

77  
2ej

# Universidad Nacional Autónoma de México.

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

## “POLIESTIRENO EXPANSIBLE”

TRABAJO ESCRITO VIA EDUCACION CONTINUA

RAFAEL MUÑOZ DE COTE SISNIEGA

INGENIERO QUIMICO

1991

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## INDICE

<b>CAPITULO 1º INTRODUCCION</b>	<b>3</b>
<b>CAPITULO 2º GENERALIDADES SOBRE LOS POLIMEROS</b>	<b>5</b>
2.1 MONOMERO Y POLIMERO	5
2.2 POLIMERIZACION	6
- REACCIONES DE ADICION	6
2.3 METODOS DE POLIMERIZACION	10
- EN MASA	10
- EN SUSPENSION	11
<b>CAPITULO 3º ESPUMAS DE POLIESTIRENO</b>	<b>14</b>
3.1 METODOS DE OBTENCION	14
- PREPARACION DE PERLAS EXPANDIBLES	15
- PREEXPANSION	16
- ESTABILIZACION	18
- MOLDEO DE PERLAS EXPANDIDAS	19
- EXTRUSION	23
- TERMOFORMADO	24
3.2 PROPIEDADES	24
- DENSIDAD	25
- ESTRUCTURA CELULAR	25
- PROPIEDADES AISLANTES	26
- PROPIEDADES MECANICAS	26
3.3 RELACIONES ENTRE LAS PROPIEDADES	26

<b>3.4 APLICACIONES</b>	<b>28</b>
- CONSTRUCCION Y AISLAMIENTO TERMICO	28
- EMPAQUE	30
- FLOTACION	31
- REFRIGERADORES, CONGELADORES Y CALENTADORES	32
<b>3.5 NUEVOS DESARROLLOS</b>	<b>32</b>
<b>3.6 MERCADO</b>	<b>33</b>
<b>CAPITULO 4° CONCLUSIONES</b>	<b>38</b>
<b>CAPITULO 5° BIBLIOGRAFIA</b>	<b>41</b>

## CAPITULO 1º

### INTRODUCCION

El presente trabajo pretende mostrar una semblanza de las Espumas de Poliestireno. En el, se presentan conceptos básicos de los polímeros, sus formas de reacción los procesos de obtención y sus propiedades, así como los procesos involucrados en la elaboración de estos.

Adicionalmente se hacen algunas comparaciones con otros polímeros con aplicaciones similares.

Cabe mencionar que dentro de los polímeros existen dos grandes grupos: los naturales y los sintéticos. Como su nombre lo indica, los segundos son los desarrollados por el hombre para imitar o mejorar las propiedades de los primeros.

Los polímeros sintéticos se subdividen en tres clases: Los termofijos, los Termoplásticos y los Hules sintéticos. Estos últimos muestran propiedades intermedias de los dos primeros.

Los polímeros termoplásticos se diferencian de los termofijos por ser capaces de sufrir transformaciones posteriores a su obtención lo que les confiere una gran versatilidad. Dentro de este grupo hay polímeros cristalinos y no cristalinos, que deben sus propiedades a la estructura molecular que obtienen al formarse.

El Poliestireno, se clasifica como un polímero sintético, termoplástico y cristalino.

Las espumas derivadas del poliestireno, tienen aplicaciones en las áreas de aislamiento, empaques y construcción, que se verán posteriormente.

## CAPITULO 2°

### GENERALIDADES SOBRE LOS POLIMEROS

#### 2.1 MONOMEROS Y POLIMEROS

Se define como Monómero a la unidad básica de repetición en una reacción de polimerización. Existen diversos tipos de monómeros con la cualidad de reaccionar entre si, para formar agrupaciones de varias unidades. A éstas reacciones se les conoce como reacciones de polimerización y no son otra cosa que la formación de una molécula de mayor tamaño donde se ha repetido una misma unidad; a esta macromolécula se le denomina Polímero.

Los monómeros pueden reaccionar entre sí, para formar Homopolímeros, o con otros monómeros, para producir Copolímeros.

Las propiedades de los homopolímeros y de los copolímeros son diferentes pero están relacionadas con el tipo y número de las unidades monoméricas que formaron el polímero. Algunos ejemplos de monómeros son: Estireno, Etileno, Propileno, Cloruro de Vinilo, Acrilonitrilo, Butadieno, Acetato de Vinilo.

Al reaccionar, estos monómeros podrían producir: Polietileno, Polipropileno, Poliéstireno y Policloruro de Vinilo, o

copolímeros como: Estireno-Acrilonitrilo, Acrilonitrilo - Butadieno-Estireno, Vinil Acetato-Cloruro de Vinilo, etc..

Todos los polímeros mencionados son termosensibles, y pueden ser procesados por calentamiento.

## 2.2 POLIMERIZACION

**REACCIONES DE ADICION:** Como su nombre lo indica estas reacciones se caracterizan por el enlazamiento de las unidades monoméricas, formando moléculas cada vez mayores por la adición de una nueva molécula del monómero, al polímero formado.

Estas reacciones se llevan a cabo por el mecanismo de radicales libres. Normalmente los monómeros no son capaces de formar los radicales que se necesitan para comenzar la reacción, por lo que hay la necesidad de agregar un agente que forme el primer radical que inicie la reacción. A estos agentes se les denominan Iniciadores de reacción y tienen la función de iniciar y propagar la reacción de polimerización por la formación de radicales libres. Los iniciadores más comúnmente usados son los peróxidos orgánicos.

El mecanismo típico de una reacción de adición es:

Primer paso: Iniciación.

Segundo paso: Propagación.



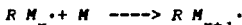
Tercer paso: Terminación.

La iniciación de la reacción se produce por la reacción de descomposición del iniciador:



donde  $I$  representa al iniciador y  $R\cdot$  representa al radical libre formado.

La fase de propagación, es propiamente la reacción de polimerización y está representada por las siguientes reacciones:



La terminación de la reacción se lleva a cabo de dos formas por Combinación y por Desproporción. Las reacciones que representan esta fase son:



Además, existen agentes de terminación de cadena, que ayudan a terminar la reacción iniciando una nueva, controlando el largo de las cadenas del polímero.

Cuando se tienen agentes de transferencia de cadena la reacción de terminación es:



en donde T. estaría iniciando de nuevo la reacción de Propagación.\*

Una lista típica de monómeros que reaccionan por adición es la siguiente:

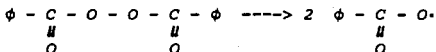
Etileno	Acrilonitrilo
Propileno	Butadieno
Cloruro de polivinilo	Estireno

Los iniciadores de reacción más comunes en las reacciones de adición son los peróxidos orgánicos y los compuestos Azo, que se descomponen y forman dos radicales libres, por mol de iniciador. Entre los peróxidos el más utilizado es el Peróxido de benzoilo.

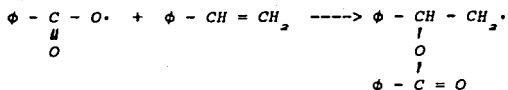
Todos los polimeros que se obtienen por el método de adición son termosensibles y pueden sufrir posteriores transformaciones, sin que pierdan sus propiedades originales.

A continuación describiremos brevemente las reacciones que conducen a la obtención de Poliestireno:

A ) Las reacciones de iniciación utilizando Peróxido de Benzoilo serían:



\* Referencia 2,3.



donde  $\phi$  representa al radical fenilo.

Esta reacción simplificada quedaría

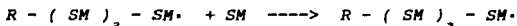
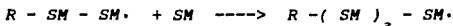


donde  $R \cdot$  representa al radical libre del peróxido,  $SM$  al monómero de estireno y  $SM \cdot$  al radical de la primera unidad del polímero.

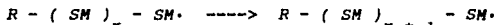
Con esta nomenclatura simplificada, las siguientes reacciones quedarían como sigue:



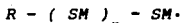
B ) La reacción de propagación será entonces:



y la fórmula condensada para la propagación de esta

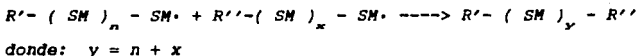


de donde se llega a la fórmula genérica

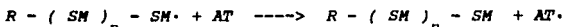


C ) Como se mencionó anteriormente la terminación de la reacción puede ser de dos formas, por combinación de dos ra-

dicales libres o por la adición de un agente de transferencia de cadena, que al terminar una cadena de cierto tamaño inicia una nueva cadena sin la necesidad de una molécula de iniciador, de esta forma tenemos:



o la reacción con un agente de transferencia de cadena AT



### 2.3 MÉTODOS DE POLIMERIZACIÓN

Las reacciones de polimerización pueden llevarse a cabo de diferentes maneras, dependiendo de la forma de iniciar la reacción y del producto final. La reacción puede iniciarse usando el monómero como disolvente, en un medio acuoso o en otro disolvente.

**POLIMERIZACIÓN EN MASA:** esta forma de polimerización fue la primera que se conoció y aunque es sencilla actualmente es la menos utilizada. Esta polimerización se lleva a cabo en un reactor donde se hace reaccionar el monómero con su iniciador en condiciones controladas. No se utilizan ningún tipo de aditivos y el producto que se obtiene es un polímero de alta pureza, con una distribución de peso molecular

mero de alta pureza, con una distribución de peso molecular cerrada, pero, difícil de procesar, por que, como su nombre lo indica, se obtiene en forma de masa. En este proceso es difícil disipar el calor generado por la reacción exotérmica, haciendo el control de la misma difícil. El polímero en masa obtenido, debe extruirse y cortarse en esferas pequeñas para completar el proceso.

Ante esta problemática, se desarrollaron otros métodos de polimerización.

**POLIMERIZACION EN SUSPENSION:** Como resultado de los desarrollos para mejorar la polimerización en masa se encontró el proceso en suspensión; la necesidad de disipar el calor de la reacción en forma eficiente y controlada condujo al uso de disolventes.

La polimerización en suspensión se realiza de la siguiente forma: Se hacen reaccionar en pequeñas cantidades el monómero y el iniciador formando gotas, suspendidas en un medio acuoso, conteniendo agentes de superficie que permiten formar suspensiones estables que facilitan la disipación del calor generado por la polimerización de las gotas de monómero. Cabe mencionar que el iniciador debe ser soluble en el monómero. El producto así formado es un polímero en forma de perlas de tamaño variable y con distribuciones de pesos moleculares más abiertas que en la polimerización en masa. Esto

implica que el producto exhiba variación en sus propiedades físicas. El resto del proceso consiste en lavar las perlas, seleccionarlas por tamaño y secarlas, para posteriormente extruirlas y cortarlas en pequeñas esferas denominadas " pellets".

En la polimerización para la obtención de perlas de Poliestireno Expansible, se procede de la siguiente forma:

Se hace reaccionar el monómero de estireno con peróxido de benzilo, en suspensión acuosa, conteniendo agentes tensoactivos del tipo de los esteres del sorbitan ( TWEEN y SPAN ) además de una cantidad de Tripolifosfato de Calcio como agente de superficie para evitar que las gotas reaccionantes se peguen durante el proceso.

La adición de un agente expansor puede darse en esta etapa o en procesos posteriores a la polimerización. Cuando se hace en el primer paso, una vez alcanzada cierta conversión del monómero se adiciona al reactor la cantidad adecuada de pentano o algún otro hidrocarburo alifático. En el caso de hacerse la adición en un proceso posterior, a las perlas ya seleccionadas se les suspende de nuevo en una solución acuosa de las mismas características que la anterior, a la que se agrega la cantidad necesaria del agente expansor, se les lleva hasta su temperatura de ablandamiento, donde se facilita la absorción del agente espumante. En el segundo caso, el

producto obtenido es más uniforme y no tiende a perder sus propiedades por el manejo posterior a la polimerización, consistente en lavado, clasificación y secado de las mismas.

## CAPITULO 3º

### ESPUMAS DE POLIESTIRENO

#### 3.1 MÉTODOS DE OBTENCIÓN

Las espumas de poliestireno pueden ser procesadas ya sea por extrusión directa y expansión de las perlas o gránulos expandibles, o por la inyección de un agente expansor a alta presión a la resina, seguida por la expansión a presión atmosférica. Algunos de los métodos usados para crear estas espumas fueron:

- a ) Mezclar la resina de poliestireno con agentes expansibles, generalmente un hidrocarburo de bajo punto de ebullición como el cloruro de metilo para posteriormente extruirlos.
- b ) Polimerizar en Masa monómero de Estireno y algún hidrocarburo de bajo punto de ebullición. La mezcla resultante era llevada a pedazos pequeños y de estos se obtenían espumas de bajas densidades por extrusión.

Estos métodos han sido desplazados por el proceso de polimerización en Suspensión en la producción de perlas de polímero preexpandibles. El agente para la expansión continúa



siendo un hidrocarburo de bajo punto de ebullición, principalmente el Pentano y puede adicionarse en la reacción o en una etapa posterior de impregnación utilizando presión y calor para esto.

Los etapas para la producción de espumas de poliestireno provenientes de perlas preexpandibles del polimero son:

Preparación de Perlas Expandibles

Preexpansión

Estabilización

Moldeo de las perlas expandidas

Extrusión

**PREPARACION DE PERLAS EXPANDIDAS:** Las perlas del polimero contienen Poliestireno cristal de alto peso molecular y un hidrocarburo alifático de bajo punto de ebullición (normalmente: Pentano o Isopentano en concentraciones de 5 a 8 por ciento). El método más utilizado para preparar las perlas de poliestireno es el proceso de polimerización en suspensión, que usa monómero de estireno líquido, dispersado en un medio acuoso conteniendo a un agente espumante y un iniciador de reacción. La mezcla es calentada por un tiempo predeterminado a cierta temperatura produciendo una perla de poliestireno de alto peso molecular con 5 a 7 por ciento del agente espumante ( Pentano ). Las perlas se filtran, se lavan y se secan entonces con aire. Las perlas así obtenidas tienen

diámetros entre 0.025 y 0.25 centímetros.

De acuerdo a su dimensión las perlas se denominan Grandes, Medianas y Chicas. El tamaño de las perlas determina su uso final. Así, las grandes ( 0.07 - 0.20 cm. ), se utilizan en Páneles aislantes, casetones para construcción, etc.

Las medianas ( 0.12 - 0.05 cm. ), se usan en Artículos moldeados, empaques, Hieleras, Componentes para refrigeración, etc.

Las chicas ( 0.07 - 0.025 cm. ), se emplean en la fabricación de Artículos de paredes delgadas, como vasos y tazas para café.

Las perlas expandibles deberán ser almacenadas en lugares frescos, ( a bajas temperaturas ) ya que pueden perder pentano y reducir su eficiencia en etapas posteriores del proceso. Una vez abiertos los contenedores deberá dejarse que los vapores de pentano se disipen antes de utilizar las perlas preexpandibles.

**PREEXPANSION:** En las espumas de poliestireno la densidad es la propiedad mas importante, ya que esta determina su aplicación. Esta propiedad se genera en la etapa de preexpansión. Las perlas expandibles se pueden expandir por medio de: Vapor, Agua Caliente, Aire Caliente y por otras fuentes de calor como rayos Infrarrojos.

Preexpansión por Vapor: Este método es el más utilizado y consiste básicamente en alimentar por la parte inferior de un cilindro vertical con agitación, las perlas del polímero por expandir utilizando un alimentador tipo Venturi, en el interior se calientan por medio de Vapor saturado, lo que ocasiona la permeación del vapor al interior de la perla y el reblandecimiento de la misma. La perla así ablandada permite, por la vaporización del pentano, la expansión del polímero, disminuyendo su densidad. Las perlas de menor densidad se desplazan dentro del cilindro hacia la parte superior, donde son recogidas por un colector y enviadas por transportadores de aire a los silos de almacenamiento para su acondicionamiento.

En el proceso de preexpansión es esencial que las perlas sean calentadas lo más rápido posible para no perder pentano antes de llegar a su máxima expansión.

Este proceso de preexpansión es muy utilizado por su bajo costo y alta eficiencia.

Preexpansión con Agua Caliente. En este proceso la preexpansión se realiza agregando las perlas expandibles en un baño de agua caliente (entre 85 y 95 grados Centígrados ).

Este proceso permite un mayor control de la densidad siendo muy eficiente para lograr productos de alta densidad.

Preexpansión con Aire Caliente: La preexpansión que se obtiene por este método, tiene la gran ventaja de que el producto formado no tiene humedad y por lo tanto no necesita un acondicionamiento antes de ser moldeado, además, las celdas del producto son más uniformes en su contenido de aire. Existen sin embargo dos desventajas considerables; su economía, por tratarse de un proceso que toma cuatro veces más tiempo que la expansión por vapor y que la pérdida de pentano es mayor, por lo que en el proceso de moldeado se requieren condiciones más drásticas para el soldado de los pellets o las perlas.

Todos los demás procesos trabajan bajo el mismo principio, una fuente de calor que caliente la perla y libere al agente expansor incrementando el volumen de la perla y disminuyendo su densidad.

Las variaciones son solo en la fuente que genera el calor necesario.

ESTABILIZACION DE LAS PERLAS EXPANDIDAS: Después de la expansión de las perlas, estas son, generalmente, transportadas por aire a silos para su almacenamiento, las perlas recién preparadas son elásticas y están húmedas y calientes. EL período de Estabilización o Acondicionamiento permite a las partículas se sequen y se enfrien, permitiendo que la presión

en las celdas se equilibre por la permeación de los gases atmosféricos. Un mal acondicionamiento hará que el material se comporte deficientemente en el moldeo.

El acondicionamiento se puede llevar a cabo en silos contruidos con malla y bastidores de algún material liviano como aluminio o madera y una tolva para la salida del material hacia la siguiente etapa del proceso.

**MOLDEO DEL MATERIAL EXPANDIDO:** Una vez acondicionado el material es transportado por aire o por gravedad a los procesos específicos de moldeo. Estos consisten generalmente en: Cargar el material preexpandido al molde y calentarlo para que se funda y complete su expansión y dejar enfriar el molde para que el material se estabilice y poder removerlo del molde.

Existen varias formas de moldeo que varían en la forma en que el calor se aplica al material.

La selección de la mejor técnica depende de varios factores como: El tamaño, forma, grueso y volumen de la parte a moldear.

A continuación describiremos algunas de las técnicas de moldeo que se utilizan en las espumas de poliestireno:

**Moldeo por Vapor:** Este procedimiento es el más económico de los utilizados en la actualidad. Consiste en la introduc-

molde, a través de pequeños orificios perforados en la pared del mismo, a una velocidad suficiente, que asegure una rápida transferencia de calor.

Tan pronto como el polímero preexpandido alcanza su punto de ablandamiento, las partículas se terminan de expandir y comienzan a soldar unas a otras dado que el molde ha sido llenado previamente con el material preexpandido y el incremento del volumen ya no es posible.

Al alcanzar el molde una presión determinada el paso de vapor se suspende, el molde es enfriado con agua y el artículo final retirado del molde para iniciar un nuevo ciclo.

El ciclo de moldeo depende de la configuración de la pieza y la densidad final de la misma y no es tan importante como la presión del vapor que se inyecta a la cámara del molde.

Moldeo por Conducción de Calor: Este proceso es similar en principio al de Vapor; difiere en que el molde no tiene chaqueta de vapor.

Consiste de un anillo especial que pasa por una cámara donde se aplica el calor que necesita el proceso. Al anillo, se aseguran moldes perforados, que serán calentados en la cámara. Los moldes son pequeños y el anillo puede transportar a través de la cámara varios de ellos uno detrás de otro.

Así, una operación de llenado, formado, enfriado y va-

Así, una operación de llenado, formado, enfriado y vaciado del molde se puede realizar en forma continua.

Este proceso es recomendado para productos de pared delgada y pequeños moldes. No es recomendado para paredes de más de medio centímetro de grosor.

Moldeo por Autoclave: Por este método se pueden obtener objetos de formas complejas al introducir un molde perforado en la cámara de vapor de un autoclave. Este método difiere del proceso de vapor, porque aquí el molde es sometido a un gradiente de presión entre la cámara del molde y la entrada de vapor del autoclave, lo que mantiene al molde en una atmósfera de vapor de presión uniforme.

El costo de los moldes es relativamente alto pero también se pueden alcanzar altos niveles de producción.

Moldeo Continuo por Vapor: Una interesante variación del moldeo de bloques por vapor dio origen al proceso continuo de vapor, el cual consiste de un molde formado por cuatro bandas sin fin de acero donde se alimenta el material preexpandido y es llevado a través de secciones de calentamiento y enfriamiento para terminar con un bloque continuo que se corta a la medida deseada.

Moldeo por soplado de Poliestireno Expandible: Este mé-

todo ha demostrado ser una forma práctica de procesar poliestireno expandible. El producto obtenido tiene una apariencia de terciopelo y una superficie continua muy suave.

Se usa Poliestireno de alto peso molecular conteniendo ácido cítrico, bicarbonato de sodio y pentano ( 6 - 7 % ) para extruir la espuma que luego es soplada en la cavidad de un contenedor. La densidad y el grosor de la placa es controlado en la extrusión pero la apariencia final del producto se la da el soplado del contenedor.

**Moldeo Automático:** La necesidad de producir grandes cantidades de productos de tamaño mediano y pequeño, llevaron al desarrollo de maquinaria automática que controlara los ciclos de moldeo.

El resultado de este desarrollo son las máquinas de producción continua, con un mínimo de mano de obra y bajos costos de producción con las que se obtienen grandes cantidades de artículos terminados.

El moldeo automático consta de los siguientes pasos:

Pre calentamiento del molde

Llenado del molde por gravedad o aire

Expansión y fundido del material

Enfriamiento

Vaciado de la pieza moldeada

Todos los pasos son controlados automáticamente por la



máquina, los tiempos de cada operación son predeterminados por el usuario dependiendo de la pieza y las condiciones del artículo final. La inconveniencia de este proceso es que las superficies del producto terminado no son muy suaves, particularmente a bajas densidades. El control de la densidad de las perlas preexpandidas es muy importante, ya que de estas resultan las características finales del producto.

Además de los procesos anteriores se utilizan otros como el Moldeo con tubos de vapor, el Moldeo con Radiofrecuencia y el Moldeo por Inyección, pero son de menor importancia y su utilización es baja comparada con los descritos anteriormente.

**EXTRUSION DE ESPUMAS DE POLIESTIRENO:** Por este método se obtienen láminas de poliestireno espumado en diferentes rangos de densidad. El principio de este proceso es el mismo que el discutido anteriormente, la expansión del polímero se logra mediante la adición de un agente expansor a la masa fundida del polímero en la cámara del extrusor. Para este proceso se prefieren pellets del plástico en lugar de perlas debido a que los husillos del equipo los trabajan con mayor facilidad.

Aquí la expansión es llevada a cabo por el gradiente de presión que existe entre el dado del extrusor y la presión

atmosférica a la salida del dado.

También se puede obtener la espuma al adicionar al extrusor pellets expandibles del polímero. Estos procesos son capaces de producir materiales de diferentes densidades.

Básicamente los productos de altas densidades se usan en la elaboración de paneles mientras que los de baja densidad se utilizan para la fabricación de películas.

**TERMOFORMADO:** Esta es una técnica de transformación de las espumas de Poliestireno y es complementaria de los procesos anteriores. Se aplica en los laminados de espuma para obtener contenedores o piezas de poca profundidad que se utilizan básicamente en áreas de empaque.

Esta técnica consiste en calentar una lámina de espuma hasta su punto de ablandamiento, para transferirla a la cavidad de un molde, y aplicar presión para que la lámina tome la forma del molde. También suele utilizarse el caso inverso, aplicar vacío y succionar la lámina al molde. El resultado final es el mismo en las dos formas.

### 3.2 PROPIEDADES

En esta sección hablaremos de las propiedades más importantes de las espumas de poliestireno y de las ventajas y desventajas que éstas le confieren a las mismas.

**Las propiedades mas importantes de las espumas son:**

**La Densidad y la Estructura Celular**

**de estas dos propiedades dependen otras propiedades finales, como son las Propiedades Aislantes y las Propiedades Mecánicas.**

**DENSIDAD:** Esta propiedad es la más importante de los plásticos espumados. El objetivo es producir plásticos con la menor densidad posible y esta se obtiene en las etapas de preexpansión y expansión de los plásticos vírgenes.

La densidad es la relación del peso entre el volumen del material. Al expandirse el material, la relación anterior varía dado que el volumen cambia de manera importante. Es conocido que en estos materiales cerca del 98 % de su volumen es aire, lo que ocasiona que la densidad sea muy baja comparada con el polímero virgen.

La densidad será la que determine la aplicación final de la espuma. Cuando la espuma tiene una baja densidad, las propiedades mecánicas son pobres mientras que las térmicas son buenas, por el contrario si la densidad es alta las propiedades mecánicas serán buenas, mientras que las térmicas son malas lo que no permitirá un buen desempeño como aislante.

**ESTRUCTURA CELULAR:** Esta propiedad es la que determina las propiedades mecánicas de la espuma. La estructura celular

no es otra cosa que la forma en que quedan distribuidas las cadenas del polimero después de la expansión del mismo.

Las estructuras celulares o celdas del polimero se dividen en varias categorías que dependen de la mejor distribución de los espacios vacíos en el poliestireno.

Una estructura donde la distribución de los espacios es uniforme proporciona un plástico espumado de muy buenas características aislantes ya que la propiedad de impedir la transferencia de calor se incrementa al tener una barrera de aire uniforme.

La estructura de celdas cerradas da origen a plásticos espumados de buenas propiedades mecánicas lo que favorece su aplicación en tableros o laminados decorativos.

### 3.3 RELACION ENTRE LAS PROPIEDADES

El atractivo de las espumas plásticas, dada su baja densidad, es su baja conductividad térmica y su alta relación de resistencia a peso.

La baja densidad y la baja conductividad se deben a la fase gaseosa de la espuma, mientras que la resistencia se la confiere la parte sólida del polimero, que conocemos es de cerca del 2 % del volumen.

Propiedades Mecánicas vs. Densidad: Todas las propieda-

des mecánicas varían en forma directamente proporcional a la densidad, sin embargo se sabe que las espumas producidas por Extrusión presentan mejores propiedades que las producidas por Expansión, solo en Esfuerzo a la Flexión tienen valores equiparables. Por lo que hace a las demás propiedades solo en valores muy bajos de densidad se comportan igual.

El factor responsable de las propiedades mecánicas, se ha encontrado en la orientación de las moléculas del polímero espumado, se sabe que, si existen moléculas biaxialmente orientadas las propiedades mecánicas se verán favorecidas, y que a menores densidades, la presencia de esta orientación de moléculas es mayor.

Propiedades Térmicas vs. Densidad: Como se mencionó, estas propiedades dependen de la fase gaseosa de la espuma, y como para esta no hay requerimientos especiales de propiedades mecánicas, todas las espumas tienen un punto en la densidad donde las propiedades Térmicas se alcanzan fácilmente.

En el caso de las espumas de poliestireno este punto tiene su nivel óptimo entre 2 y 4 libras por pie cúbico.

Para algunas de las aplicaciones de estas espumas, existe el llamado factor de Flotación que determina la facilidad de flotar de una pieza. Este factor está determinado por la diferencia entre la gravedad específica del agua de mar y la densidad de la espuma plástica.

### 3.4 APLICACIONES

En esta sección veremos las mayores aplicaciones que tienen las espumas de poliestireno, así como las ventajas y desventajas que presentan contra otros materiales en el campo de aplicación.

**CONSTRUCCION Y AISLAMIENTO TERMICO:** Aquí las espumas plásticas han venido reemplazando a los materiales tradicionales. Las principales espumas que se usan en este campo son las de Poliestireno y las de Poliuretano, con una participación igual del mercado.

Las espumas de Poliestireno se utilizan por su fácil manejo, su bajo costo y la gran variedad de formas y tamaños que la hacen muy versátil.

La producción de grados autoextinguibles en estas espumas, las hacen tener aún mas ventajas en su utilización dentro del campo de la construcción.

Cuando se comparan las espumas de Poliestireno con las de Poliuretano, la principal desventaja de el Poliestireno, es que no se puede espumar como el Poliuretano en el lugar de la aplicación. Esto le permite al Poliuretano poder rellenar cavidades de formas irregulares y además ser más resistente a la temperatura.

Las áreas de aplicación en la construcción son:

a ) Cuartos Refrigerados: Todos los espacios que sirvan como refrigeradores se aíslan con espumas de poliestireno y Poliuretano. Las propiedades de estas espumas que las hacen predominar en esta aplicación son: Estabilidad Dimensional, Baja transmisión de vapor y su bajo costo de instalación.

b ) Equipo y tubería: En el aislamiento de tubería y de equipos como tanques de agua. El poliuretano tiene la ventaja de poder moldearse a la medida en estos casos.

c ) Construcción Residencial: En este campo tenemos dos aplicaciones la primera como aligerante de las lozas o plafones, aquí se utilizan bloques o casetones de espuma para quitarle peso a los techos sin perder propiedades mecánicas del mismo, o mezclando perlas o pellets expandidos en la reboltura de cemento con la que se hace el colado del plafón o techo. La segunda es como aislante en paredes, cimientos y techos, aunque en este caso la participación que tienen es pequeña.

d ) Plafones: La mayoría de los plafones falsos de bajo costo son en la actualidad de espuma de poliestireno. Son fáciles de colocar y de decorar ya sea recubiertos o calados con diferentes figuras.

**EMPAQUE:** Las propiedades que se requieren de un plástico en esta aplicación son:

En empaque exterior, que tenga rigidez y dé protección.

Que dé soporte interior o relleno para prevenir movimiento de las piezas.

Que sea un difusor de carga para reducir el impacto de un punto de carga.

Debido a que los empaques exteriores deben ser lo suficientemente rígidos para proteger el contenido durante el envío, deberán resistir la exposición climática durante el almacenamiento y el transporte.

La mejor adición a este campo ha sido la aparición de empaques preparados por Moldeo por Inyección, donde se coloca la parte y queda imposibilitada para moverse.

El plástico de mayor uso en esta área es el poliestireno, la espuma de poliuretano solo se usa para acojinamiento interior .

Los factores que afectan el desempeño de estas espumas en el empaque son: Densidad, Tamaño de Celdas, Grosor de Paredes, Bajo factor de Transmisión de calor, Resistencia a la humedad y su facilidad de absorber los choques.

El aumento de la densidad tiene un comportamiento casi lineal con las propiedades mecánicas, mientras que el tamaño de las celdas determina el máximo grosor de las paredes que



se puedan tener en un recipiente formado al vacío. Las características de acojinamiento se benefician en cuanto las celdas tienen tamaños menores.

**APLICACIONES EN FLOTACION O MARINAS:** Para estas aplicaciones el factor de flotación es el que determina el potencial de cada espuma plástica, las más utilizadas en este campo son: Poliestireno, Poliuretano, Polietileno y P.V.C.

La espuma de poliestireno es la que tiene menor costo y buena flotación, pero en algunas ocasiones necesita de algún tipo de recubrimiento.

Las espumas de P.V.C., por su natural retardancia a la flama tienen ventajas contra las demás. Al igual que en la construcción, la facilidad de ser moldeadas in situ, le da al poliuretano ventaja en aplicaciones donde se tengan piezas con formas difíciles de hacer fuera del lugar de utilización.

Las áreas de aplicación específica de las espumas se encuentra en: Boyas salvavidas, Chalecos salvavidas, Muelles flotantes, etc.

Para todas estas aplicaciones las propiedades esenciales que deben cumplir las espumas son: a ) el factor de flotación deberá ser constante durante la vida útil del artículo y b ) la espuma no deberá ser afectada por el agua ni el intemperismo.

**REFRIGERACION, CONGELADORES Y CALENTADORES.** En estas aplicaciones las principales propiedades a explotar de las espumas son: su bajo coeficiente de transferencia de calor y las bajas densidades.

La Densidad de estas espumas ayuda a tener mejores aislamientos con cantidades mínimas de espuma, lo que permite mayores áreas de almacenamiento. Por lo que respecta a su factor de aislamiento, se repite la situación que se explicó en la construcción.

Los principales usos en esta rama son como aislamiento de tanques o camiones de transporte, ya sean carreteros o de ferrocarril y en algunos casos en aplicaciones marinas.

### 3.5 NUEVOS DESARROLLOS

En la actualidad se tienen áreas de desarrollo que representan un potencial importante para el mercado de éstos productos. Las áreas donde se están dando estos desarrollos son principalmente: Alimentos, Empaque y Automotriz.

En los Alimentos el principal desarrollo se enfoca a la producción de cajas para el transporte y almacenamiento de frutas, para su traslado seguro sin que las mismas pierdan sus propiedades. Estas cajas se están utilizando para la

cado mundial exige para estos productos.

Dentro del ramo del empaque los avances van enfocados a cuerpos moldeados con diseños específicos de las piezas a proteger. Estos son tan variados como partes hay que empacar.

La mayor cantidad de estos está siendo utilizada en el empaque de aparatos eléctricos y electrodomésticos.

En este campo la industria maquiladora está jugando un papel importante al fijar condiciones de Empaque y embalaje, que nos llevarán a nuevos desarrollos, más estrictos y de mejor calidad a precios competitivos.

Por último en el sector Automotriz se está dando un desarrollo de características especiales, se están utilizando dentro de la fundición para motores, corazones de espuma de poliestireno en lugar de los tradicionales, esto les permite vaciar las piezas con más facilidad y de mejor calidad, haciendo algunas de las operaciones posteriores, como el maquinado y limpieza, más fáciles e incluso en algunos casos innecesarias. A esta nueva técnica se le conoce como proceso de espumas perdidas.\*

### 3.6 MERCADO

A continuación se presenta una semblanza del mercado de las Espumas de Poliestireno, tanto histórico como futuro, de acuerdo a los nuevos desarrollos comentados y las tendencias

\* Referencia 6,7.

acuerdo a los nuevos desarrollos comentados y las tendencias de los mercados actuales.

Históricamente los segmentos de mercado de construcción y empaques son los de mayor contribución en las ventas de estos productos, el crecimiento de este mercado ha sido de 5.2% en promedio para los últimos cinco años.

La tendencia observada en los años pasados es de una disminución en el crecimiento del mercado, pero se mantiene un nivel adecuado del mismo.

#### VOLUMENES HISTORICOS DE MERCADO

AÑO	VOLUMEN ( TON )
1983	8,650
1984	9,200
1985	9,750
1986	10,250
1987	10,800

Dadas las circunstancias actuales se prevee un incremento en el mercado de acuerdo a las siguientes consideraciones:

a ) En el sector de la Construcción se contemplan aumentos significativos debido a los planes de desarrollo de esta industria. El sector que más puede contribuir a esta situación es el sector Turismo dado que es un sector altamente demandante de estos tipos de productos. Casi todas las normas de la construcción de este segmento están basadas en modelos extranjeros, que utilizan técnicas de construcción que incrementan el uso de espumas, tanto en las losas prefabricadas como el colado de losas con agentes aligerantes, así como los aislantes en plafones y paredes, todos estos demandan, Espumas de Poliestireno en grandes cantidades, lo que beneficiaría al sector de manera significativa.

Otro de los sectores que se verá favorecido de similar manera es el de la vivienda, que, dados los planes gubernamentales, será sector prioritario dentro de las políticas de la presente administración, este segmento también contribuiría en el incremento del sector de la Construcción.

b ) Los Cuerpos Moldeados representan en la actualidad el 10 % de mercado de las espumas de Poliestireno. Debido al posible impacto de la industria maquiladora en nuestro país este segmento podría verse favorecido con un incremento de hasta el 90 % en su volumen solo por el hecho de participar

industrias a ser sectores más exportadores, nos llevará a necesitar de mayores cantidades de empaques para cumplir con las normas que los países que deseen nuestras manufacturas exigen, ésto se traducirá en un beneficio para el segmento de la producción de cuerpos moldeados.

c ) Como anteriormente vimos los nuevos desarrollos tienen un impacto positivo en el volumen del mercado, probablemente no sea significativo en una primera instancia, pero será una situación de mucho valor, cuando dichos desarrollos maduren y penetren las líneas normales de producción.

Por todo lo anterior se estima que el mercado de las Espumas de Poliestireno puede mantener incrementos anuales en sus volúmenes de alrededor de seis a siete por ciento en promedio, lo que llevaría al mercado en el año de 1994 a un volumen de 16,500 Ton.\* En la siguiente tabla se presenta la proyección del mercado de acuerdo con las consideraciones anteriores.

\* Referencia 6.

## PROYECCION DEL MERCADO

AÑO	VOLUMEN ( TON )
1990	12,800
1991	13,600
1992	14,500
1993	15,450
1994	16,500

En el país se cuenta con la infraestructura para abastecer el mercado nacional, así como excedentes para la exportación de los mismos a cualquier región.

## CAPITULO 4º

### CONCLUSIONES

1.- Como se ha visto en el presente trabajo, las Espumas de Poliestireno son el producto de la expansión de polimero de Estireno de alto peso molecular con algún agente expansor. La forma de introducir el agente espumante puede ser principalmente por adición del mismo en la reacción de polimerización o en un proceso posterior de condiciones similares a la reacción misma.

2.- En la actualidad, la más usada de las formas de polimerización del Estireno, es la de Suspensión, ya que es la que ofrece los mayores beneficios dentro de las diversas formas de polimerizar que se conocen.

3.- La etapa más importante del proceso de producción de las espumas es la Preexpansión donde la perla de poliestireno adquiere sus propiedades finales, el elemento que produce la expansión, es el calor que se aplica a las perlas del polimero virgen sin importar la forma en que este sea aplicado.

4.- La preexpansión con vapor, es la más rentable de las técnicas de preexpansión actualmente utilizadas, y se prefie-



ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

39

re por las ventajas que tiene sobre las otras, aunque la desventaja de obtener el material húmedo nos lleve a la necesidad de un acondicionamiento mayor que en otras de las técnicas.

5.- Dentro de las formas de moldeo que se tienen para estos materiales, el moldeo automático es el que está cumpliendo con las mayores exigencias de los diferentes mercados, debido a que éste es el que optimiza de mejor forma los tiempos de producción y permite la mayor productividad.

6.- En el aspecto de los nuevos desarrollos que se tienen para estos productos, encontramos que la industria Automotriz ya está empleando el proceso de espumas perdidas, en la producción de partes de motores por fundición, este desarrollo llevara a la mayor utilización de cuerpos moldeados para la producción de dichas partes.

7.- En cuanto al mercado, cabe mencionar que en la actualidad es un mercado estable, aunque se prevee una tendencia a disminuir en los próximos años.

8.- Con la entrada en el mercado, de desarrollos como los de las industrias de la construcción y la automotriz, el volumen del mercado se verá favorecido ampliamente, esperán-

dose alcance tasas de crecimiento del orden del seis por ciento anual.

9.- Las expectativas de exportación de sectores manufactureros y la instalación de maquiladoras en nuestro país, favorecerán la producción de espumas de poliestireno, al incrementarse la demanda de empaques y artículos terminados, fabricados en el mercado nacional

**CAPITULO 5º**

**BIBLIOGRAFIA**

- 1 - R. Kirk, D. Othmer,  
ENCYCLOPEDIA OF CHEMICAL TECHNOLOGY,  
Vol. 21, p.p. 770-847,  
Wiley-Interscience, John Wiley and Sons, Inc.,  
New York, N.Y., 1983.
  
- 2 - R.T. Morrison and R.M. Boyd,  
ORGANIC CHEMISTRY,  
Cap. 36, p.p. 1233,1260.  
Allyn and Bacon, Inc.  
Boston, Mas.,1987.
  
- 3 - F. Billmeyer,  
TEXTBOOK OF POLIMER SCIENCE  
Cap. 1,2,3.  
Wiley-Interscience, John Wiley and Sons, Inc.  
New York, N.Y., 1984.

- 4 - R.J. Bender,  
HANDBOOK OF FOAMED PLASTICS,  
Lake Libertyville,  
Libertyville, Ill., 1965.
  
- 5 - J. Calvin,  
PRINCIPLES OF FOAM FORMATION,  
Wiley-Interscience, John Wiley and Sons, Inc.  
New York, N.Y., 1969.
  
- 6 - Investigación Directa en Productos de Estireno, S.A.  
de C.V., Gerencia Comercial.
  
- 7 - Joseph Szczesny, " The Right Stuff ", Time Interna  
tional. 136/18/24-30 (1990).