
- Madera
- Material de construcción
- Material ferroso
- Material no ferroso
- Papel
- Pañal desechable
- Plástico rígido y de película
- Poliuretano
- Poliestireno expandido
- Residuos alimenticios (Véase observaciones)
- Residuos de jardinería
- Trapo
- Vidrio de color
- Vidrio transparente
- Otros

Los productos ya separados se pesan por separado y se anota el resultado en la hoja de registro.

HOJA DE REGISTRO DE CAMPO

SELECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE SUBPRODUCTOS

Colonia Tlalpan Estado D.F.
Fechas y hora de análisis 04/Oct/2015 12:15 am Peso de la muestra 78.75.
Estrato socioeconómico Clase media.
Responsable del análisis Alfonso Díaz Armas Dependencia o institución ICN.

NO.	SUBPRODUCTOS	PESO EN KG	% EN PESO	OBSERVACIONES
1	Algodón	0.3	0.36	
2	Cartón	3.2	4.11	
3	Cuero	0	0	No presente
4	Residuo fino que pasa la criba M 200	0	0	No presente
5	Envase de cartón encerado	1.7	2.2	
6	Fibra dura vegetal	0.1	0.1	
7	Fibras sintéticas	1.4	1.74	
8	Hueso	0.2	0.25	
9	Hule	0.2	0.24	
10	Lata	1.2	1.58	
11	Loza y cerámica	0.4	0.48	
12	Madera	0.1	0.16	
13	Material de construcción	0.5	0.58	
14	Material ferroso	1.3	1.63	
15	Material no ferroso	0.1	.08	
16	Papel	9.2	11.76	
17	Pañal desechable	2.9	3.76	
18	Plástico de película	3.9	4.97	
19	Plástico rígido	2.4	3.06	
20	Poliuretano	0.1	0.13	
21	Poliestireno expandido	0.5	0.67	
22	Residuos alimenticios	31.7	40.69	
23	Residuos de jardinería	4.5	5.83	
24	Trapo	0.5	.067	
25	Vidrio de color	1.6	2.06	
26	Vidrio transparente	4.6	5.89	
27	Otros	5.4	6.65	

Se observa que la masa final de la muestra es de 78 Kg, presentando una reducción de 0.75kg. Esta reducción es fácilmente explicable debido a evaporación y pérdidas de lixiviados durante las mediciones.

Se observa que de los residuos municipales, se pueden obtener 0.5 kg de poliestireno expandido en una semana a partir de una población de 26 personas. Por lo que se puede obtener una cantidad considerable de poliestireno a partir de la población cercana a Ciudad Universitaria.

4.5 Manejo de residuos

Para obtener el poliestireno requerido por las investigaciones del Laboratorio de nanopelículas. Se requerirán cantidades similares a 500 g. por semana. Debido al tamaño del Instituto, y la cantidad de personas que trabajan diariamente, se consideró la posibilidad de que la producción propia del ICN pueda satisfacer la demanda requerida. Sin embargo se considera necesario analizar la producción del instituto.

Se realizó un conteo de las personas presentes en una semana típica de trabajo. A continuación se presentan en una tabla los resultados obtenidos durante la semana del 05-09/OCT/2015.

Tabla 4.5 Población del ICN en una semana

Día	05	06	07	08	09
Población	214	218	194	220	205

Del monitoreo de población presente en el ICN, se obtiene un promedio de 210 personas. El promedio será utilizado, junto con la generación de poliestireno per cápita, para determinar la cantidad de poliestireno generada en el interior del instituto en una semana.

$$1.7 \text{ kg/hab/día} * 210 \text{ hab} * .5\text{dia} * .5\text{días} * .0067\% = 5.979 \text{ kg/semana}$$

Se espera una producción aproximada de 5.979kg a la semana en el ICN.

Debido a los bajos volúmenes requeridos para producir cada celda, (0.1 g). Se observa que una hipotética producción intensiva de celdas no se vería limitada por la producción del poliestireno para reciclaje. Esto puede ser utilizado como punto a favor del proyecto. Ya que cualquier sistema que se implemente para limpieza y manejo de residuos no supondrá una gran carga de trabajo al personal. Además de seguir permitiendo un costo bajo durante todo el proceso.

Ya que se conoce la producción de residuos de poliestireno al interior del ICN, se puede diseñar un sistema de acopio, conforme a la cantidad de material que se espera recolectar.

Se ha observado, a lo largo de la estancia en el instituto, que el uso de poliestireno es más extendido en los espacios de descanso, y de exposición. En los cuales se acostumbra utilizar desechables para el consumo y distribución de alimentos. Por esta razón, se aconseja que los depósitos para el poliestireno se ubiquen en el interior, o cerca de éstas zonas, a manera de facilitar a los usuarios el desecho del material.

Para garantizar la limpieza del poliestireno, es necesario librarlo de impurezas debidas a su uso anterior. Por lo que se recomendará un proceso de limpieza para procesarlo, antes de ser sometido a la técnica de casting.

Del análisis de los usos de poliestireno, se observa que los usos como el embalaje de transporte; y como contenedor alimentario; son los que se espera tengan mayor influencia en los residuos del ICN. Esto permite predecir los contaminantes de los cuales se tendrá que librar el poliestireno antes de ser

sometido a la técnica de casting. Haciendo más sencilla la definición de los procesos de limpieza a los cuales debe ser sometido.

Se espera que el poliestireno a reciclar proveniente de contenedores de alimentos, presente diversas impurezas orgánicas susceptibles de ser eliminadas con un proceso de lavado simple. El poliestireno proveniente de embalajes, se espera se encuentre con algunas impurezas provenientes de la atmósfera, tales como polvo o tierra. Cabe mencionar, sin embargo, que algunos compuestos químicos de los cuales se provee el ICN, se entregan en botellas embaladas con poliestireno. Estos residuos de embalaje son tratados especialmente por el laboratorio. Y ya que algunos de los compuestos son altamente reactivos no se consideran apropiados para la técnica de casting. No se consideraron durante ningún proceso del proyecto.



Figura 4.10 Sistema actual de separación de residuos.¹⁸

Ya que en el instituto se cuenta actualmente con un sistema de separación de residuos, (figura 4.10) que consiste en la presencia de diferentes contenedores para los diversos residuos que se generan. El sistema a implementar puede ser añadido a los sistemas existentes. Se ha observado, además, que el sistema existente no contempla al poliestireno, por lo que el añadir un contenedor para éste material no debería representar ningún problema a los usuarios para su uso. Ya que los usuarios están acostumbrados a la separación de residuos.

El proceso de limpieza consistirá primero en un lavado sencillo de con agua y jabón, luego será sometido a un enjuague con etanol. El enjuague con etanol, permite un secado más rápido, así como retirar impurezas insolubles y/o presentes en el agua de lavado. Finalmente, serán dejados a secar en un ambiente seco y libre de polvo, para evitar su contaminación.

El poliestireno podrá ser utilizado directamente después de ser limpiado, o podrá pasar a un almacenamiento, donde se considera que se encuentre libre de polvo y otros contaminantes del ambiente.

4.6 Difusión de proyecto

En el interior del instituto, se realizan constantemente muchas actividades y para su difusión, se cuenta con la presencia de periódicos murales en diversas ubicaciones del edificio. En éstos se da a conocer diversa información, desde conferencias, hasta actividades extracurriculares.

Se considera adecuado dar a conocer el proyecto a los trabajadores del ICN el proyecto por éste medio. Ya que se encuentra bien establecido como método de comunicación en su interior. También se considera el uso de un boletín electrónico, aunque se desconoce el impacto que tiene el actual entre los trabajadores del instituto.

Dar a conocer el proyecto es importante no sólo para promover el reciclaje de poliestireno, si no, también para promover el uso de las celdas de poliestireno. Ya que la mayoría de los investigadores no se encuentran involucrados en el proyecto, pero se estima que las celdas podrían ser de utilidad para investigaciones que no se consideraron para el desarrollo del proyecto. Por lo que, a medida que se establezca el proyecto en el interior del instituto, pueda ser expandido o reducido, conforme a las necesidades de consumo.

Ya que se han realizado anteriormente con éxito campañas para la separación de los residuos sólidos, no se considera necesario recalcar la importancia de la separación de residuos. Sin embargo, difundir la utilidad e importancia del proyecto se considera necesario. Ya que hasta ahora, no se había considerado en los proyectos anteriores, la separación del poliestireno.

CAPITULO 5

5 CONCLUSIONES

Las celdas de poliestireno producidas pueden usarse en la espectrografía de fluorescencia sin más consideraciones para obtener los espectros de emisión, ya que se observan pocas diferencias en los espectros de emisión obtenidos. Mientras que para los espectros de excitación, se recomienda usarlo en valores mayores de 400 nm. Permitiendo un uso tentativo del poliestireno, dependiendo del rango de excitación de la muestra a estudiar.

Las celdas de poliestireno se producirán mediante el método de casting. Debido a las características y facilidades que el mismo proporciona.

Las celdas pueden ser utilizadas en otras aplicaciones además de espectrometría de fluorescencia. Pueden ser utilizadas como portaobjetos desechables para materiales sólidos o líquidos que no requieran ser recuperados. Se plantea también la posibilidad de aplicarlos en micrograbados para estudio de líquidos, o microsensores. Una vez creadas las celdas, los usos pueden incluso ser exteriores a la investigación, permitiendo la expansión del uso de poliestireno reciclado.

La facilidad de ejecución de la técnica de casting, permite que las películas de poliestireno puedan ser creadas con un equipo de laboratorio modesto y en un espacio pequeño. Permite que sean producidas conforme se van requiriendo, además de reducir los costos de producción, y permitir el uso de personal no especializado. Siendo necesario solamente una capacitación para poder aplicar correctamente el método propuesto.

Para difusión del proyecto, se considera adecuado el diseño de un cartel informativo. El cartel deberá contener información que se considere importante sobre el proyecto, además de los usos esperados de las celdas. Además de información general sobre la producción de poliestireno y su tratamiento en México. A fin de expresar la importancia y facilidad de su reciclaje.

Para el acopio de residuos, se utilizarán botes exclusivos de recolección de poliestireno. Se recomienda que sean colocados en el interior, o cerca de las entradas de las áreas comunes de trabajo. Como son los salones de seminarios, y los auditorios, que son utilizados constantemente. Produciendo gran cantidad de residuos de poliestireno debido al consumo de productos desechables en base de poliestireno.

Se considera que un pequeño bote de 50X30X30 cm será suficiente para captar los residuos producidos semanalmente en las áreas comunes. Después de los cuales serán procesados con un lavado y un enjuague de alcohol. Finalmente, serán llevados a un contenedor donde podrán ser utilizados conforme al requerimiento del laboratorio.

La producción de poliestireno en el ICN es muy superior al consumo esperado de los proyectos a realizar con el material. Por lo que la recolección de poliestireno puede fácilmente satisfacer la demanda del material incluso sin una captación totalmente eficiente.

CAPÍTULO 6

6 BIBLIOGRAFÍA

1. INEGI. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales, 2013. Módulo 6. Residuos Sólidos Urbanos.
2. Semarnat Informe de la situación del medio ambiente en México. Edición 2012 compendio de estadísticas ambientales.
3. Descripción técnica del poliestireno Dow Building solutions 2010.
4. Programa de reciclaje de unicele post-consumo. 4 pasos del reciclaje del unicele DART.
5. Mundo plástico año 10 No. 59 febrero marzo 2013 pág. 56.
6. Degradación de poliestireno y polipropileno con microorganismos de vermicompost Facultad de Ingeniería (planta piloto) Universidad de Jujuy.
7. <http://www.anape.es/index.php?accion=producto&subaccion=proceso-de-fabricación>.
8. ANAPE EPS en los medios Tratamiento de los residuos de EPS Parte1 Julio 2011.
9. ANAPE Fabricación del poliestireno expandible, ficha 71.
10. Sub Dirección general de equipamiento e infraestructura en zonas urbano marginadas, SEDESOL. México 2012.
11. Dirección general de equipamiento e infraestructura en zonas urbano marginadas, SEDESOL. México 2012.
12. Ball-and-stick model of styrene Ben Mills and Jynto.
13. Polystyrene vector image a diagram of high-impact polystyrene.
14. Department of Polymer Science the University of Southern Mississippi High Impact Polystyrene.
15. Perla normal y expandida, ciencia de los materiales poliestireno expandido. BUAP.
16. Fluorescencia y fosforescencia.
<http://sciencuriosities.blogspot.mx/2013/06/fluorescencia-vs-fosforescencia.html>
17. Manual de usuario Perkin Elmer LS 55.
18. Tomadas en laboratorio.