

19  
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

Departamento de  
Exámenes Profesionales

"LOS CUERPOS MOLDEABLES DEL  
POLIESTIRENO EXPANSIBLE  
EN LA CONSTRUCCION"

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A :  
JUAN PEREZ HERNANDEZ

ASESOR: M. EN C. RICARDO P. HERNANDEZ GARCIA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1996



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de  
Exámenes Profesionales

DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:  
Los Cuerpos Moldeables del Poliestireno Expansible en la Construcción.

que presenta el pasante: Juan Pérez Hernández  
con número de cuenta: 8203900-4 para obtener el TITULO de:  
Ingeniero Químico

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cuautitlan Izcalli, Edo. de Mex., a 11 de Abril de 1996

PRESIDENTE	<u>I.O.I. Alvaro Leo Ramirez</u>	
VOCAL	<u>I.O.M. Rafael Samoere Morales</u>	
SECRETARIO	<u>M. en C. Ricardo P. Hernández García</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>M. en C. Eligio Pastor Rivero Martínez</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>I.O. Gilberto A. Amaya Ventura</u>	

Tener el recuerdo de que  
un día formamos parte de  
una generación de Ingeniería  
Química.

Nos hace sentir una dignidad  
Incomparable, pero nos hace  
comprender que esta carrera  
se logra mediante la unión  
y la amistad mutua.

Ya que esta carrera es de  
resistencia, metas  
sufrimientos, alegrías  
pero sobre todo merece  
nuestro respeto.

Y que al terminarla nos  
Invade primero una satisfacción  
por haber conseguido la meta que  
algún día nos trazamos, pero luego,  
nos invade la melancolía, por haber  
dejado parte de uno mismo en el  
transcurso de estos años.

Juan V.M.

**A Dios**

**Por haberme dado la dicha de existir**

**A mis Padres**

**Por todos los esfuerzos, sacrificios, angustias y  
esperanzas que con lleva el sacar adelante a un hijo.**

**A mi Esposa**

**Por la comprensión, la confianza y el ánimo  
que en cada momento me brinda**

**Sabes que te quiero**

**Sabes que siempre te querré,**

**Pero quiero que tengas presente**

**que siempre te amare**

**A mis Hijos**

**Por todos esos momentos de alegría**

**A mi Abuelita**

**Por ese ejemplo que da cada día, con su  
tenacidad, bondad y sobre todo humildad**

**A mis Hermanos**

**Por todo el apoyo que me brindaron**

**A mi Tía Catalina**

**Por esa ayuda incondicional en cada momento**

**A la familia Susano Rivera**

**Por la ayuda y apoyo que siempre me brindan**

**A la UNAM y FESC**

**Por haberme dado la oportunidad de  
alcanzar este objetivo, de conocer y  
convivir con personas tan ejemplares,  
gracias profesores y compañeros**

## A los Pavos

En realidad siento nostalgia  
del ayer  
reconozco que me gustaría  
revivir los años que quedaron atrás  
ya que es bonito recordar.

Recordar que hace unos años  
llegamos a la facultad  
con diferentes ideales,  
metas personalidades  
sin imaginarnos que un día  
formaríamos parte de un grupo.

Grupo que con el tiempo  
era reconocido y envidiado  
debido a su compañerismo  
a su afán de ayudar a los demás  
y a su alegría que transmitía.

Este grupo se hizo llamar  
**PAVOS**  
palabra insignificante para algunos  
pero para nosotros significaba  
unión comprensión, sacrificios, metas,  
disgustos y que en pocas palabras era  
amistad.

Por lo que este grupo  
deberá ser duradero  
y reunirse en el transcurso de los años,  
tarea difícil mas no imposible.

**Al M. en C. Ricardo Paramon Hernández García**

**Por su ayuda y dedicación en la asesoría para la realización del presente trabajo**

**Al Jurado de este trabajo**

**Por la orientación brindada en la revisión del presente trabajo**

**A todas aquellas personas que ayudaron y  
colaboraron al desarrollo de este trabajo**

**INDICE****OBJETIVOS****INTRODUCCION**

Página

**CAPITULO 1****CONCEPTOS GENERALES**

1

1.1 Monómero y Polímero.

1

1.2 Generalidades de los Plásticos.

3

1.3 Polimerización.

3

1.4 Métodos de Polimerización.

8

**CAPITULO 2****OBTENCION DEL POLIESTIRENO EXPANSIBLE**

12

2.1 Generalidades.

12

2.2 Métodos de Obtención.

17

2.3 Preparación.

18

2.4 Almacenamiento y Manejo.

23

2.5 Riesgos.

24

2.5.1 Explosión.

24

2.5.2 Fuego.

24

2.5.3 Efecto de Salud.

25

<b>CAPITULO 3</b>	
<b>PROCESAMIENTO DEL POLIESTIRENO EXPANSIBLE</b>	<b>26</b>
3.1 Generalidades.	26
3.2 Preexpansión.	28
3.2.1 Tipos.	28
3.2.2 Preexpansión Continua.	29
3.2.3 Preexpansión Discontinua.	32
3.3 Secado y Transporte.	35
3.3.1 Secado.	35
3.3.2 Transporte.	37
3.4 Reposo Intermedio.	37
<b>CAPITULO 4</b>	
<b>MOLDEO</b>	<b>39</b>
4.1 Generalidades.	39
4.2 Secuencia para el Moldeo del Block.	42
4.3 Aplicaciones en la Construcción.	47
<b>CAPITULO 5</b>	
<b>PROPIEDADES</b>	<b>50</b>
5.1 Generalidades.	50
5.2 Relación entre las propiedades.	53
<b>CAPITULO 6</b>	
<b>PROBLEMAS TIPICOS Y SUS SOLUCIONES</b>	<b>55</b>

**CAPITULO 7**

<b>EL POLIESTIRENO EXPANSIBLE Y EL MEDIO AMBIENTE</b>	66
7.1 Generalidades.	66
7.2 Reciclado del Poliestireno Expansible.	67
7.3 Disposición de desechos.	68
7.3.1 Rellenos Sanitarios.	68

**CAPITULO 8**

<b>MERCADO</b>	70
8.1 Panorama del Poliestireno Expansible en el mercado.	70
8.2 Situación de los Cuerpos Moldeables.	72
8.3 Proyección a futuro.	73

**CONCLUSIONES**

**BIBLIOGRAFIA**

## OBJETIVOS.

- Describir el proceso de fabricación de los cuerpos moldeables del poliestireno expansible, señalando las aplicaciones tecnológicas y el estado del mercado, fundamentado en la investigación actualizada de tecnología y mercado, con el fin de resaltar su importancia.
- Establecer las posibles soluciones a los problemas que se presentan en la distribución del tamaño de partícula en la etapa de Impregnación, basandola en la experiencia obtenida por el autor.

## INTRODUCCION

Durante los años de 1949 y 1950 en Alemania se desarrolló el Poliestireno Expansible, que fue lanzado al mercado bajo la denominación de Styropor. En tanto que, en 1954, apareció en Estados Unidos un producto similar al alemán, con su respectiva patente de elaboración, con la marca Dylite. Mientras que al principio sólo se obtuvo el producto fundamental más adelante han aparecido nuevas marcas y productos, en parte nuevos y en parte, mejorados, que se adaptan a los diversos campos de aplicación que han aparecido en el campo de los polímeros expandidos.

El poliestireno expansible ha demostrado su versatilidad al ser aplicado en la *construcción, aislamiento térmico, embalaje, refrigeración, flotación, decoración, etc.*

Dentro de la industria de la construcción ha tenido un gran desarrollo en los últimos años. Gracias a la multiplicidad de aplicaciones que de ellos se derivan. En la mayoría de los casos han logrado sustituir y desplazar a otros materiales, teniendo como ventajas: costos más bajos, mayor variedad de aplicaciones y características, así como, propiedades que los hacen insustituibles.

Este polímero expandido es un termoplástico moldeable, que es suministrado como una perla pequeña conteniendo un agente expansor, el cual es translucido cuando se expande, produciendo una tonalidad opaca, ofreciendo una variedad de propiedades, tales como: *ligereza de peso, baja conductividad térmica, alta resistencia al esfuerzo, atractiva apariencia, moldeabilidad dentro de muchas formas y tamaños.*

Para obtener aún más ventajas en su utilización dentro del campo, se ha desarrollado la producción de grados autoextinguibles, los cuales impiden la propagación de un incendio mediante la liberación de vapores compuestos de halógenos.

Los usos de este material en la Construcción son: *el falso plafón, aislamiento de losas como casetón o bovedilla, placas para aislamiento en frigoríficos, decoración, etc.*

Las características únicas de este tipo de poliestireno han hecho necesario el desarrollo de una tecnología especializada en el equipo y en las técnicas de procesamiento de este material basada en la experiencia de años de los pioneros de esta industria.

Los principales polímeros que se usan en la construcción son el poliestireno y el poliuretano expansibles, con una participación igual del mercado.

El presente trabajo pretende dar a conocer la elaboración de los cuerpos moldeables de poliestireno expansible para la construcción. En él, se presentan conceptos básicos de los polímeros, sus formas de reacción, los procesos de obtención, sus propiedades, la situación con el medio ambiente y el panorama general en el mercado, así como los procesos involucrados en su elaboración.

Sin dejar de mencionar, los diferentes tipos de cuerpos moldeables que existen en el mercado para cada una de las aplicaciones en el campo de la construcción.

## CAPITULO 1

### CONCEPTOS GENERALES

#### 1.1 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 sí, 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. El nombre proviene del griego poli que significa "muchos" y meros que significa "unidad".<sup>(16)</sup>

Dentro del grupo de los polímeros se encuentran los plásticos, las fibras y los elastómeros. Los plásticos no se encuentran en la naturaleza como tales, por lo cual son producidos total o parcialmente por el hombre.

Dependiendo de su origen, los polímeros pueden ser:

##### 1.- Naturales:

Son compuestos orgánicos que pertenecen o pertenecieron a organismos vivos y que forman parte de su estructura.

Ejemplos:

La celulosa: es el constituyente principal de las fibras vegetales (madera, algodón, y lino).

Las proteínas: vegetales y animales, tales como la caseína y la albúmina.

Las fibras: de origen animal como la seda y la lana.

El látex o caucho de origen vegetal, etc.

## 2.- Artificiales:

Son polímeros que no se encuentran en la naturaleza como tales, pero su composición es a partir de polímeros naturales los cuales son modificados artificialmente en su estructura.

Ejemplos:

La nitrocelulosa: a partir de la nitración de la celulosa de algodón.

El papel a través de la celulosa de madera.

El rayón o seda artificial: también a partir de la celulosa, etc.

## 3.- Sintéticos:

Estos polímeros son creados totalmente por el hombre a partir de compuestos orgánicos derivados del petróleo y del gas natural denominados monómeros.

Ejemplos:

El polietileno a partir del monómero del etileno

El poliestireno: a partir del monómero del estireno.

Cuando en la formación de los polímeros sintéticos interviene solamente una unidad monomérica, éstos se llaman Homopolímeros, cuando interviene más de una unidad se llaman Copolímeros, para el caso de tres unidades monoméricas diferentes se denominan terpolímeros, para cuatro tetrapolímeros, etc.

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 monómero son: *estireno, etileno, propileno, cloruro de vinilo, acrilonitrilo, butadieno, acetato de vinilo.*

Al reaccionar estos monómeros podrían producir polietileno, polipropileno, poliestireno, 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.

## 1.2 GENERALIDADES DE LOS PLÁSTICOS.

Los plásticos son cadenas de muchos monómeros y tienen su origen en el Gas natural, y el Petróleo.

De acuerdo a su comportamiento térmico, los plásticos se clasifican en:

- 1.- Termoplásticos.
- 2.- Termofijos.

### Termoplásticos.

Pertencen a este grupo las resinas que pueden ser moldeadas varias veces y se ablandan y funden antes de quemarse.

El comportamiento de éstas es similar al de una cera parafínica, la cual al ser calentada se derrite y con el enfriamiento solidifica y si se aplica calor nuevamente, se repite el ciclo. (Ejemplo: polietileno, polipropileno, poliestireno, etc.)

### Termofijos:

Cuando estas resinas se funden forman enlaces tipo red, este enlace produce que al calentarlas posteriormente, se quemen en lugar de reblandecerse, por esta razón, sólo pueden moldearse una sola vez.

## 1.3 POLIMERIZACION

La polimerización puede llevarse a cabo por reacciones de adición o condensación.

## REACCIONES DE ADICION

Las reacciones de adición 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 tipo de reacciones se efectúan por medio de:

### A) RADICALES LIBRES

En este tipo de reacciones normalmente los monómeros no son capaces de formar los radicales que se necesitan para comenzar la reacción, para ello es necesario agregar un iniciador.

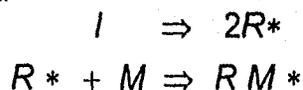
El mecanismo típico de una reacción de adición es:

Primer paso: Reacción de iniciación o activación.

Segundo paso: Reacción de propagación o crecimiento.

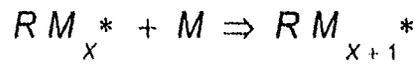
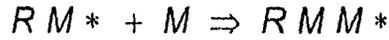
Tercer paso: Reacción de terminación o final.

La reacción de iniciación es donde se forma un radical libre e inmediatamente se produce la fijación de una primera molécula de monómero. Para ello se necesita un iniciador, en el caso de termoiniciación. En donde la molécula de iniciador se divide generalmente en dos radicales. <sup>(25)</sup>



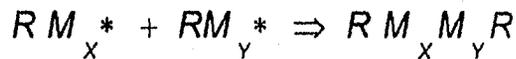
donde I representa al iniciador, R\* representa al radical libre formado y M el monómero.

La fase de propagación, es el crecimiento de las cadenas que se efectúa por la fijación sucesiva del monómero sobre los centros activos y está representada por las siguientes reacciones: <sup>(25)</sup>

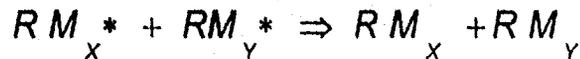


El crecimiento de los radicales se detiene por las etapas de combinación o desproporción de los radicales entre ellos mismos, consumiéndose los radicales sin producir más de estos, es así como se da la reacción de terminación. Las reacciones que representan esta fase son:

Reacción de combinación

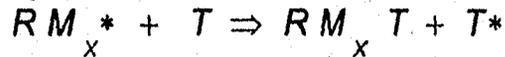


Reacción de desproporción



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 vinilo	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.

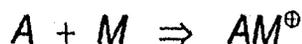
## B) IONICA

Las reacciones iónicas se realizan por medio de iones, como partículas propagadoras de la cadena, éstas pueden ser, cationes o aniones, por lo que depende de que tipo de iniciador se utiliza.<sup>(16)</sup>

Este tipo de reacciones se clasifican como catiónicas y aniónicas.

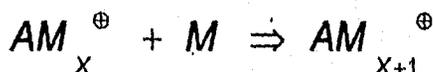
Las reacciones catiónicas son iniciadas por ácidos como: el ácido sulfúrico,  $\text{AlCl}_3$  o  $\text{BF}_3$  con una traza de agua, etc.

El mecanismo de esta reacción empieza con la formación de un ion carbonio, dando así lugar a la reacción de iniciación.



donde A es un ácido, M un monómero y  $AM^+$  un ion carbonio.

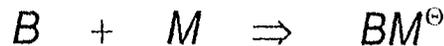
En la reacción de propagación existe el aumento de cadenas debido a la unión sucesiva del monómero sobre los centros activos.



Para que se de la reacción de terminación el ion carbonio debe sufrir la expulsión de un protón para generar un alqueno o una combinación con un anión. Si las condiciones se controlan, la reacción de terminación no se producirá rápidamente.

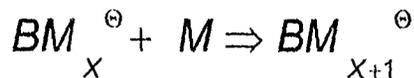
Las reacciones aniónicas son iniciadas por bases o compuestos organometálicos como el  $\text{Li}^+ \text{NH}_2^-$ ,  $\text{NH}_2^- \text{K}^+$  o n - butillitio.

En la reacción de iniciación hay un ataque directo de una base de Lewis sobre el doble enlace del monómero formándose un carbanión.



donde B es una base, M es el monómero y  $BM^{\ominus}$  es el carbanión.

En la fase de propagación se aumentan las cadenas por la unión sucesiva del monómero sobre los centros activos.



En la reacción de terminación se necesita adicionar una impureza o alguna otra molécula que no forme parte necesariamente del sistema, esto es para detener el crecimiento de cadenas.

### C) COORDINACION

Las reacciones de coordinación se llevan a cabo cuando el catalizador está en forma de complejo presentando por lo menos un átomo capaz de coordinar la molécula de monómero. Así pues, la catálisis de coordinación utiliza catalizadores en forma de complejos en los cuales el átomo de coordinación es el metal, tiene una fuerte tendencia a formar complejos y a coordinar la molécula de monómero. Dichos metales son:  $TiCl_4$ ,  $TiCl_3$ ,  $VCl_4$ ,  $VOCl_3$ ,  $ZrCl_4$ ,  $AlR_3$ ,  $AlR_2Cl$ ,  $AlRCl_2$ ,  $AlHR_2$ , etc.<sup>[25]</sup>

En el mecanismo de coordinación, el crecimiento de la cadena se efectúa después de la coordinación del monómero con el complejo catalítico activo.

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

### REACCIONES DE CONDENSACION

Las reacciones de condensación se realizan por la unión de moléculas polifuncionales por reacciones comunes de esterificación o amidación, principalmente.

Se llevan a cabo con la eliminación de una molécula, que generalmente es agua, pero que puede ser un hidrácido, amoníaco u otro compuesto.<sup>(6)</sup>

Estas reacciones se producen por simple calentamiento o por la acción de los mismos catalizadores empleados para reacciones análogas. Consisten en una serie de reacciones entre una cadena en crecimiento y una molécula pequeña o entre dos cadenas en crecimiento.

Todos los polímeros que se obtienen por la reacción de condensación se les denomina termofijos, ya que al calentarlos producen un producto insoluble.

## 2.4 METODOS DE POLIMERIZACION

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 medio acuoso o en otro disolvente.

**POLIMERIZACION 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 más abierta, 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 SOLUCION:** esta forma permite realizar una reacción más regular. El polímero puede ser soluble en el disolvente o precipitar a partir de cierto

grado de polimerización. En este último caso, la polimerización en solución da polímeros con buena homogeneidad desde el punto de vista de los grados de polimerización. Este método exige sin embargo, una cantidad de disolvente bastante importante, para limitar la viscosidad del medio. El disolvente debe ser eliminado enseguida del polímero y recuperado cuidadosamente para evitar un alto costo de fabricación. Este método tiene la ventaja de que opera con disolventes de punto de ebullición bajo, obteniendo polímeros de pesos moleculares muy elevados en el caso de polimerizaciones muy exotérmicas. Este tipo de polimerización se emplea sobre todo cuando el polímero final va a aplicarse en forma disuelta, como en el caso de adhesivos o barnices.

**POLIMERIZACION EN EMULSION:** Sustituye los disolventes costosos que se empleaban como medio de dispersión, por agua. Los monómeros poco solubles o insolubles al agua, se emulsionan eventualmente en presencia de coloides protectores, reguladores de tensión superficial, reguladores de pH y de un iniciador soluble en el medio acuoso. <sup>(18)</sup>

En el medio acuoso está localizada la iniciación de la polimerización. El crecimiento de las cadenas tiene lugar, muy probablemente, en el interior de las gotitas monómero-polímero. Incluso las reacciones de terminación se efectúan en ellas, únicamente sirven de reserva del monómero pero, a medida que el monómero se polimeriza, será cedido al medio acuoso a las gotas de polímero-monómero. Al aumentar el volumen de las gotas de polímero, disminuye el volumen de las gotas del monómero.

De la polimerización resulta una emulsión acuosa aplicable, el látex, que al evaporarse se obtiene un polímero sólido. La polimerización en emulsión ha tenido un gran desarrollo técnico, sobre todo para la preparación de ciertos elastómeros (copolímeros butadieno-estireno). Sin embargo, tiene el inconveniente de dar polímeros difíciles de separar de las impurezas correspondientes a los productos que facilitan la

emulsión, forman capas absorbidas sobre los granos de gran superficie específica y añaden inicialmente al medio reaccionante cantidades bastante importantes.

**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 agentes de superficie.

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 benzoylo, en suspensión acuosa, conteniendo agentes tensoactivos, además de una cantidad de 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 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 expansor. 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 2 OBTENCION DEL POLIESTIRENO EXPANSIBLE

### 2.1 GENERALIDADES

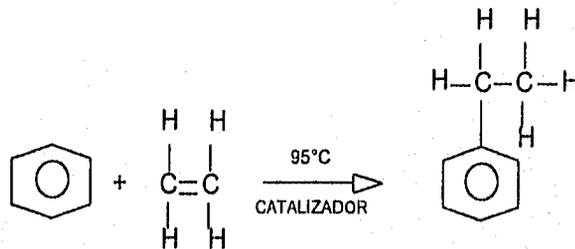
En este capítulo se describirá la obtención y preparación del poliestireno expansible, señalando los riesgos que corre este material después de ser elaborado.

Para la obtención del poliestireno, se describirá de la siguiente forma:

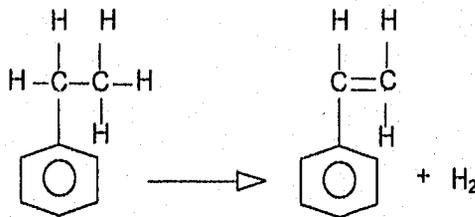
- Obtención del estireno.

El proceso químico fundamental de la fabricación del estireno tiene tres etapas: <sup>(26)</sup>

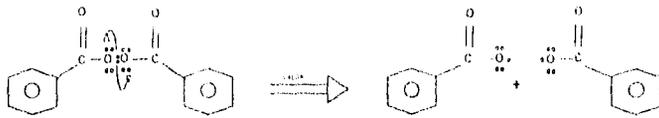
a) La producción de etilbenceno



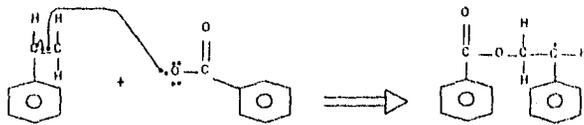
b) El etilbenceno purificado es luego deshidrogenado catalíticamente en presencia de vapor para dar el estireno:



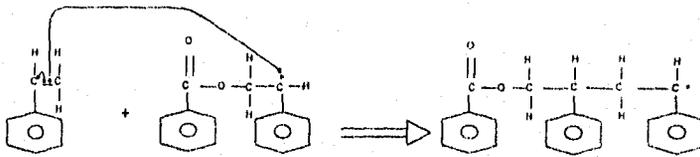




Los fragmentos se caracterizan por tener un electrón impar y se llaman radicales libres. Estos radicales libres tienen una gran reactividad química debido a la presencia del electrón desapareado y al encontrarse con molécula del monómero se adicionan a él:

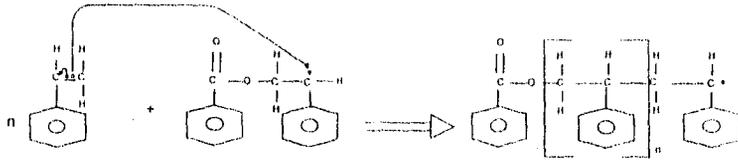


Con esto, el radical libre deja de serlo y se estabiliza al aparear su electrón con uno de los electrones del monómero. En esta forma el ex-radical libre ha resuelto su problema y entra en calma, pero ha dejado al monómero con un electrón impar. Así, se ha formado un nuevo radical libre que debe ahora aparear su electrón y lo que hace es adicionarse a otra molécula de monómero:

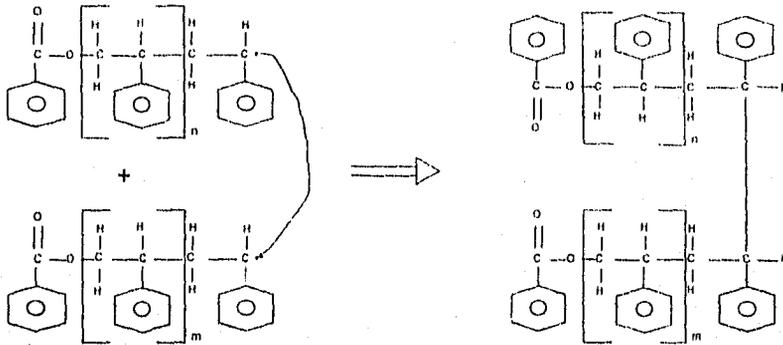


A su vez, este nuevo radical libre se adiciona a otra molécula de monómero y no es difícil imaginar que este proceso se repite muchas veces, porque cada vez que ocurre se forma un nuevo radical libre, de manera que esta reacción se puede representar así:

Obtención del Poliestireno Expansible

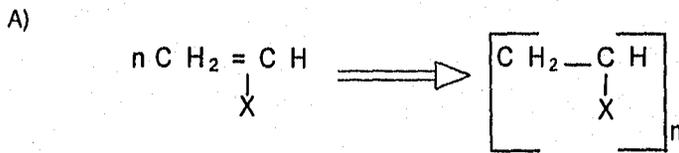


En esta forma se producen cadenas muy largas de macrorradicales libres. Eventualmente dos de estos macrorradicales se encuentran y se unen formando una molécula de polímero:

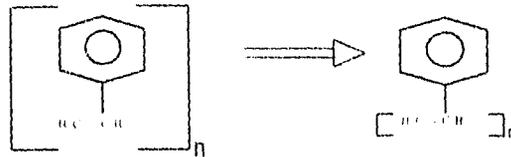


Las dos primeras reacciones, tomadas en conjunto, constituyen la iniciación. La tercera reacción es la propagación y la cuarta es la terminación.

Las reacción puede ser esquemáticamente mostrada en la siguiente forma:



B)



aunque la exacta naturaleza del principio y final de la cadena del polímero no es bastante segura.

En general, el polímero se puede caracterizar por su grado de polimerización promedio (es decir el valor de  $n$ ), o con más precisión por la distribución de los valores de  $n$ .

Para la obtención del poliestireno se utiliza con más frecuencia la polimerización en suspensión.

La polimerización puede proceder con calor solamente, con la ayuda de catalizadores o en presencia de sustancias relativamente inertes como disolventes, pigmentos, colorantes, plastificantes, caucho, resinas, etc.

En general, este tipo de polimerización es un proceso que lleva los siguientes cambios:

- El doble enlace etilénico del grupo vinilo ( $-\text{CH} = \text{CH}_2$ ) desaparece.
- El calor desprendido durante el proceso de polimerización es casi equivalente al calor de hidrogenación de la doble ligadura.
- La densidad aumenta de monómero de estireno puro a poliestireno puro. Este cambio de densidad es una función lineal de la conversión de polimerización. Esta densidad es casi independiente del peso molecular del polímero, excepto para rangos muy bajos.
- El índice de refracción aumenta de monómero a polímero. Este también es

independiente del peso molecular promedio, excepto para rangos muy bajos.  
- El peso molecular depende de las condiciones de polimerización.

Así también este proceso se ve afectado por numerosas variables, tales como: La velocidad de agitación, la relación de monómero a fase acuosa en el sistema, la cantidad, finura y tipo de agente dispersante, la tensión interfacial monómero-agua, la viscosidad del monómero, el pH de la suspensión, etc.. Los efectos que algunas variables pueden producir en el proceso, se reflejan tanto en la apariencia física del producto así como también en la velocidad de polimerización.

## 2.2 METODOS DE OBTENCION

El poliestireno expansible se puede obtener por expansión de las perlas o gránulos expansibles, 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 el poliestireno expansible fueron:

a) Mezclar la resina de poliestireno con agentes expansores, generalmente un hidrocarburo de bajo punto de ebullición como el cloruro de metilo para después extruirlos.

b) Polimerizar en masa con el monómero de estireno y algún hidrocarburo de bajo punto de ebullición. La mezcla resultante era llevada a pedazos pequeños y de éstos se obtenía poliestireno expansible de baja densidad por la extrusión.

Estos métodos han sido desplazados por el proceso de polimerización en suspensión en la producción de perlas de polímero preexpansibles. 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.

### 2.3 PREPARACION

En la preparación del poliestireno expansible se utilizan dos métodos.

El primer método se lleva a cabo en dos etapas:

La primera etapa se realiza mediante un proceso de polimerización en suspensión y éste se inicia con la carga de agua al reactor seguida de la adición del monómero de estireno y los químicos necesarios para el inicio de la reacción (Iniciador: peróxido de benzoílo, agentes de suspensión; fosfato tricálcico, agente tensoactivo; esteres de sorbitan), una vez concluida la carga de reactantes, se inicia la etapa de calentamiento con agitación constante, cuando se llega a una cierta temperatura (130 °C), la cantidad de vapor alimentada a la chaqueta del reactor disminuye gradualmente y comienza la etapa de control de la reacción la cual es exotérmica.

La segunda etapa consiste en una impregnación, ésta comienza con la adición del agente expansor ( pentano ), el cual se difunde al interior de las perlas al ser calentadas por un tiempo predeterminado ( 5 hrs. ) a cierta temperatura ( 91 °C ) produciendo unas perlas de poliestireno de alto peso molecular con 5 a 7 % del agente expansor (Figura 1).

Por otro lado, el segundo método se utiliza cuando las industrias productoras de este material, compran el material ya polimerizado para evitar los gastos y el tiempo que lleva producirlo. Por esto, el proceso consiste en una Impregnación, la cual se inicia con la carga de agua al tanque mezclador seguida de la adición de perlas de poliestireno y los químicos que se necesitan ( agente lubricante; loxiol, acondicionador para la fluidez; estearato de zinc ). Luego, se envía al reactor, en el cual se adiciona los químicos

necesarios para la Impregnación ( agente dispersante: canasol, agentes de suspensión; fosfato tricálcico, nacconol, retardante a la flama; tetrabromuro bifenol ) y la cantidad necesaria del agente expansor, en donde se lleva a una temperatura de ablandamiento(91 °C), para facilitar la absorción del agente (Figura 2).

Una vez finalizada la segunda etapa, la corriente del reactor se envía a un tanque lavador en el cual se neutraliza la suspensión(ácido clorhídrico al 30 % ): del tanque se envía la corriente a un secador para que elimine la humedad residual.

Después del secador, las perlas pasan al tren de cribado en el que se separan los diferentes tamaños de perla , con 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 determinan su uso final. Así, las grandes se utilizan en bovedillas, plafones, casetones para construcción, etc.

Las medianas, se usan en artículos moldeados, empaques, hieleras, componentes para refrigeración, etc.

Las chicas, se emplean en la fabricación de artículos de paredes delgadas, como vasos y tazas térmicas.

Posteriormente de la separación se envía el material a una tolva donde por medio de la gravedad se verterá a una mezcladora para agregar los químicos necesarios (acondicionador de fluidez; estearato de zinc, agente desmoldante; silicón).

Luego se envía a una tolva de contención para el envasado del producto final (Figuras 1 y 2).

Este producto, en el caso de ser comercializado se le deben determinar las especificaciones del producto, con las que será vendido, tomando en cuenta los tipos de material que se producen, sin olvidar, también que tipo de materiales se emplearán para su envasado.





Dentro de los tipos de poliestireno expansible existen características en cada uno de estos, los cuales se describirán de una forma general :

Los grupos más importantes son:

a) Poliestireno Normal (N)

Se utiliza como materia prima para la obtención de polímeros expandidos que están destinados para ser usados en empaques, recipientes comunes, como aislantes y en general para todos aquellos usos en los que no se requieran propiedades especiales en cuanto a estabilidad química y seguridad en su manejo.

b) Poliestireno Autoextinguible (AE)

Especial para obtener polímeros expandidos difícilmente inflamables como los usados para la construcción. Este material se emplea generalmente para la fabricación de blocks de alta y baja densidad, en donde para baja densidad se utiliza en la mayoría de los casos como aligerante (casetón, bovedilla), y para block de alta densidad se emplea como aislante térmico (placa aislante), aplicaciones decorativas (plafón).

c) Poliestireno Estabilizado (H)

Destinado a la obtención de polímeros expandidos estables a los hidrocarburos como aceites minerales y el aceite diesel exentos de compuestos aromáticos.

Dentro de cada tipo de poliestireno se hace una nueva clasificación en función del tamaño de la perla ya que es muy importante para efectuar adecuadamente el moldeo. Los fabricantes en sus marcas hacen la clasificación de la siguiente forma:

Para definir el tipo de poliestireno usan letras (N, AE o H) para el tamaño promedio de partículas usan números como 1020, 0610, etc., en los cuales se indican en unos casos, en milímetros el tamaño mínimo y máximo de las partículas , por ejemplo, decir poliestireno N-0610 significa poliestireno normal en partículas de 0.6 a 1.0 milímetros de diámetro, y en otros el número de mallas mínima y máxima donde se retiene más el

material, por ejemplo, decir poliestireno AE-1020 significa poliestireno autoextinguible con mayor retención en las mallas 10 y 20 del material.

En este caso, utilizaremos el tipo de poliestireno autoextinguible con perlas grandes, debido que son las características adecuadas para el campo de la Construcción.

#### **2.4 ALMACENAMIENTO Y MANEJO**

El Poliestireno Expansible es suministrado en forma de perlas de poliestireno, las cuales en concentraciones de 5-7% contienen un hidrocarburo volátil (pentano) por tanto deben tomarse ciertas medidas de seguridad para el manejo del mismo, con el fin de minimizar riesgos de fuego y/o explosión.

Adicionalmente, puesto que el pentano es muy volátil, el almacenamiento de la materia prima debe cumplir ciertas características, con el fin de evitar problemas durante el procesamiento del material ocasionado por la pérdida del agente expansor durante el almacenamiento.

El poliestireno expansible se comercializa en diferentes presentaciones:

- 1.- En sacos de 40 Kg
- 2.- En tambos de 200 Kg
- 3.- En cajas de 500 Kg

El material se empaca en bolsas que impiden la pérdida de pentano por evaporación. El almacenamiento del mismo puede efectuarse por más de tres meses sin que haya pérdidas significativas del nivel de pentano si se toman las siguientes consideraciones:

- a) Almacenar a temperaturas alrededor de 20 °C.
- b) No exponer el material a radiaciones solares.

## **2.5 RIESGOS**

### **2.5.1 EXPLOSION**

El vapor del pentano es más pesado que el aire, y puede formar una mezcla explosiva si se alcanza una concentración de 1.4 % en peso. Cualquier medio de ignición debe ser excluido de las áreas donde se maneje el poliestireno expansible. Los motores y equipo eléctrico deben ser a prueba de explosión, y las áreas de almacenamiento tienen que ventilarse adecuadamente para evitar la acumulación de vapores de pentano, que pueden formar mezclas explosivas con el aire.

### **2.5.2 FUEGO**

Cuando el poliestireno expansible grado normal se pone en contacto con una fuente de ignición, el material comienza a quemarse y aun cuando la fuente halla sido retirada. El material continua ardiendo mientras no sea extinguido por algún medio. Los productos de la combustión son principalmente monóxido de carbono, dióxido de carbono y vapor de agua.

Por el contrario, el poliestireno expansible grado autoextinguible puede arder en presencia de una fuente de ignición muy grande sin embargo, una vez que ésta se retira el material impide la propagación de la flama mediante la liberación de vapores compuestos halogenados (de bromo principalmente) los cuales extinguen la llama generada mediante el mecanismo de sofocación por lo tanto, los productos de la combustión pueden incluir adicionalmente bromuro de hidrógeno.

En caso de fuego, para la extinción del mismo, puede usarse cualquier tipo de extinguidor disponible ya sea de agua, dióxido de carbono y polvo químico .

#### Producto intermedio

En cualquier etapa de procesamiento del poliestireno expansible, debe existir buena ventilación y evitarse cualquier fuente de ignición.

#### 2.5.3 EFECTO DE SALUD

Durante el almacenamiento del poliestireno expansible, el pentano presente en la perla sin expandir, se libera lentamente y se difunde en la atmósfera presente.

El pentano es un hidrocarburo alifático típico y consecuentemente tiene un grado de toxicidad bajo, pero solamente a concentraciones altas en el aire, lo cual normalmente no ocurre, puede causar irritación de las mucosas y en ciertos casos narcosis. El límite de exposición (T.L.V.) recomendado es de 600 ppm. En espacios confinados se recomienda usar protección respiratoria.

### CAPITULO 3

## PROCESAMIENTO DEL POLIESTIRENO EXPANSIBLE

### 3.1 GENERALIDADES

El procesamiento del poliestireno expansible, la preexpansión es la primera etapa para su transformación, de forma de perlas duras a perlas de consistencia suave, que proporcionan las características del poliestireno expansible.

En la preexpansión, las perlas de poliestireno son preexpandidas desde 10 hasta 70 veces su tamaño original, dependiendo del tamaño de perla virgen que se esté empleando y de la densidad que se desee obtener.

Para realizar la preexpansión se ocupa vapor saturado o sobrecalentado como fuente de calor para lograr el reblandecimiento de la perla, y el cambio de fase de líquido a gas del hidrocarburo contenido.

El vapor se emplea como fuente de calor debido a que presenta ciertas ventajas sobre otros medios de adición de calor, tales como aire o agua caliente, estas ventajas se mencionan a continuación:

- 1.- Es un medio de transferencia de calor muy eficiente.
- 2.- Su temperatura a presión atmosférica es muy cercana a la temperatura de transición vítrea (Esta temperatura es el comienzo de el movimiento de sus segmentos,  $T_g$ ) del poliestireno
- 3.- Es económico y se puede obtener fácilmente.

Además de las ventajas mencionadas, el vapor ayuda al proceso de preexpansión de la siguiente forma:

El poliestireno es sumamente permeable al vapor, y tan pronto como el agente expansor comienza a expandir las perlas, el vapor se permea fácilmente hacia las celdas formadas.

La presión del vapor dentro de las celdas balancea entonces la presión externa del vapor que rodea las perlas, las cuales pueden expandirse sin que se presente una virtual resistencia, con lo que se logra un aumento en el volumen de las perlas y por consiguiente, una disminución de la densidad.

La densidad que se obtiene en preexpansión, es prácticamente la misma que se obtiene en el cuerpo moldeado, debido a que el molde se llena completamente.

El incremento en el volumen obtenido depende del tiempo de residencia en el preexpansor y la temperatura dentro del mismo.

El tiempo de residencia excesivo o el uso de vapor sobrecalentado, puede provocar colapsamiento de las perlas, con lo que la densidad se ve incrementada. Por otro lado, si se usa vapor demasiado húmedo, también tiene efecto directo sobre la densidad del material, provocando que ésta se incremente, esto sucede debido a que el vapor no proporciona el suficiente calor, ya que gran parte de éste, es absorbido por la humedad contenida en el vapor, por lo que la fuerza de expansión es considerablemente menor.

Para prevenir la formación de vapor sobrecalentado, deben dejarse sin aislamiento térmico los últimos 4-5 metros de la línea de vapor, esto es entre la válvula de control de presión y el preexpansor; esto provoca que el vapor se condense en el tramo de la tubería y que se sature, eliminando así la entrada de vapor sobrecalentando al preexpansor. De igual importancia es el remover el condensado formado a lo largo de toda la línea de vapor, esto se logra mediante la colocación de

trampas de vapor instaladas en la parte más baja , junto con separadores ciclónicos de condensado que se colocan previo a la alimentación de vapor al preexpansor.

Al iniciar la operación del preexpansor después de un tiempo de haber estado sin funcionar es recomendable efectuar una purga para eliminar la mayor parte del condensado en la línea de vapor.

### 3.2 PREEXPANSION

#### 3.2.1 TIPOS

Las perlas expansibles se pueden expandir por medio de: agua caliente, aire caliente, vapor y por otras fuentes de calor como rayos Infrarrojos.

**PREEXPANSION CON AGUA CALIENTE:** En este proceso la preexpansión se realiza agregando las perlas expansibles en un baño de agua caliente (85 - 95 °C).

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

**PREEXPANSION 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.

**PREEXPANSION 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 la 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 un 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.

Las operaciones de preexpansión que se realizan comúnmente, son de dos formas, dependiendo del equipo que se este utilizando y se clasifican en:

- A) Preexpansión continua o en preexpansor abierto.
- B) Preexpansión discontinua, "batch", o en preexpansor cerrado.

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

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

### **3.2.2 PREEXPANSION CONTINUA.**

En la preexpansión continua se emplean preexpansores que operan a presión atmosférica. Por lo que se conocen como preexpansores abiertos.

En estos equipos el vapor se introduce por la parte más baja del cuerpo del preexpansor, o a través de un plato perforado localizado en la base.

La materia prima se alimenta generalmente por medio de un tornillo sinfín localizado en la parte inferior del preexpansor, y el material una vez preexpandido, es expulsado por la parte superior a través de un conducto de descarga de altura regulable.

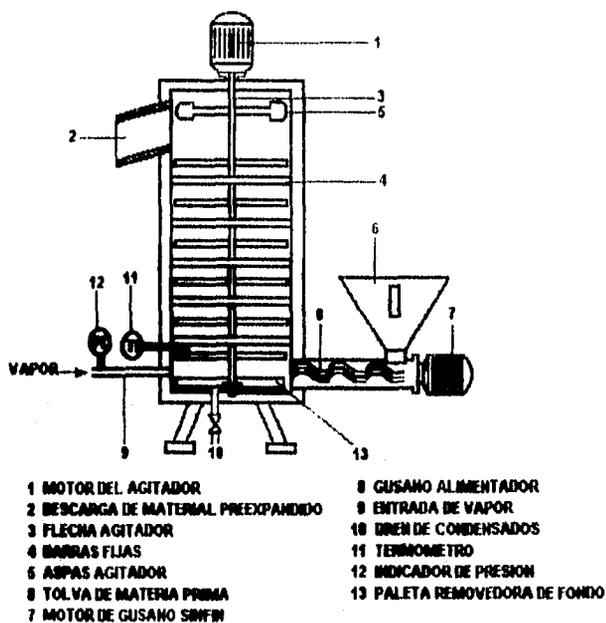
En algunos equipos de preexpansión para la alimentación de materia prima se emplea un sistema neumático en lugar del tornillo sinfín.

El sistema debe encontrarse agitado para prevenir aglomeraciones de material normalmente se emplea una combinación de barras fijas y rotatorias, las cuales deben girar a 60-100 R.P.M., ya que a una velocidad menor no se previene la aglomeración, y a una mayor velocidad se forman remolinos en el preexpansor.

La densidad se controla usualmente efectuando cualquiera de los ajustes mencionados a continuación.

- A) Ajustando el suministro de vapor.
- B) Ajustando la velocidad de alimentación de materia prima.
- C) Ajustando la altura de la descarga.
- D) Mediante el uso de mezclas aire - vapor.

Cualquiera de estos cambios implica un cambio en el tiempo de residencia del material. Con este tipo de preexpansor se pueden obtener densidades de hasta 13 g/l en una primera preexpansión. Si se requieren densidades mas bajas, es necesario dar un tiempo de reposo al material del primer paso, aproximadamente 3-6 horas, el cual una vez completado, puede someterse a una nueva preexpansión en condiciones similares a las del primer paso.



ESQUEMA DE UN PREEXPANSOR CONTINUO

figura 3

La densidad del primer paso debe ser al menos de 1.5 veces la que pretende obtener en el segundo paso.

En la preexpansión, las condiciones de presión de vapor y temperatura deben mantenerse en un rango tal que no se provoque la plastificación de la perla, ya que esto ocasiona que se peguen unas con otras y se aglomeren formando grumos en el preexpansor.

Las condiciones que normalmente se manejan dependen del tamaño de la perla, de la densidad que se busca, de las instalaciones y del tipo de vapor que se esté empleando, ya sea vapor saturado o vapor sobrecalentado. Las perlas con mayor tamaño y por lo tanto con menor densidad, requieren temperaturas más altas

(aproximadamente 105 °C para densidades alrededor de 10 g/l), mientras que para densidades arriba de 50 g/l es recomendable trabajar con temperaturas de aproximadamente 90 °C.

Debe procurarse que el flujo de vapor sea lo más constante posible para evitar fluctuaciones en la densidad durante la operación.

### 3.2.3 PREEXPANSION DISCONTINUA

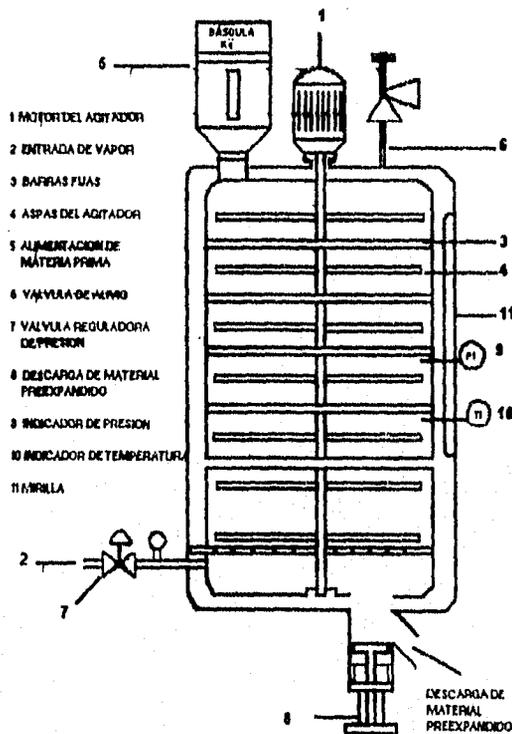
Los preexpansores discontinuos son recipientes a presión, similares al preexpansor continuo, con la diferencia de que operan por cargas o "batchs" y se encuentran sometidos a una presión interna mayor a la atmosférica.

La operación de preexpansión en estos equipos se efectúa de la siguiente forma:

- 1.- Se carga una cantidad predeterminada de materia prima al preexpansor.
- 2.- Una vez cargado el material, se abre la válvula de vapor hasta que se alcance una presión establecida previamente, dependiendo de la densidad que se pretenda obtener.
- 3.- Se cierra el vapor y se ventea el preexpansor hasta que se libera toda la presión interna.
- 4.- Se cierra el venteo y se alimenta nuevamente vapor.
- 5.- Los pasos del 2 al 4 se efectúan tantas veces como sea necesario para obtener la densidad requerida.
- 6.- El final de la preexpansión se considera cuando el volumen de material preexpandido es aproximadamente el 80% de el volumen del recipiente, cuando esto sucede, se abre la compuerta de descarga del preexpansor y se envía el material a los silos de reposo.

Debe tenerse cuidado para evitar que el volumen de material preexpandido sobrepase la altura máxima permitida dentro del preexpansor, ya que si esto sucede se corre el riesgo de que el preexpansor se "embanque".

El embancamiento sucede cuando el material crece y se compacta dentro del preexpansor, de manera que se forma un bloque de poliestireno dentro del equipo y puede ocasionar daños a las aspas del agitador, y/o dañar el motor del agitador por la resistencia tan grande que alcanza el material cuando se compacta.



**ESQUEMA DE UN PREEXPANSOR DISCONTINUO**

figura 4

Como prevenir un embancamiento:

A) Cuando el amperaje del motor del agitador comience a incrementarse, es señal inequívoca de que se está compactando material dentro del preexpansor, cuando esto suceda, se debe cerrar la alimentación de vapor y abrir la compuerta de descarga rápidamente y al mismo tiempo inyectar aire al equipo para impedir que el material continúe expandiéndose.

B) Como práctica segura y común, es recomendable que este tipo de equipos cuenten con una mirilla a través de la cual se puede observar el crecimiento de la perla dentro del preexpansor. Con este tipo de preexpansores se pueden obtener densidades de 10 - 12 g/l en una sola preexpansión.

La densidad se controla de la siguiente manera:

A) Ajustando la cantidad de materia prima por cada carga al preexpansor.

B) Ajustando la presión de vapor.

C) Ajustando el número de venteos en cada preexpansión.

D) Ajustando el diferencial de presión en los venteos.

Por otro lado, en la preexpansión se deben tener ciertas precauciones con respecto a los riesgos que puedan suceder, las cuales se mencionaran enseguida:

- El vapor que sale del preexpansor, arrastra vapores de pentano, por lo que deben colocarse extractores para desalojar los vapores del área. En la etapa de preexpansión, los riesgos de explosión son, mínimos, ya que la presencia del vapor elimina la posibilidad de una mezcla explosiva entre pentano y aire.

- Deben tomarse precauciones durante la alimentación de materia prima al preexpansor. si ésta se hace en forma manual debe evitarse el uso de ropa que

pueda provocar chispas, ya que esto implica un riesgo inminente para el operador.

- La tubería que transporta el material preexpandido debe ser de un material conductor para evitar descargas eléctricas que puedan funcionar como fuentes de ignición, adicionalmente, la tubería debe estar conectada a tierra, al igual que los silos de reposo.

- En la área de los silos debe contar con ventilación suficiente para eliminar los vapores de pentano que se liberan durante el reposo intermedio, y para obtener una mejor entrada de aire que permita la estabilidad de la perla.

### **3.3 SECADO Y TRANSPORTE.**

#### **3.3.1 SECADO**

El material recién preexpandido con vapor, contiene aproximadamente un 10% de humedad, esta humedad impide un flujo libre del material hacia los silos de reposo, por lo tanto, se hace necesario secar el material por dos razones principalmente:

1.- Para ayudar a la fluidez de material preexpandido durante el transporte evitando así, taponamientos en las tuberías los cuales son originados por la acumulación de material húmedo.

2.- Para proporcionar estabilidad a la perla y evitar que ésta se dañe durante el transporte.

Las perlas no deben secarse totalmente para evitar riesgos por generación de carga estática.

Los dos sistemas más comunes que se emplean para efectuar el secado son:

1.- El uso de un Venturi que emplea aire caliente (aproximadamente 25 °C) para el transporte de la perla. La temperatura de l aire no debe ser menor a 20 °C. con el fin de evitar un choque térmico que pudiera ocasionar colapsamiento en las perlas preexpandidas (Ver figura 5).

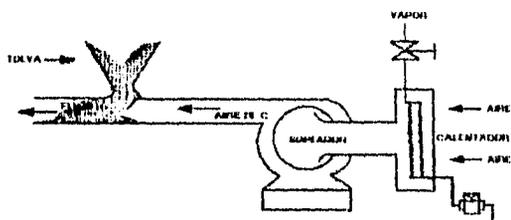
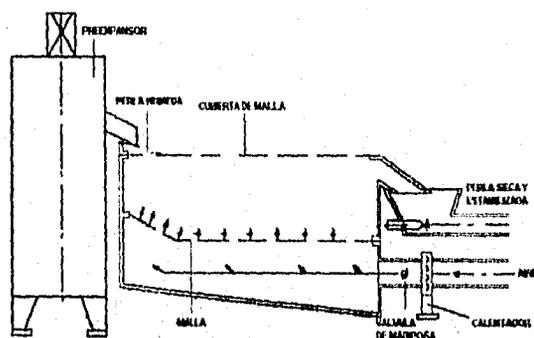


figura 5

2.- El empleo de un lecho fluidizado que opera de manera continua con aire precalentado, el cual es soplado en la base del lecho y permite un tiempo de residencia de las perlas de 1-5 minutos según sea el contenido de humedad ( Ver figura 6).



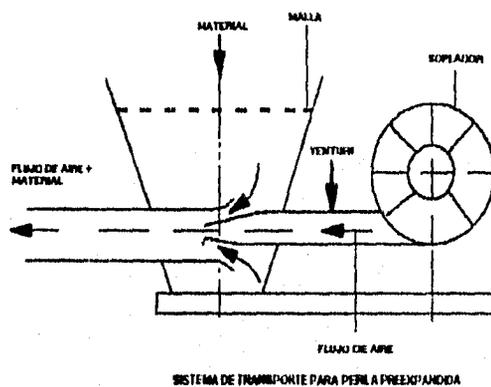
ESQUEMA DE UN LECHO FLUIDIZADO

figura 6

### 3.3.2 TRANSPORTE

El sistema de transporte consta generalmente de un soplador y un venturi, con este tipo de arreglos deben lograrse velocidades de 10 - 15 m/s en los tramos rectos de tubería. deben evitarse esquinas muy agudas (90 °) ya que esto ocasiona daños a la perla preexpandida. Adicionalmente debe tenerse cuidado de no transportar el material recién preexpandido a través de las aspas del ventilador ya que esto daña a la perla e incrementa su densidad.

El material empleado normalmente para la tubería de transporte es lámina galvanizada debe tenerse cuidado de conectar a tierra tanto tubería como los silos de reposo, para evitar la generación de carga estática causada por la fricción del material al ser transportado.



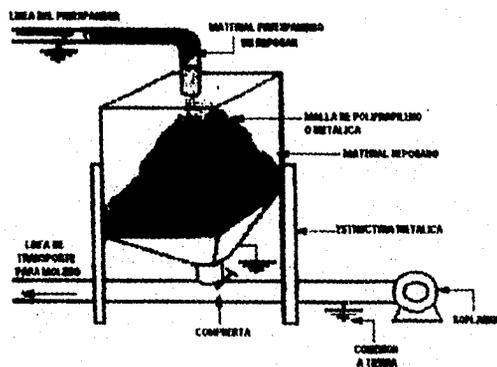
### 3.4 REPOSO INTERMEDIO

Una vez que el material es descargado del preexpansor, el agente expansor y el vapor que se encuentra dentro de las perlas se condensa a medida que el material se enfría esto provoca un vacío parcial en las celdas internas de la perla, lo que hace que

estas sean sensibles a la presión, hasta que la difusión del aire al interior de la celda iguale la presión externa y estabiliza la perla.

Esto ocurre en un tiempo de 2 - 24 hrs.; dependiendo de la densidad de la perla y del tamaño de la misma a una densidad mayor le corresponde un tiempo de reposo menor, ya que la cantidad de pentano remanente es mayor, y por tanto se requiere una difusión de aire menor.

Esto constituye la primera etapa del reposo intermedio, la segunda etapa es el intervalo de tiempo necesario para provocar la difusión del pentano hacia el exterior de la perla, esto tiene como objetivo reducir el contenido de pentano remanente en la perla, y de esa forma provocar ciclos de moldeo más cortos sin embargo si este tiempo se alarga demasiado se pueden presentar problemas de fusión en el material. Para prevenir una pérdida excesiva del nivel de pentano, es recomendable que el tiempo de reposo nos sea mayor a 24 - 48 hrs.; dependiendo de la densidad que se esté trabajando. ( se ha encontrado que hasta con 150 hrs de reposo el material funciona bien en moldeo).



ESQUEMA DE UN SILO DE REPOSO

## CAPITULO 4

### MOLDEO

#### 4.1 GENERALIDADES

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 el poliestireno expansible:

**MOLDEO POR VAPOR:** Este procedimiento es el más económico de los utilizados en la actualidad. Consiste en la introducción del material preexpandido en un molde, para luego agregar el vapor, 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 CONDUCCION 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 vaciado del molde se puede realizar en forma continua.

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

**MOLDEO CONTINUO DE 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 EXPANSIBLE:** Este método ha demostrado ser una forma práctica de procesar poliestireno expansible. 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 AUTOMATICO:** 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 serán 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 y el moldeo por inyección, pero son de menor importancia y su utilización es baja comparada con los descritos anteriormente.

#### 4.2 SECUENCIA PARA EL MOLDEO DE BLOCK

En la fabricación de blocks de poliestireno expansible, el material preexpandido es cargado y dentro del molde hasta que queda completamente lleno, y es entonces sometido a un tratamiento con vapor a temperaturas de alrededor de 100 - 120 °C.

Como resultado de esto, las perlas se expanden nuevamente, sólo que, debido a que se encuentran confinadas, la expansión provoca que se unan las perlas unas con otras, es por esta razón que la densidad de preexpansión es prácticamente la misma que la del block moldeado.

Cuando se inicia la inyección de vapor, la presión en el molde aumenta gradualmente hasta una vez alcanzada esta presión se corta el suministro de vapor y se inicia la etapa de enfriamiento, previa al desmoldeo.

Los moldes para la producción de blocks se fabrican en tamaños de 3 - 5 m<sup>3</sup>, y generalmente son de aluminio o de acero cromo-níquel. La pared del molde está provista con numerosas perforaciones para la entrada del vapor a través de las cámaras de vapor localizadas detrás de la pared del molde.

Cada cámara está provista de un drene para eliminar el condensado formado durante el precalentado.

La secuencia que se sigue normalmente para el moldeo de blocks es la siguiente:

- 1.- Precalentado
- 2.- Llenado
- 3.- Fusión
- 4.- Enfriamiento
- 5.- Desmoldeo

### **1.- PRECALENTADO**

Este se realiza con objeto de evitar mala fusión en ciertas partes del block al encontrarse frío el molde normalmente debe permitirse una temperatura superior a 40 °C en el molde, antes de llenarlo.

### **2.- LLENADO**

Existen diferentes sistemas de llenado, aunque actualmente el más usado es por medio de pistolas neumáticas. En las máquinas modernas se usan sistemas a presión y sistemas con vacío. Una operación convencional de llenado se realiza por gravedad, por medio de tolvas colocadas en la parte superior del molde.

### **3.- FUSION**

Una vez llenado el molde, se cierra y se inicia la secuencia de vapor. Se suministra generalmente en dos etapas, la primera consiste en inyectar el vapor, manteniendo los drenes abiertos, esto se realiza durante el tiempo necesario para eliminar condensados, aire y una cierta cantidad de pentano. Aquí, la fusión se lleva a cabo gradualmente del centro del block hacia las paredes.

En la segunda etapa, se cierran los drenes y se permite que la presión interna del molde se eleve hasta 5 - 18 lb/plg<sup>2</sup>; este incremento en la presión se debe a que el block, una vez soldado, impide el flujo de vapor hacia el interior del mismo, lo que provoca una elevación de presión en el interior del molde.

En la primera etapa se logra la fusión interna del block, mientras que en la segunda se proporciona el acabado exterior del block, lográndose la fusión total.

Es necesario que se tenga instalado un manoteo para poder controlar la presión final alcanzada dentro del molde.

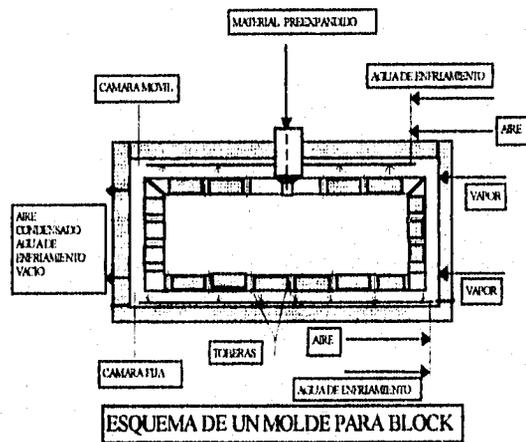
#### 4.- ENFRIAMIENTO

El enfriamiento es la etapa más larga del ciclo de moldeo, esto se debe a la propiedad de aislamiento que tiene el poliestireno expansible, que impide que el calor escape fácilmente del block. Para abatir este tiempo, puede emplearse la circulación de agua a través de las cámaras de vapor.

Algunos equipos emplean un sistema de vacío para extraer el calor del block y del molde, permitiendo así una reducción considerable en el tiempo de enfriamiento.

#### 5.- DESMOLDEO

El desmoldeo debe efectuarse una vez que la presión en el interior del molde sea 0 - 3 lb/plg<sup>2</sup> si el block se desmolda cuando la presión es mayor, sufrirá una deformación o hinchamiento. Además debe tenerse cuidado de que la temperatura del block sea tal, que no se produzca un choque térmico al ser expuesto al medio ambiente, ya que esto ocasiona colapsamiento en el block.



En la área de moldeo también se libera pentano, el cual es arrastrado por el vapor empleado para el moldeo, por lo tanto, también se debe contar con una buena ventilación en el área donde se localizan las máquinas.

Los blocks que se obtienen en el moldeo, deben ser reposados durante al menos tres días para eliminar humedad y pentano residual, ya que los blocks son cortados con alambre caliente y se podrían tener riesgos de fuego si el pentano no es eliminado del block.

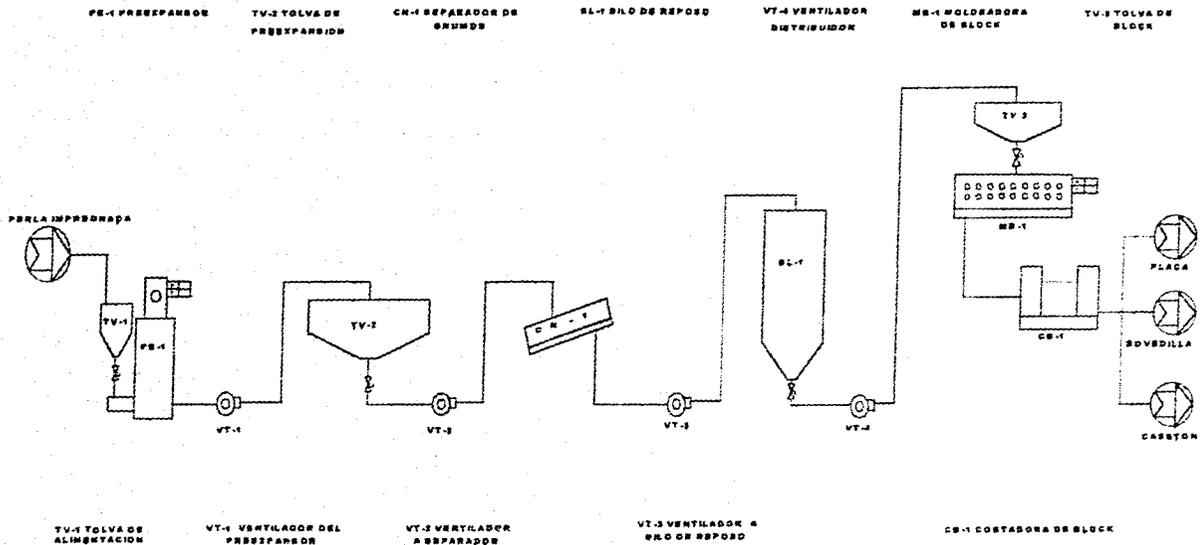
Durante la operación de corte deben observarse ciertas precauciones para minimizar riesgos asociados con la operación.

El almacén de producto terminado tanto de blocks como de cuerpos moldeados, deben contar con ventilación adecuada y evitarse cualquier fuente de ignición.

Para favorecer la eliminación de pentano y humedad es recomendable que los blocks se almacenen con una separación de al menos 30 cm. por cada cara; esto siempre y cuando se tenga la disponibilidad de espacio y se requieren tiempos de reposo menores por necesidades de producción o si la ventilación en el área de almacenamiento no es muy eficiente.

Por último como se mencionó anteriormente, las formas se obtienen por el corte del block con alambres incandescentes. Estas formas son el casetón, la bovedilla y las placas, las cuales no tiene una medida estándar, por lo cual se cortarán de acuerdo al pedido que se haga.

El proceso de preexpansión, moldeo y corte de estos productos se ilustra en la figura 7.



TV-1 TOLVA DE ALIMENTACIÓN

VT-1 VENTILADOR DEL PREEXPANSOR

VT-2 VENTILADOR A SEPARADOR

VT-3 VENTILADOR A SILÓ DE REPOSO

CE-1 COSTADORA DE BLOCK

UNAM		DISEÑO DE PLANO DE PROCESO	
FES-C		PROYECTO: [ ]	FECHA: [ ]
JUAN PÉREZ HERNÁNDEZ		[ ]	

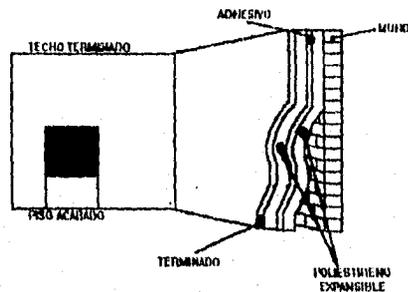
#### 4.3 APLICACIONES EN LA CONSTRUCCION

Los polímeros expandidos han venido reemplazando a los materiales tradicionales de la construcción, en donde, los que más se emplean en este campo son el poliestireno y el poliuretano.

El poliestireno expansible se utiliza por su fácil manejo, su bajo costo, su gran variedad de formas y tamaños que lo hacen muy versátil, inclusive con la producción de grado autoextinguibles hacen que éste tenga aún más ventajas en este campo.

Las diversas aplicaciones en este campo se mencionan enseguida:

A) Cuartos Refrigerados. Todos los espacios que sirvan como refrigerados se aíslan con poliestireno expansible. La forma que se utiliza en esta aplicación es en Placas. Las principales ventajas del poliestireno expansible que las hacen predominar en esta aplicación son: *estabilidad dimensional, baja transmisión de vapor y su bajo costo de instalación* (ver figura 8).

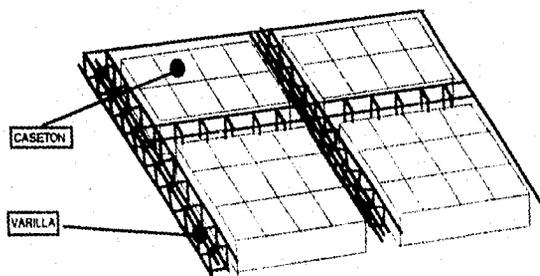


**CUARTOS REFRIGERADOS**  
figura 8

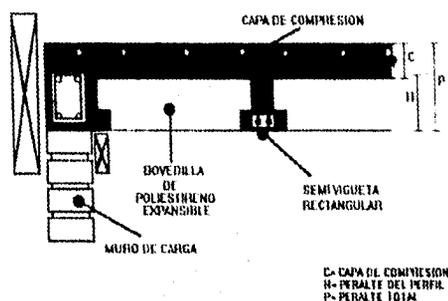
B) Equipos y Tuberías. Para todos los equipos y tuberías que trabajan a bajas temperaturas es importante evitar las ganancias innecesarias de calor. La forma de poliestireno expansible es en placas. El bajo coeficiente de conductividad térmica que

tiene el poliestireno expansible proporcionan en esta aplicación las siguientes ventajas: uniformidad de temperaturas en el proceso, menores costos de operación, Optima inversión en equipos y seguridad para el personal.<sup>(7)</sup>

C)Aligeramiento de losas. El poliestireno expansible sustituye a los pesados materiales aligerantes usados en los sistemas reticulares (figura 9) y de nervaduras (figura 10), proporcionando una verdadera ligereza a la estructura y añadiendo aislamientos térmicos y acústicos, importantes objetivos concebidos en toda Construcción. Las formas de poliestireno expansible para sistemas reticulares son los casetones y para sistemas nervados, las bovedillas. Las principales ventajas de esta aplicación son: por su ligereza significa una considerable disminución del peso total de la estructura, mayores claros entre columnas con una misma área de acero y disminución en los costos de cimentación, se puede cortar y perforar con facilidad, sin necesidad de herramientas especiales, reduce costos de mano de obra, por manejo y colocación, no hay mermas por rotura, mejor control de temperatura en el fraguado del concreto, no absorbe humedad, con buena adherencia a los acabados tradicionales.



**SISTEMA RETICULAR**  
figura 9



**SISTEMA DE NERVADURAS**  
figura 10

D)Plafones. La mayoría de los plafones falsos de bajo costo son en la actualidad de poliestireno expansible, los cuales son distinguidos por su excelente luminosidad y propiedades acústicas que contribuyen a la disminución del ruido. Las formas de poliestireno expansible para esta aplicación son las placas. Las ventajas que predominan en la aplicación son: facilidad de instalación, excelente reflectividad lumínica, variedad decorativa en recubierto y calados con diferentes figuras. (7)

## CAPITULO 5 PROPIEDADES

### 5.1 GENERALIDADES

Las propiedades más importantes del poliestireno expansible son:

La densidad y la estructura celular. De estas dos propiedades dependen otras propiedades finales, como son las propiedades térmicas y las propiedades mecánicas.

#### DENSIDAD

Esta propiedad es la más importante de los polímeros expandidos. El objetivo es producir polímeros con la menor densidad posible y ésta se obtiene en las etapas de preexpansión y expansión de los polímeros 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 los polímeros expandidos. Cuando el polímero expandido 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 del polímero expandido. La estructura celular no es otra cosa que la forma en que quedan distribuidas las cadenas del polímero después de la expansión del mismo.

Las estructuras celulares o celdas del polímero 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 polímero expandido de muy buenas características aislantes ya que las propiedades de impedir la transferencia de calor se incrementa al tener una barrera de aire uniforme.

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

#### **PROPIEDADES MECANICAS**

La compresión natural del poliestireno expansible, tanto estática como dinámica, es el mejor significado de una de sus propiedades mecánicas. Otras propiedades son la resistencia a la compresión, a la tensión, a corte y a la flexión.

La resistencia a la compresión es usualmente reportada como alguna deformación definitiva (10%). El modulo de la compresión es extrapolado a una deformación de 0% a menos que por otro lado se establezca. La densidad y la estructura de la celda influyen en las propiedades de compresión.

En realidad la estructura de la celda del poliestireno expansible es controlada en algunos casos para optimizar ciertas propiedades físicas del poliestireno.

En la resistencia a la tensión, las bajas densidades se aproximan a una relación lineal con la densidad, y esta relación aumenta a densidades altas. Por otra parte la elongación del poliestireno expansible tiene una relación con la estructura de la celda.

En la resistencia del corte, se ha descubierto una relación que predice al aumento lineal en la energía de corte con la densidad y se aumenta dicha energía con el tamaño de la celda.

La resistencia y el modulo de flexión se incrementan con densidades altas.

Las propiedades mecánicas del poliestireno expansible a diferentes densidades son mencionadas a continuación: <sup>(16)</sup>

PROPIEDADES MECANICAS	UNIDAD	DENSIDADES		
		12 Kg/m <sup>3</sup>	17 Kg/m <sup>3</sup>	25 Kg/m <sup>3</sup>
Temperatura Maxima de Trabajo				
Bajo carga (500 Kg/m <sup>2</sup> )	°C	85	85	85
Temperatura Minima de Trabajo	°C	-150	-150	-150
Resistencia a la Compresión	Kg/cm <sup>2</sup>	0.6 - 1.1	0.8 - 1.4	1.1 - 1.8
Resistencia a la Tensión	Kg/cm <sup>2</sup>	2.0	2.5	3.2
Resistencia a Corte	Kg/cm <sup>2</sup>	4.5 - 5.5	5.5 - 7.0	7.5 - 9.0
Resistencia a la Flexión	Kg/cm <sup>2</sup>	1.5 - 2.4	1.9 - 3.0	2.5 - 3.0

#### PROPIEDADES TERMICAS

Estas propiedades térmicas son la característica principal del poliestireno expansible, la cual es representada por la conductividad térmica.

El valor del coeficiente de conductividad térmica es determinado por la densidad, y las pequeñas variaciones de estas resultan de los cambios en la estructura.

La mayor aplicación del poliestireno expansible es como aislante térmico, esto es debido a las múltiples celdas que actúan como cámaras de aire independiente que van reduciendo el paso de calor, permitiendo conservar los materiales fríos o calientes por largo tiempo. El aire contenido en las celdas es pésimo conductor de calor, aunado a la escasa conductividad térmica del material básico hace de éste un excelente aislador térmico.

La conductividad térmica del poliestireno expandido a diferentes densidades son mencionadas a continuación: <sup>(16)</sup>

---

Densidad Kg/m <sup>3</sup>	Coefficiente de conductividad térmica a 0 °C ( Kcal / m h °C)
12	0.038
17	0.031
25	0.027

## 5.2 RELACION ENTRE LAS PROPIEDADES

El atractivo de los polímeros expandidos, 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 polímero, que conocemos es de cerca del 2 % del volumen.

Propiedades mecánicas vs. densidad. Todas las propiedades mecánicas varían en forma directamente proporcional a la densidad, sin embargo se sabe que los polímeros expandidos producidos por extrusión presentan mejores propiedades que las producidas por expansión, sólo en esfuerzo a la flexión tienen valores equiparables. Por lo que hace a las demás propiedades sólo 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 expandido, 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 del polímero expandido, y como para ésta no hay requerimientos especiales de propiedades mecánicas, todos los polímeros expandidos tienen un punto en la densidad donde las propiedades térmicas se alcanzan fácilmente.

Para algunas de las aplicaciones del poliestireno, 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 del polímero expandido.

## CAPITULO 6

## PROBLEMAS TIPICOS Y SUS SOLUCIONES

En este capítulo se dará la solución a ciertos problemas que afectan a la calidad del producto, estos problemas se indican en cada etapa del proceso:

## ETAPA DE POLIMERIZACION

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCION
Disminución de tamaño de partícula.	*Aumento de velocidad de agitación.	*Reducir la velocidad de agitación.
	*Baja proporción de monómero a fase acuosa.	*Aumentar la proporción de monómero a fase acuosa.
	*Alta cantidad de agente dispersante.	*Disminuir la cantidad de agente dispersante.
Aumento de tamaño de partícula.	*Disminución de velocidad de agitación.	*Incrementar la velocidad de agitación.
	*Alta proporción de monómero a fase acuosa.	*Reducir la proporción de monómero a fase acuosa.
	*Baja cantidad de agente dispersante.	*Aumentar la cantidad de agente dispersante.
Aglomeración de perlas	*Aumento excesivo de proporción de monómero a fase acuosa.	*Reducir la proporción de monómero a fase acuosa.
	*Disminución excesiva de velocidad de agitación.	*Regular la velocidad de agitación.

## ETAPA DE IMPREGNACION

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCION
Disminución del porcentaje de pentano.	*Baja cantidad de pentano agregado. *Temperatura del reactor baja.	*Se dará para que el lote que salió en estas condiciones se vuelva a impregnar, agregando la cantidad necesaria de pentano para obtener el porcentaje requerido, en cuanto a la temperatura, ésta debe aumentarse mediante un incremento de vapor a la chaqueta para llevarla al valor requerido
Cristalización o aglomeración de perla	*Excesiva cantidad de pentano *Temperatura es mayor	*Se dará para los siguientes lotes, Al agregar el pentano se deberá verificar que la cantidad no sobrepase por mucho la estipulada y con respecto a la temperatura, tomar medidas preventivas al ver un aumento anormal de temperatura mediante la entrada de agua de enfriamiento a la chaqueta hasta que se controle la temperatura.

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCION
Aumento del porcentaje de retenido de perla gruesa y fina	*Mala selección de malla para la separación de este tipo de perla *Malas condiciones de ésta	*Revisar que la malla corresponda y que esté en buenas condiciones.

ETAPA DE PREEXPANSION

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCION
Generación de grumos	*Muy baja velocidad de Preexpansión. *Presión de vapor muy alta. *Sobrecalentamiento local en el preexpansor.	*Incrementar velocidad de Preexpansión. *Reducir presión de vapor. *Checar la distribución de vapor.
Encongimiento de las perlas preexpandidas	*Presión alta de vapor. *Densidad muy baja de Preexpansión.	*Reducir presión de vapor o usar mezcla con aire. *Reducir presión de vapor. *Preexpander a densidad más alta. *Usar un tamaño de perla más grande.

---

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCION
Densidad alta	*Temperatura baja de vapor. *Velocidad alta de salida del material. *Material almacenado por más de tres meses. *Exceso de condensados.	*Aumentar la presión de vapor. *Reducir la velocidad de alimentación de materia prima. *Probar con material de producción más reciente. *Revisar las trampas y separador de condensados.
Preexpandido muy húmedo	*Vapor húmedo. *Condensación excesiva en el preexpansor.	*Revisar las trampas de vapor y los drenes de la línea. *Aislar correctamente la tubería. *Aislar el preexpansor.

## ETAPA DE TRANSPORTE

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCION
La densidad se incrementa durante el transporte	*Velocidad excesiva de el transporte.	*Reducir la velocidad de transporte.
preexpansor al silo	*Preexpandido con densidad muy baja.	*Preexpandir a una densidad más alta.
	*La perla se transporta a través de las aspas del ventilador.	*No transportar la perla a través de las aspas del ventilador, sino con aire
	*Los codos están muy caliente.	
	cerrados en la tubería de transporte.	
Obstrucción en líneas de transporte	*El exceso de grumos. *Diámetro muy pequeño de la tubería. *Material húmedo. *Exceso de estática.	*Colocar una malla y pasar el material a través de ella para eliminar los grumos. *Aumentar el diámetro de los tubos y/o la velocidad de aire. *Revisar sistema de drenados de condensados. *Revisar líneas a tierra.

ETAPA DE MOLDEO

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCION
Block mal fundido por dentro y por fuera bien	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Presión muy alta de vapor con dren cerrado.</li> <li>*El tiempo de reposo largo.</li> <li>*El tiempo corto de vapor cruzado.</li> <li>*La presión del vapor baja.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Disminuir la presión de vapor.</li> <li>*Disminuir el tiempo de reposo.</li> <li>*Aumentar tiempos de vapor con drenes abiertos.</li> <li>*Aumentar la presión de vapor.</li> </ul>
Block mal fundido que no alcanza la presión de expansión o se pierde rápidamente	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Densidad muy baja.</li> <li>*Demasiado material recuperado.</li> <li>*Reposo intermedio muy largo.</li> <li>*Vapor muy húmedo.</li> <li>*Poco Vapor disponible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Aumentar densidad.</li> <li>*Reducir el contenido de recuperado.</li> <li>*Reducir el tiempo de reposo.</li> <li>*Revisar el aislamiento de tuberías y sistema de eliminación de condensados.</li> <li>*El vapor está siendo consumido por otros equipos.</li> <li>*Instalar un acumulador de vapor.</li> </ul>
Encogimiento del block, sólo en algunas partes	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Llenado incompleto.</li> <li>*Tiempo de reposo insuficiente.</li> <li>*Mala distribución de vapor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Aumentar tiempo de llenado.</li> <li>*Incrementar tiempo de reposo.</li> <li>*Asegurar una buena distribución del vapor y/o agua</li> </ul>

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCION
Encogimiento del block, sólo en algunas partes	*Llenado incompleto.	*Aumentar tiempo de llenado.
	*Tiempo de reposo insuficiente.	*Incrementar tiempo de reposo,
	*Mala distribución de vapor y/o enfriamiento.	*Asegurar una buena distribución del vapor y/o agua de enfriamiento.
	*Tiempo de inyección de vapor muy largo o con alta presión.	*Revisar las toberas. *Reducir el tiempo y/o la presión de vapor.
Esquinas o bordes con mala fusión	*Llenado incompleto.	
	*Tiempo insuficiente de vapor con drenes cerrados.	*Incrementar tiempo de llenado.
	*Potencial de expansión bajo.	*Aumentar el tiempo de vapor con drenes cerrados.
	*Fugas excesivas de vapor.	*Material almacenado durante un periodo largo de tiempo. *Eliminar fugas de vapor.
Lados del block que se hundén después del desmoldeo	*Enfriamiento insuficiente.	*Checar los sellos del molde
	*Reposo intermedio corto.	*Aumentar tiempo de enfriamiento.
	*Presión y/o tiempo de vapor alto.	*Alargar tiempo de reposo.
	*Material agotado en la preexpansión.	*Reducir presión y/o tiempo de vapor. *Modificar condiciones de Preexpansión.
	*Vapor húmedo.	

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCION
Blocks muy pesados y húmedos	*Vapor húmedo.	*Checar trampas de vapor y condiciones de preexpansión.
	*Preexpandido húmedo. *Purga insuficiente de condensados.	*Incrementar los tiempos de purga haciendo más larga la etapa de inyección de vapor con drenes abiertos.
Blocks distorsionados	*Densidad alta.	*Preexpandir con una densidad más baja.
Blocks hinchados o agrietados	*Corrientes de aire frío.	*Eliminar corrientes de aire o reubicar los blocks recién moldeados.
	*Presión excesiva de vapor.	*Reducir presión de vapor.
	*Presión interna del block muy alta al abrir el molde.	*Aumentar tiempo de enfriamiento o espera antes del desmoldeo.
	*Tiempo y/o presión de vapor más largo con dren cerrado.	*Aumentar presión y tiempo en el vapor, con dren abierto.

En muchos de los casos las empresas que se dedican a la producción de este material, evitan la polimerización debido al alto costo y problemas que suceden en torno de ésta, por lo cual adquieren el producto de industrias que lo elaboran. De esta forma su proceso se limita a impregnar, preexpandir, moldear y cortar el poliestireno. Estableciendo así, como el problema más importante, la desviación de la distribución de tamaños de partículas con respecto a las especificaciones del producto impregnado.

Dicho problema altera la calidad en el producto final, dando con ello una disminución o aumento de la densidad del material. Por lo tanto, para solucionar este problema, recordaremos que la perla después de ser impregnada pasa al tanque de neutralización para agregarle HCl, que servirá para eliminar las impurezas y a su vez se lavará con agua. Enseguida se enviará al secador para eliminar la mayor parte de agua, para luego pasarla a un ciclón donde terminará de secar la perla y la enviará al separador (criba) para la selección de la perla requerida.

Para realizar dicha clasificación se necesitará un separador vibratorio circular, es un equipo de cribado que opera a base de un movimiento tridimensional de vibración, producido por la acción de los contrapesos excéntricos en las extensiones de la flecha del generador de movimiento. Al girar, el contrapeso superior produce vibración en el plano horizontal, obligando al material a moverse sobre la malla hacia la periferia. El contrapeso inferior tiende a inclinar al separador causando vibración en los planos vertical y tangencial. El ángulo de avance del contrapeso inferior en relación al superior permite al operador controlar el movimiento del material sobre la malla dependiendo de las características del producto. Por otro lado, las mallas son parte esencial debido a que si utilizamos las correctas, obtendremos el material con el porcentaje de retenido requerido, se mencionarán las mallas existentes para la separación del producto seleccionado.

malla U.S. standard	Abertura de la malla mm
6	3.3
8	2.4
10	2.01
12	1.7
14	1.6
16	1.2
18	0.97

---

20	0.8
24	0.7
30	0.6

Mediante la selección de las mallas se realizará el arreglo para poder disminuir la desviación de la distribución y así obtener una mejor calidad de nuestro producto.

Enseguida se darán las especificaciones del porciento de retenido para el producto que se utilizará en la construcción.

malla	% de retenido
10	0
14	99
16	99
18	99
20	99
Base	1

Como se observa el porcentaje de retenido de las mallas 14 a la 20 debe ser de 99%, es decir, que la suma de los retenidos de la malla debe ser de 99%. En este caso, las perlas que se retengan en la base serán de perla fina. Por otra parte, se destina un mayor porcentaje en la malla 14 y 16, para obtener mejor resultados en las características finales del producto.

La mala distribución del tamaño de partícula es causada por que al recibir el producto inicial no se tiene especificaciones en el porcentaje de retenido de mallas, esto será para asegurar un porcentaje de retenido deseado después de ser impregnado. Por lo tanto, la soluciones serían las siguientes:

- 1.- Establecer las especificaciones de recepción del poliestireno, las cuales deben ser las fundamentales para la buena elaboración de éste, para ello se tendra que realizar un análisis granulométrico por medio de una criba a escala con mallas parecidas que se utilizan en el proceso. De este modo, se asegurará que los porcentajes de retenido en mallas 14 y 16 sean mayor, dando así una disminución en la desviación y en la merma.

2.- De acuerdo a las especificaciones antes establecidas, realizaremos el arreglo siguiente:

El arreglo se compone de dos mallas, las cuales serán para separar la perla gruesa y fina. en la primera malla se utilizará la número 10 y en la segunda la malla número 24, debido a que aseguramos al principio los porcentajes de retenido de las mallas intermedias, entonces realizaremos la separación de la perla fina y gruesa. Se utiliza la malla 24 debido a que las especificaciones de la perla impregnada tenemos el 1 % en Base.

Con estas medidas aseguramos la calidad de nuestro producto, solucionando así el problema de la distribución.

## CAPITULO 7

### EL POLIESTIRENO EXPANSIBLE Y EL MEDIO AMBIENTE.

#### 7.1 GENERALIDADES

El poliestireno expansible es un material plástico ligero y esponjoso, compuesto principalmente de átomos de carbono y hidrógeno. Es un producto derivado del petróleo y de los subproductos del gas natural.

El poliestireno expansible contiene en concentraciones del 5 -7 % un hidrocarburo volátil (pentano), el cual se elimina durante el procesamiento del poliestireno expansible en las etapas de preexpansión, reposo intermedio y moldeo. Por esta razón, los desechos de poliestireno expansible se consideran compuestos orgánicos formados únicamente por carbono e hidrógeno.

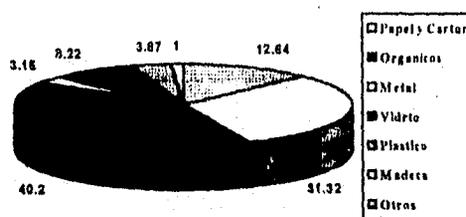
Normalmente se piensa que el uso de los plásticos es causa directa de que los desechos se vean incrementados; sin embargo, si se tuvieran que sustituir éstos por cartón corrugados, papel o madera, el volumen de desperdicio se incrementaría un 67% aproximadamente, además de un incremento en la energía empleada en la transformación de casi el doble.

Dentro del grupo de los desechos plásticos, el poliestireno expansible tiene algunas ventajas tales como que es fácilmente identificable, lo que hace más fácil su recolección, y además las posibilidades de reciclado son altas y variadas.

De acuerdo con datos proporcionados por la ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Los norteamericanos generaron 160 millones de toneladas de desperdicios municipales sólidos en 1987. El total de desperdicio en productos de poliestireno expansible fue de 81000 toneladas, esto es, un 0.06% del total de desechos. En

contraste, la cantidad de desperdicio por el papel periódico, fue de 11.4% de acuerdo a estudios hechos por la Universidad de Arizona.

En México los productos plásticos representan solo el 3.87% en peso del total de la basura, en contraste, el papel y cartón representan el 31.32% de los desechos. El poliestireno expansible representa el 0.03 en peso del total de basura generada en México. Los materiales que podrían sustituir pesan 3 o 4 veces más sin las mismas propiedades aislantes. <sup>(10)</sup>



COMPOSICION PORCENTUAL DE DESECHOS SOLIDOS

## 7.2 RECICLADO DEL POLIESTIRENO EXPANSIBLE.

El reciclado de poliestireno expansible es una práctica que se ha llevado comúnmente en las plantas transformadoras; y consiste en moler o cubicar los sobrantes del corte o de las piezas defectuosas, e incorporarlos a los blocks, para después cortarlo en forma de casetones, bovedillas y cualquier otra aplicación para la construcción.

Algunas plantas que se dedican a la fabricación de blocks exclusivamente, adquieren el desperdicio de poliestireno expansible a un bajo costo, y posteriormente lo integran al block, obteniendo con esto un rendimiento mayor al que obtendrían si emplearán material virgen únicamente. Las piezas que se generan con estos blocks de

material reciclado, se destinan en mayor proporción a la industria de la construcción, y en menor cantidad, para la fabricación de empaques industriales y comerciales.

Otra forma de reciclar el poliestireno expansible es mediante la conversión a poliestireno, por fusión, esto es posible ya que el poliestireno expansible es un termoplástico y puede fundirse fácilmente sin alterar sus características. Este proceso se efectúa normalmente en un extrusor, en el que el material es calentado por arriba de su punto de fusión. el material reciclado puede ser usado en proceso de inyección o extrusión, para la elaboración de otros artículos plásticos.

### **7.3 DISPOSICION DE DESECHOS.**

Existen principalmente dos formas efectivas para la disposición de los residuos de poliestireno expansible. Cuando el reciclado no resulta posible económicamente:

Mediante la incineración del poliestireno expansible en plantas productoras de energía.

El poliestireno expansible es usado ampliamente en este tipo de plantas debido a su gran contenido calorífico de aproximadamente 17800 Btu/lb; además de que al ser compuesto formado principalmente por carbono e hidrógeno, los productos de la combustión son CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y cenizas. La alta energía liberada en combustión es aprovechada para producir vapor y electricidad.

#### **7.3.1 RELLENOS SANITARIOS**

Cuando las posibilidades de reciclar o incinerar un material no son factibles, los desechos de poliestireno expansible pueden disponerse en rellenos sanitarios. Ya que es un material que no se degrada, ni reacciona químicamente con otros compuestos en ocasiones se usa el poliestireno expansible para relleno en sistema de drenaje.

El poliestireno expansible no desprende vapores de ningún tipo ni contamina el área donde es depositado. El uso de poliestireno expansible en rellenos sanitarios, en basureros o tiraderos, conduce a una buena ventilación, acelerando la degradación de otras sustancias orgánicas y disminuyendo el riesgo de incendios pequeños y acumulación de vapores molestos.

El poliestireno expansible es fácilmente identificable en los depósitos de basura, además, para ayudar a separarlo de otros compuestos reciclables, lleva impreso en muchas de las piezas el código desarrollado por la sociedad de la industria de plásticos(SPI por sus siglas en inglés), el cual consiste en un triángulo formado por tres flechas, con un número en el centro y las siglas que distinguen el tipo de producto debajo del triángulo, en la tabla siguiente se muestra el código de la SPI. Al poliestireno le corresponde el número 6 y las letras PS.

- 1.- PETE(Polietilén tereftalato)
- 2.- HDPE(Polietileno alta densidad)
- 3.- V(Vinil)
- 4.- LDPE (Polietileno Baja Densidad)
- 5.- PP (Polipropileno)
- 6.- PS (Poliestireno)
- 7.- Otro

**CAPITULO 8****MERCADO****8.1 PANORAMA DEL POLIESTIRENO EXPANSIBLE EN EL MERCADO.**

El crecimiento del mercado de poliestireno expansible en el mundo occidental fue en los últimos cinco años del 6.5% anual aproximadamente. El consumo total ascendió en 1995 a 2,110 toneladas (figura 11). Sin embargo, el crecimiento del mercado fue muy dispar contemplado regionalmente. Así por ejemplo, los países altamente industrializados de Europa Occidental y de América del Norte sólo registraron un crecimiento moderado, mientras que en le lejano Oriente se obtuvieron tasas de crecimiento superiores a la media. <sup>(3)</sup>

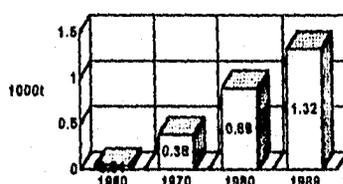
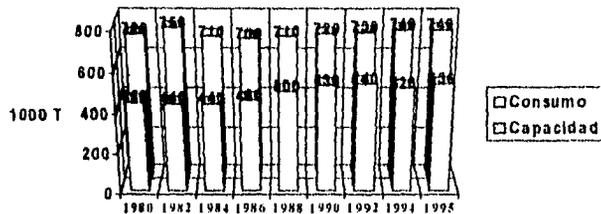
**CONSUMOS EN EL MUNDO OCCIDENTAL**

figura 11

La desproporción entre las capacidades de Europa Occidental se hallan un 30% por encima del consumo en este ámbito (figura 12). Los suministradores de las materias primas son en la mayoría de los casos empresas químicas grandes, que disponen de productos previos propios, como estireno, procedente de su consorcio. Siete empresas abastecen aquí el 90% del mercado. <sup>(3)</sup>

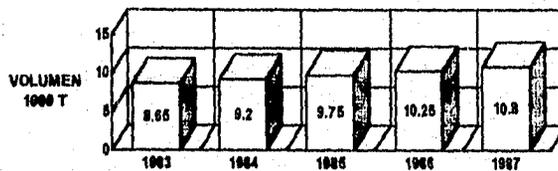


**CAPACIDADES Y CONSUMOS EN EUROPA**  
figura 12

A continuación se presenta una semblanza del mercado del poliestireno expansible en México, de acuerdo a 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 ido variando en un 5.8% en promedio en la década de los ochentas, mientras que en la época de los noventas el crecimiento se incrementaba al 7% en 1992, pero al llegar a 1994 hubo un decremento significativo (debido a la situación en el país) en este período se tuvo el 5 % en promedio, tal y como se observa en la figura 13. (3)

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 DEL MERCADO NACIONAL**  
Figura 13

## 8.2 SITUACION DE LOS CUERPOS MOLDEABLES

La paralización de diversas obras en el país propició que el sector de la construcción tuviera una caída de 47.7 % real en el valor de su producción durante el período enero-noviembre de 1995; con ello, en seis estados de la república se agudizaron los cierres de la empresa.<sup>(8)</sup>

En tal situación se encontraron Aguascalientes, Baja California, Durango, Nayarit, Tabasco y Zacatecas, con quiebras que fluctúan entre 11 y 17 % del total de constructoras registradas.

Debido ha esto el consumo total del poliestireno expansible fué de 6,840 toneladas.

De acuerdo con un estudio realizado por el área de Análisis Económico de EL FINANCIERO, con base en datos del Instituto de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y de la Camara Nacional de la Industria del Construcción (CNIC), problemas como la falta de trabajo, restricciones crediticias y el retraso en los pagos de las obras constituyó un problema generalizado que afectó tanto a las pequeñas como a las grandes empresas.

Las empresas pequeñas( que conforman 89 por ciento del total de constructoras) son las más afectadas con la problemática y otros factores como la competencia desleal y la carestía de insumos.

Por otra parte, el ajuste de las estimaciones del costo de las obras que se autorizó a las empresas se realizó con base en los índices de precios oficiales, que coincidieron con los incrementos observados en el mercado, lo cual afectó a la rentabilidad.

Los precios mas representativos de los materiales de construcción han aumentado por arriba del índice general de precios al consumidor.

En el sentido, de diciembre de 1994 al presente mes la cotización de los materiales de construcción se incrementaron en un 85 por ciento en promedio.

### 8.3 PROYECCION A FUTURO

Dadas las circunstancias actuales, en el primer semestre de 1996, la recuperación de este sector se verá obstaculizada, para lo cual se prevee en el segundo semestre de 1996 un incremento en el mercado de acuerdo a las siguientes consideraciones:

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 polimeros expandidos, tanto en las losas prefabricadas como el colado de losas con agentes aligerantes, así como los aislantes en plafones y paredes, todos estos demandan, poliestireno expansible 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.

Los nuevos productos desarrollados tienen un impacto positivo en el volumen del mercado, probablemente no sea significativo en una primera instancia, pero dará una situación de mucho valor, cuando dichos productos maduren y penetren las líneas normales de producción.

Por todo lo anterior se estima que el mercado del poliestireno expansible puede tener pequeños incrementos anuales en sus volúmenes. Por otro lado, 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. En este renglón, la exportación puede tener un auge significativo para el mercado. En este caso, se espera que a mediano plazo se aumente la capacidad instalada de exportación.

## CONCLUSIONES

Se han descrito las etapas que integran el proceso de fabricación del poliestireno expansible y los problemas que se presentan en su elaboración.

La mala distribución del tamaño repercute en las características finales del producto afectando su calidad y costo.

La falta de especificaciones del material sin impregnar y la mala selección de mallas para la separación de la perla impregnada ocasionan la mala distribución del tamaño de partícula.

La mayoría de los problemas que suceden en las diferentes etapas del proceso son causadas por la falta de atención o habilidad y conocimiento de parte de los operadores en el proceso.

Para superar los problemas expuestos se proponen las soluciones que al autor de este trabajo le han sido útiles por la experiencia obtenida durante la elaboración del poliestireno expansible:

- Se deben establecer especificaciones del material a recibir, para poder predecir el comportamiento en el retenido del tamaño de partícula, que serán medidas de acuerdo al número de malla en que se retenga.
- Se deben seleccionar correctamente las mallas para separar las perlas no deseadas en el proceso, es decir, la separación de perlas gruesas y finas del producto requerido.

## Conclusiones

---

- El personal de control de calidad debe de supervisar periódicamente las condiciones del proceso, para poder controlar este tipo de situaciones.
- Para mejorar los niveles de productividad y reducir los costos de operación para tener oportunidad de competir con materiales de mejor calidad, se debe de capacitar a los operadores y actualizar al personal de investigación.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Austin, George T., *Manual de Procesos Químicos en la Industria*, Mc. Graw Hill, México, D.F., 1988.
- 2.- Bajjal, Mahendra D., *Plastics Polymer Science and Technology*, Wiley & Sons, Inc., New York, 1972.
- 3.- Banco Nacional de Comercio Exterior, S. N. C., Departamento de Banca de Desarrollo, *Datos Estadísticos del mercado del poliestireno expansible en México*, 1980-1995.
- 4.- Billmeyer, F., *Textbook of Polymer Science*, Wiley & Sons, Inc., New York, 1984.
- 5.- Calvin, J., *Principles of Foam Formation*, Wiley & Sons, Inc., New York, 1969.
- 6.- Casillas, N. , López-Carrillo, P. , Mendizábal, E. , González-Romero , V. M. , *Estudio experimental de la polimerización en suspensión del estireno*, *Tiempos de Ciencia*, 12, Julio- Septiembre, (1988).
- 7.- *Catálogo de la Información Técnica para la Construcción*, Información Técnica S.A., México, D.F., 1990.
- 8.- Cortes, Claudio, Colín, Marvella, *Derrumbe de 47.7% en la industria de la Construcción durante enero-noviembre de 1995*, *El financiero*, 3A, 26 de enero de 1996.

Bibliografía

---

- 9.- Deffis C., Armando, *La Casa Ecológica Autosuficiente*, Concepto, S. A., México, D.F., 1989.
- 10.- Departamento del D. F., Departamento de Desecho de Sólidos, *Datos Estadísticos para la Ciudad de México*, 1991.
- 11.- Driver, Walter E., *Química y Tecnología de los Plásticos*, Lengua Española 1982, México, D.F., 1989.
- 12.- Dyson, D.W., *Engineering Polymers*, Blackie & Son Ltd., London, 1990.
- 13.- Frisch, Kurt C., Saunders, James H., *Plastic Foams "Part II"*, Marcel Dekker Inc., New York, 1973.
- 14.- Henglein, F. A., *Tecnología Química "Química Técnica Especial"*, Urmo, S. A., Bilbao, 1977.
- 15.- Mark, Herman F., Bikales, Norbert M., *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering Vol. 3*, Board, Montreal, 1985.
- 16.- Morrison, Robert T., Boyd, Robert N., *Química Orgánica*, Fondo Educativo Interamericano, S. A., E. U. A., 1976.
- 17.- Othmer, R. Kirk, *Encyclopedia of Chemical Technology*, Wiley & Sons, Inc., New York, 1983.
- 18.- Perry, Robert H., Chilton, Cecil H., *Manual del Ingeniero Químico*, Mc. Graw Hill, México, 1982.
- 19.- Platzer, N. A. J., *Plasticization and Plasticizer Process*, America Chemical Society, Washington, 1975

- 20.- Reithues, M., *Poliestireno expansible (EPS)*, Plásticos Universales, 10, Julio-Agosto, 65-67,(1991)
- 21.- Rodriguez, Ferdinand, *Principios de Sistema de Polimeros*, El Manual Moderno, S.A. de C.V., México, D.F., 1984.
- 22.- Saechtling, Hansjürgen, *Los Plásticos en la Construcción*, Gustavo Gili, S. A., Barcelona, 1978.
- 23.- Schwartz, Seymour S., Goodman, Sidney H., *Plastics Materials and Process*, Van Nostrand Reinhol Company, New York, 1982.
- 24.- Ureta Barrón, Ernesto, *Polimeros*, ANUIES, Edicol S.A., México, D:F., 1975.
- 25.- Uribe Velasco, Miguel, *Los Polimeros " Sintesis y caracterización "*, Limusa, México, D.F., 1990.
- 26.- Wingrove, Alan S., Caret, Robert L., *Química Orgánica*, Harla S. A. de C. V., México, D.F., 1984.