

118  
29.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

"ANALISIS DE ADITIVOS EN ESPUMAS  
DE POLIOLEFINAS"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERA QUIMICA,  
P R E S E N T A  
ANA LILIA NIÑO CHICHO



MEXICO, D. F.



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

1998.

263850

TESIS CON  
FALLA DE ORICEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## **JURADO ASIGNADO**

**PRESIDENTE:** Prof. FLORES RAMÍREZ HELIO  
**VOCAL:** Prof. PALACIOS ALQUISIRA JOAQUÍN  
**SECRETARIO:** Prof. RIUS ALONSO CARLOS  
**1er. SUPLENTE** Prof. GUZMÁN DE LAS CASAS CARLOS  
**2o. SUPLENTE** Prof. URESTI MALDONADO MARCO ANTONIO

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

LABORATORIO 204; DIVISIÓN DE POSGRADO DEL DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ORGÁNICA, FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM.

## **ASESOR DE TESIS**



~~Dr. CARLOS RIUS ALONSO~~

## **SUSTENTANTE**



ANA LILIA NIÑO CHICHO

*A mi Padre Celestial. A ti padre querido por estar a mi lado durante toda mi vida apoyandome, ayudandome, cuidandome. Por llevarme en tus brazos durante los momentos de pesar y caminar a mi lado en mis alegrías.*

*A mis padres, porque gracias a ellos he llegado a ser la persona que soy, por sus enseñanzas, por su paciencia, apoyo y comprensión durante este largo camino, porque este triunfo es tan suyo como mío al haber sacrificado tanto para lograr ver coronados todos sus esfuerzos ¡GRACIAS!*

*A mis hermanos, Raúl, Andrei y Tania por su alegría por la vida, por ser personas con un gran temple y han hecho frente a las adversidades manteniendo unida a nuestra familia a ustedes ofrezco este trabajo como una muestra de que se pueden llegar a realizar los sueños por imposibles que parezcan.*

*Al Dr. Carlos Rius Alonso, por ser una persona extraordinaria, a quien admiro y considero un ejemplo a seguir fielmente. Por haber aceptado ser mi asesor en este trabajo y que gracias a sus conocimientos he logrado seguir adelante  
¡MUCHAS GRACIAS!*

*A David por enseñarme que se pueden llegar a cumplir los sueños por imposibles que parezcan, siendo tenaz y no dejándose vencer por las adversidades, por su apoyo durante la realización de esta tesis, por ser la persona más especial en mi vida  
¡GRACIAS!*

*A Sonia, por ser mi mejor amiga a quien considero mi hermana. Por todos los momentos buenos y malos que pasamos juntas durante toda la carrera, por ser mi apoyo durante los momentos difíciles y brindarme una palabra de apoyo.*

*A Luis Silva Arriaga, por que llegó a ser un gran amigo, porque solo con su presencia y su ejemplo, me enseñó que pase lo que pase, la vida es muy hermosa y hay que seguir adelante. A pesar de convivir poco tiempo y seguir por caminos diferentes compartimos un sueño en comun "llegar a ser felices".  
¡Gracias amigo mío!*

***Al departamento de Química Orgánica y al laboratorio 204 por haberme brindado un lugar, que más que eso fué un hogar para mi.***

***A todos mis amigos de generación por brindarme su amistad y los momentos inolvidables que compartimos juntos.***

***Al señor Eduardo del laboratorio 4-E de la Facultad de Química por brindarme su valiosa amistad y por ayudarme en todo lo que necesité en cuestión de material de laboratorio.***

***A las maestras Chela y Maricela del departamento de espectroscopía de infrarrojo por su apoyo en la realización de los espectros.***

***A las maestras Alejandrina e Irene del departamento de espectroscopía de resonancia magnética nuclear por su apoyo en la realización de los espectros.***

***A la maestra Martha Yolanda por su amistad desinteresada, por sus consejos y enseñanzas que me brindó durante mi estancia en el laboratorio.***

***A la señora Josefina Betancourt, por su apoyo al proporcionarme todos los disolventes necesarios para mi tesis y por su amistad.***

***Agradezco al Ingeniero Alfredo Maciel Cerda su amistad incondicional y todo su apoyo en la realización de las pruebas mecánicas en el Instituto de Materiales.***

***Al Ingeniero Ernesto Sanchez por brindarme su amistad y apoyo en la realización de la prueba de capacidad calorífica del Instituto de Materiales.***

***Al señor Eduardo Antonio Caballero fotografo del Instituto de Materiales por su apoyo en la realización de las fotografías.***

***A todo el personal de ESPUMADOS ABSA S.A DE C.V por brindarme el apoyo necesario para la realización de esta tesis.***

***A la señora María del Carmen Abuin por todo su apoyo y su confianza, por brindarme mi primera experiencia laboral.***

## **CONTENIDO**

<b>I. INTRODUCCIÓN.</b>	<b>1</b>
<b>II. ANTECEDENTES TEORICOS.</b>	<b>2</b>
2.1 Generalidades.	
2.2 Polietileno	
2.3 Principales propiedades de polietileno.	
2.4 Densidad.	
2.5 Índice de fusión.	
2.6 Grado de la película.	
2.7 Transparencia y turbidez.	
2.8 Brillo.	
2.9 Antibloqueantes.	
2.10 Aislantes.	
2.11 Proceso de fabricación del polietileno de baja densidad (LDPE).	
<b>III. ESPUMAS DE POLIOLEFINAS.</b>	<b>7</b>
3.1 Espumas de polietileno.	
<b>IV. ADITIVOS DE LAS ESPUMAS DE POLIOLEFINAS.</b>	<b>9</b>
4.1 Estabilizadores y aditivos del polietileno.	
4.2 Antioxidantes.	
4.3 Estabilizadores de UV.	
4.4 Aditivos usados en polietileno de baja densidad (LDPE).	
4.5 Agentes espumantes.	
4.6 Agentes espumantes físicos.	
4.7 Líquidos.	
4.8 Gases.	
4.9 Agentes espumantes químicos.	
4.10 Plastificantes y estabilizadores de espumas.	
4.11 Agentes nucleantes.	
<b>V. EXTRUSIÓN.</b>	<b>16</b>
5.1 Tipos de extrusión.	
5.1.1 Extrusión húmeda.	
5.1.2 Extrusión seca.	
5.1.3 Hiladura.	
5.2 Extrusoras.	

- 5.2.1 Cilindro.
- 5.2.2 Husillo.
- 5.2.3 Zona de alimentación.
- 5.2.4 Zona de compresión.
- 5.2.5 Zona de dosificación.
- 5.2.6 Cabezal.
- 5.2.7 Plato y mallas rompedoras.

**VI. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.** 22

**VII. PARTE EXPERIMENTAL.** 24

- 7.1 Características físicas.
- 7.2 Objetivo.
- 7.3 Técnica experimental.
- 7.4 Técnica de extracción.
- 7.5 Purificación por cromatografía en placa.
- 7.6 Irradiación con luz ultravioleta.
- 7.7 Pruebas mecánicas.

**VIII. RESULTADOS Y DISCUSION.** 28

- 8.1 Polietileno sin EVA.
- 8.2 Polietileno con EVA.
- 8.3 Plástico importado.
- 8.4 Pruebas de Planta.
  - 8.4.1 Efecto de adición de copolimero de acetil vinilo etileno (EVA).
- 8.5 Pruebas mecánicas.
  - 8.5.1 Pruebas de resistencia en condiciones máximas.
  - 8.5.2 Pruebas de resistencia a condiciones a la ruptura.
- 8.6 Tamaño de celda.
  - 8.6.1 Comparación del tamaño de celda entre el polietileno sin EVA y con EVA.
- 8.7 Envejecimiento acelerado.
  - 8.7.1 Polietileno sin EVA.
    - 8.7.1.1 Pruebas de resistencia a condiciones máximas.
    - 8.7.1.2 Pruebas de resistencia a condiciones a la ruptura
  - 8.7.2 Plástico Espumado Nacional 2.
    - 8.7.2.1 Pruebas de resistencia a condiciones máximas.
    - 8.7.2.2 Pruebas de resistencia a condiciones a la ruptura.
  - 8.7.3 Módulo elástico del plástico espumado nacional 1 y 2.
  - 8.7.4 Gráficas de las pruebas de resistencia de los polietilenos sin EVA y con EVA.

**IX. CONCLUSIONES.** 40



<b>X. BIBLIOGRAFIA.</b>	<b>41</b>
<b>XI. ESPECTROS.</b>	<b>42</b>

## **I. INTRODUCCION.**

En la actualidad la presentación final de un producto, es un factor determinante para poder ser comercializado. No solo es importante la estética sino además, la seguridad de este al ser transportado hasta su destino.

Antiguamente, la mayoría de los productos eran empaquetados y embalados en cajas de madera o metálicas, las cuales ocasionaban problemas de espacio y peso al ser transportados.

Al surgir los plásticos, éstos tuvieron diversas aplicaciones, las cuales se han incrementado día con día hasta ser indispensables en nuestra vida. Ya que además de resolver los problemas antes mencionados, resulta más económico su uso.

Dentro de la familia de los plásticos, se encuentran las espumas de poliolefinas, las cuales fueron descubiertas por accidente a principios del presente siglo y recientemente su demanda se ha incrementado, encontrando papel muy importante en el área de empaque y embalaje de mercancías como frutas, vidrio, cerámica, porcelana, etc; sin embargo, además de estas áreas, se pueden mencionar otras como la industria automotriz, industria mueblera, alfombrado, etc, debido a que se ha visto que puede sustituir a otros materiales en forma más económica y eficiente.

La obtención de dichas espumas puede lograrse por diversos procesos. En el presente trabajo se analizarán espumas de polietileno obtenidas por el proceso de extrusión.

Los aditivos juegan un papel muy importante en la obtención de las espumas, algunos hacen posible la expansión de las celdas para lograr el espumado; estos aditivos reciben el nombre de agentes espumantes, hay otros que definen el tamaño de la celda y hay buena relación entre el tamaño de la celda y el tamaño de la partícula; entre más pequeña sea la partícula del agente nucleante, más pequeña será la celda.

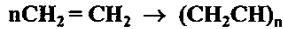
Se analizarán tres tipos de espumas de polietileno con características similares físicamente, pero con distinta composición en sus aditivos. Aunado a esto se analizó el efecto que tiene la irradiación ultravioleta sobre las espumas, con el fin de observar el envejecimiento del material al paso del tiempo.

## II. ANTECEDENTES TEORICOS.

### 2.1 Generalidades.

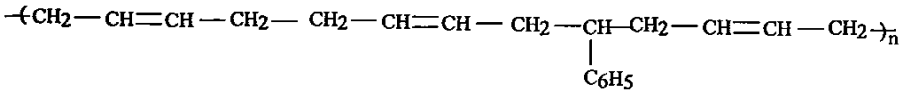
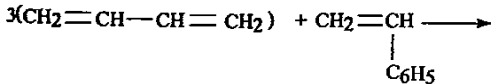
Los plásticos son compuestos orgánicos de alto peso molecular. La clasificación general de los materiales poliméricos incluyen; hules, fibras sintéticas, adhesivos, etc.

El término monómero es usado para definir a las pequeñas moléculas reactantes o individuales de las cuales el polímero está formado. Por lo tanto los monómeros se unen y la repetición de estos dan origen al polímero <sup>(1)</sup>:



La polimerización de un monómero da origen a un homopolímero, es decir, un polímero hecho de unidades idénticas. Si se procede a la polimerización de dos o más monómeros, se obtiene un copolímero, o sea, un polímero que contiene dos o más monómeros en la misma molécula.

Por copolimerización pueden obtenerse materiales que difieren de las de ambos homopolímeros por ejemplo: el butadieno y el estireno en proporciones del 75% butadieno y 25% de estireno da como resultado al SBR (sustituto del caucho) <sup>(2)</sup>.



Los plásticos se dividen en 2 clases; termoplásticos y termofijos. Los materiales termoplásticos son aquellos que se deforman con el calor, estos fluyen y pueden ser moldeados y adquieren firmeza al ser enfriados, pueden fluir nuevamente al aplicar calor y ser remoldeados.

Los polímeros termoplásticos contienen moléculas lineales que pueden ser entrecruzadas bajo ciertas condiciones con las cuales en ocasiones pierden sus características de termoplásticos para adoptar las de un termofijo.

Los materiales termofijos pueden ser moldeados por medio de presión y calor pero no pueden ser reblandecidos nuevamente.

En el presente trabajo se estudió al polietileno; este es un material termoplástico y forma parte de las olefinas llamadas también poliolefinas, las cuales constituyen un gran grupo de polímeros formados por la polimerización de monómeros que contienen el grupo C=C. La olefina de etileno solo consta de un doble enlace.  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ , es el monómero simple que contiene esta estructura<sup>(3)</sup>.

## 2.2 Polietileno.

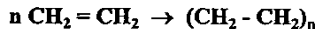
El polietileno comercial han sido clasificado dentro de 3 grandes grupos, basados en su manufactura o proceso de fabricación y las propiedades del polímero y son identificados como:

- Polietileno de baja densidad o LDPE.
- Polietileno de alta densidad o HDPE.
- Polietileno lineal o LLDPE.

El polietileno con densidades abajo de 0.91 es considerado como un cuarto grupo, llamado de ultra baja densidad (ULDPE o VLDPE). Estos son producidos normalmente por el proceso de LLDPE este ha sido modificado para manejar la fabricación del polietileno de baja densidad.

El polietileno fué producido por primera vez en Inglaterra en los años 30's por Imperial Chemical Industries Ltd, durante estudios de los efectos de alta presión en reacciones químicas. El resultado publicado describía la polimerización del etileno a presiones de 15,000 - 30,000 psi y temperaturas de 200 - 400° C en presencia de pequeñas cantidades de oxígeno como catalizador. Por dificultades en su elaboración a nivel industrial (por ejemplo grandes explosiones), la producción comercial se inició en Inglaterra hasta 1940 y en los Estados Unidos de Norteamérica en 1943. El proceso se conoce como "High-pressure" (alta presión).

Para identificar a la polimerización simple del etileno podemos usar la notación química de la siguiente manera:



## 2.3 Principales Propiedades del Polietileno.

Las propiedades de este polímero varían dentro de un amplio rango, dependiendo del peso molecular, el tipo de proceso para su fabricación y diferencias en su estructura. Las propiedades más importantes son las siguientes:

### 2.4 Densidad.

El intervalo completo de densidades encontradas del polietileno se extiende de 0.910 a 0.965. el cambio de las propiedades físicas y ópticas con la densidad es reflejado inmediatamente por lo que es

necesario expresar las densidades hasta unidades de milésimas. Este tipo de relaciones se pueden observar en la tabla 1.

Propiedad	Dirección de la propiedad
DENSIDAD	0.910                      0.965
Calor de ablandamiento.	→
Esfuerzo	→
Tensión a la ruptura.	←
Elongación a la ruptura.	←
Rígidez	→
Resistencia al encogimiento.	←
Resistencia a la deformación.	←
Resistencia a bajas temperaturas.	←
Impermeabilidad a gas/líquidos.	→
Resistencia a la absorción de aceite.	→
Brillantez.	←
Transparencia.	←

Tabla 1. Tendencia de las propiedades con respecto a la densidad (3).

Un ejemplo de lo anterior se puede mostrar con las resinas LDPE y LLDPE que aunque tienen densidades similares tienen propiedades diferentes. Estas diferencias son notables, la resina LDPE es iniciada por radicales libres, dando ramificaciones de cadenas largas y cortas, sobre la cadena principal del polímero. Por otro lado la resina LLDPE solo tiene ramificaciones cortas.

Aunque el grado de cristalización puede ser el mismo, la morfología del cristal es diferente. La resina LLDPE posee las propiedades de un material sólido excelentes, tales como resistencia y dureza, la resina LDPE es en general fácil de procesar, es flexible y produce películas con excelentes propiedades ópticas (brillantez y transparencia).

## **2.5 Índice de Fusión**

El índice de fusión (MI) es el peso del polietileno extruido en 10 minutos a través de un orificio a 190 °C (374 °F), cuando un peso estándar es aplicado a un pistón que opera en una cámara de extrusión conteniendo 3 gramos de polietileno. El melt index es una medida aproximada inversamente proporcional a la viscosidad del fundido, que se va incrementando con el peso molecular promedio.

El melt index fue desarrollado inicialmente para indicar la propiedad de fluidez como una medida de la facilidad de extrusión.

Las propiedades físicas del polímero cambian con la variación del índice de fusión. Esto lo podemos observar en la tabla 2.

Propiedad	Dirección de la propiedad.
Indice de fusión.	Bajo                      Alto
Viscosidad del fundido.	←
Temperatura de ablandamiento.	←
Superficie blanda.	<Poco efecto<
Resistencia al bloqueo.	<Poco efecto<
Tensión	<Poco efecto<
Tensión a la ruptura.	←
Elongación.	←
Rígidez	<Poco efecto<
Tranparencia.	→
Brillantez.	→

Tabla 2. Tendencia de diversas propiedades del polietileno con respecto al indice de fusión (3).

## 2.6 Grado de la Película.

Casi todas las películas de polietileno son fabricadas como películas tensadas o estiradas y como películas espumadas. Los procesos para elaborarlas tiene ventajas y desventajas, pero las propiedades del polímero requeridas debe de ser totalmente similares. La principal diferencia entre estos 2 procesos es la forma de enfriamiento del extruido. En general, las películas elaboradas por tensión tienen muy buena apariencia y espesor y son fáciles de controlar.

Las películas espumadas son más planas en dirección de la máquina que en dirección transversal, por lo tanto, tienen mayor resistencia o dureza en esa dirección.

## 2.7 Transparencia y Turbidez.

Muchas películas requieren ser productos con alta transparencia y con un mínimo de turbidez (opacas) la transparencia es imperativa en el area de empaque. La parte cristalina de la resina contribuye a la turbidez. Las areas cristalinas tiene un alto índice de refracción de la luz que las rodea. Cuando el material es amorfo su transparencia aumenta y esto se puede lograr por un enfriamiento rápido después de su formado o por adición de agentes que evitan la cristalización.

## 2.8 Brillo.

La alta brillantez, es un criterio necesario para una buena apariencia, no solo para películas sino para todo tipo de artículos de polietileno.

Los copolímeros de etileno con 4-30 % de acetato de vinilo, son más brillantes que los homopolímeros. Estos son suaves y firmes, las características ópticas de la película de LLDPE mejoran cuando se copolimeriza con C<sub>6</sub> ó C<sub>8</sub>.

## **2.9 Antibloqueantes.**

La superficie de la película tienden a pegarse entre si. Muchas películas contienen antibloqueante como aditivos que ayuda a los polímeros a deslizarse y son incorporados durante la granulación. Sobre todo se usan en la manufactura de bolsas, para que se puedan abrir fácilmente. Los tipos de compuestos más usados son las amidas de ácidos grasos.

## **2.10 Aislante.**

El polietileno proporciona una barrera térmica, tiene una excelente barrera contra la humedad, grasa y aceite. Otras propiedades que presenta son: flexibilidad, uniformidad, resistencia a temperaturas bajas, a químicos, a las perforaciones, no es tóxico, tienen buena apariencia, buen brillo y bajo costo del material.

Todos lo polietilenos tienen la tendencia a adelgazarse. Las resinas de baja densidad combinan bajas temperaturas de proceso con una alta resistencia y son por esto preferidas para muchas aplicaciones.

## **2.11 Proceso de Fabricación de Polietileno de Baja Densidad (LDPE).**

El polietileno de baja densidad LDPE es producido por medio de radicales libres catalizando la reacción usando oxígeno o compuestos AZO. Las condiciones de síntesis son normalmente entre 250-300°C de temperatura, 120-280 Mpa de presión. En el reactor el tiempo de residencia es de 10-50 segundos.

El calor de polimerización es aproximadamente de 800 Kcal /mol, el cual debe ser transferido durante el tiempo de residencia promedio. Solo una pequeña parte del calor puede transferirse por las paredes del reactor ya que el polímero tiende a depositarse en las zonas frías<sup>(3)</sup>.

### **III. ESPUMAS DE POLIOLEFINAS.**

**Las espumas de poliolefinas pueden clasificarse en tres en base a sus densidades:**

- **Alta densidad**
- **Media densidad**
- **Baja densidad**

**Cada una de estas espumas tienen distintas aplicaciones. Las de baja densidad principalmente se utilizan en aislamiento (sonido o calor) y empaque. Las de alta densidad en aplicaciones estructurales y las de media densidad en empaque industrial.**

**Un plástico celular es definido como un plástico de densidad aparente la cual es sustancialmente reducida por la presencia de numerosas celdas dispersas en toda su masa. Los términos polímero celular, plástico espumado, plástico expandido y espuma plástica son usados intercambiamente denotando sistemas de 2 fases gas-sólido, en el cual el sólido es continuo y compuesto de un polímero sintético o elástico.**

**La fase gaseosa en un polímero como éste, está distribuida en espacios desocupados o bolsas llamadas celdas. Si estas celdas son interconectadas, el material es nombrado celdas-abiertas. Si las celdas son pequeñas y la fase gaseosa de dicha celda es independiente de las otras celdas, el material es llamado celdas-cerradas. Algunas de las características de los plásticos espumados o celulares son la flexibilidad y resistencia a químicos y abrasivos.**

**Como ya se dijo, muchas de estas espumas tienen una estructura de celda cerrada, la cual es conveniente para aplicaciones donde la elasticidad es importante, como por ejemplo en aplicaciones de empaque. Las espumas son usadas en construcción, automóviles, aislamiento, artículos deportivos, agricultura etc. Como ejemplo de las espumas termoplásticas más importantes tenemos:**

- **Espumas de ABS.**
- **Espumas de copolímero de etileno.**
- **Espumas ionoméricas.**
- **Espumas de polietileno de baja densidad.**
- **Espumas de poliestireno.**
- **Uretanos termoplásticos.**
- **Espumas vinílicas.**
- **Acrílico espumado.**
- **Espuma de policarbonato.**
- **Nylon espumado.**

**Las espumas de poliolefinas se clasifican por su forma y por el tipo de proceso de fabricación, dividiéndose en 3 grupos:**



- Espumas extruidas.
- Espumas enlazadas por cruzamiento.
- Espumas a base de perlas expandidas.

Las espumas extruidas fueron introducidas al mercado por Dow Chemical Company en 1958. Estas abarcan una variedad de polímeros, desde polietileno semirígido, (PP) homopolímeros, copolímeros blandos de etileno/éster etc<sup>(4)</sup>.

En nuestro caso solo hablaremos de las poliolefinas espumadas de polietileno, fabricadas mediante el proceso de extrusión<sup>(4)</sup>.

### 3.1 Espumas de Polietileno.

Este tipo de espumas ofrecen propiedades únicas a la industria del plástico celular. Son flexibles, firmes, resistentes a productos químicos y abrasivos. Ofrece excelentes propiedades de aislamiento térmico y eléctrico, las propiedades mecánicas son intermedias, ya que están entre las rígidas y las flexibles.

Los rangos de densidad son de  $0.032 \text{ g/cm}^3$ . La estructura de la celda es normalmente cerrada. Las espumas altamente expandidas de este tipo son potencialmente las más baratas de los plásticos espumados, pero se necesita de una costosa técnica de procesamiento.

Los principales materiales para lograr esta espuma es el polímero y el agente espumante, los materiales adicionales incluyen, modificadores de viscosidad, agentes de entrecruzamiento de la celda, estabilizadores, retardantes a la flama o al fuego, pigmentos etc.

La resina de polietileno de alta densidad (HDPE) es una parafina de un peso molecular más alto, con una cristalinidad del 60 - 90%, con un alto módulo de tensión (módulo de tensión 413 - 1241 MPa) y un alto punto de fusión (aprox.  $135 \text{ }^\circ\text{C}$ ) a diferencia de la resina de polietileno de baja densidad (LDPE) la cual tiene una estructura altamente ramificada con un módulo de tensión de 96 - 262 Mpa, un punto de fusión de  $100^\circ\text{C}$  aproximadamente y una cristalinidad del 35 - 75 %. Las propiedades de fusión son importantes ya que afectan al proceso de espumación. La selección del agente espumante, es influenciado por las propiedades del material fundido.

La firmeza del polímero cuando está cercano al punto de fusión es de particular interés en el procesamiento del polietileno ya que su firmeza al ser fundido decrece bruscamente. Dicho decremento es muy abrupto cuando se tiene una alta cristalinidad. Las pérdidas en la consistencia son grandes en este punto y como consecuencia de esto ocurren rápidos cambios en los módulos, las condiciones favorables para la expansión pueden ser obtenidas solo en un estrecho rango de temperatura.

Cuando las cadenas del polímero termoplástico se entrecruzan, deja de ser un termoplástico para convertirse en un material termofijo. En este tipo de material la rigidez o viscosidad no decrece bruscamente en el punto de fusión<sup>(3)</sup>.

## **ADITIVOS DE LAS ESPUMAS DE POLIOLEFINAS**

Los aditivos juegan un papel muy importante en el proceso de la elaboración de las espumas de poliolefinas. Estos pueden ser agentes nucleantes, espumante, deslizantes etc.

### **4.1 Estabilizadores y Aditivos del Polietileno.**

La obtención del polietileno se lleva a cabo en un reactor de polimerización. En este proceso, el polímero es física y químicamente modificado por la incorporación de varios aditivos. La selección de estos y de las condiciones de operación dependen de la aplicación final del producto.

Durante la fabricación del polietileno se lleva a cabo la incorporación y homogenización de los aditivos dentro del polímero. El equipo necesario para el proceso incluye alimentadores mezcladores, extrusores, vertedores y peletizadores. Los equipos auxiliares son usados para controlar el proceso.

En algunas formulaciones, el primer paso es la estabilización y la incorporación de otros aditivos. La estabilización del polímero es importante para prevenir la oxidación térmica y la decoloración durante el proceso de fusión. Otros estabilizadores comunmente adicionados al polietileno de alta densidad son los estearatos (como por ejemplo los estearatos de calcio y estearatos de zinc para neutralizar la acidez de los residuos de catalizadores y para proporcionarle lubricación), pigmentos (como el negro humo, amarillo cadmio, y dióxido de titanio), y metales desactivadores.

Los aditivos adicionados al polietileno de baja densidad incluye antioxidantes (bloqueantes fenólicos y fosfitos para estabilizar el proceso), compuestos antibloqueantes (silica, talco y caolín) y agentes deslizantes (erucamida y oleamida para reducir la adherencia).

### **4.2 Antioxidantes.**

El antioxidante más usado para polietileno es Irganox 1076. Este antioxidante, es conocido como 3-(3,5-di-ter-butil-4-hidroxifenil)propionato, tiene una gran aceptación en la industria desde los años 80's cuando este empezó a reemplazar al butilato de hidroxitolueno (BTH o 2,6-diter-butil-4-metil fenol). Los BTH's son altamente volátiles teniendo grandes pérdidas (arriba del 80%) durante la extrusión. Además, el BTH tiene que ver con la formación de imperfecciones tales como marcas en forma de puntas de flecha en las películas espumadas de polietileno de baja densidad. Irganox 1076, es químicamente similar al BHT, tiene una cadena alifática larga y en el extremo tiene incorporado (C<sub>18</sub>H<sub>37</sub>) la cual baja la volatilidad y aumenta la compatibilidad con el polietileno. Irganox 1076 pertenece a la clase de los antioxidantes conocidos como bloqueantes fenólicos los cuales actúan como atrapadores de radicales. Estos compuestos son caracterizados por un grupo hidroxilo flanqueado por 2 sustituyentes tert-butilos.

### **4.3 Estabilizadores de UV**

Hay dos clases de estabilizadores que son los más usados en el polietileno: benzofenonas y los estabilizadores a base de aminas. Un absorbedor común es la 2-hidroxi-4-n-octiloxibenzofenona; éste

aditivo absorbe la radiación en un intervalo de 300-360 nm, la región del espectro correspondiente a la luz solar que deteriora a los polímeros. En el mecanismo que siguen estos aditivos es oxidando un radical nitro. Esta reacción produce hidroxilaminas que pueden reaccionar con radicales peróxido y en el cambio, regenerar radicales nitro<sup>(5)</sup>

#### **4.4 Aditivos Usados en Polietileno de Baja Densidad (LDPE).**

La sílica es usada como un agente antibloqueante para la elaboración de película. La sílica agregada en pequeñas cantidades en la superficie de la película de LDPE reduce el bloqueamiento entre la superficie de la película. La erucamida, químicamente conocida como cis-13-docosenamida, esta es una amida de ácido grado, usada para promover el deslizamiento.

La erucamida es un compuesto insaturado altamente susceptible a la oxidación. Esta puede ocurrir a temperatura ambiente antes de incorporarse al polímero. La degradación provoca una coloración amarilla. Más aún, puede degradarse significativamente durante el proceso a temperaturas que exceden los 200 °C. Como consecuencia de esto, produce mal olor, bajo deslizamiento provocando problemas con la película.

#### **4.5 Agentes Espumantes.**

Los agentes espumantes en plástico, son importantes ya que por medio de ellos se logra la expansión de la celda, dando como resultado, celdas independientes dentro del plástico.

Estos agentes, producen gas por descomposición térmica o por reacción química y son usados en la generación de celdas en materiales poliméricos. Por estos tipos de descomposición pueden ser clasificados como agentes espumantes físicos o químicos.

Los agentes espumantes físicos forman celdas por un cambio de fase, un líquido puede ser volatilizado o disuelto en un polímero sometido a alta presión el cual es absorbido y se volatiliza formando las celdas por descompresión.

Los agentes químicos producen gas por descomposición térmica y provocar una reacción química en breves instantes con otros componentes del sistema polimérico.

Dependiendo del tipo de agente espumante que sea seleccionado, este debe de poseer las siguientes cualidades:

- Estabilidad por periodos largos de almacenamiento en condiciones normales.
- El gas es liberado dentro de un tiempo controlado y un rango de temperatura controlado.
- Baja toxicidad, sin olor y poco color del agente espumante.
- No debe haber efectos en la estabilidad y características del procesamiento del polímero.
- Capacidad de producir celdas de tamaño uniforme.

Capacidad de producir una espuma estable, en el cual el gas no debe de perderse causando el colapso de la misma.

#### **4.6 Agentes Espumantes Físicos.**

Los agentes espumantes físicos (PBA) funcionan como una fuente de gas a través de un cambio de estado físico, estos líquidos volátiles producen gas, introduciéndose en el polímero fundido; el cambio de fase ocurre en la liberación de los efectos de presión dando lugar a la formación de las celdas. Idealmente, un agente de este tipo debe tener poco olor, baja toxicidad, no debe de ser corrosivo y poco flamable. Debe ser termicamente estable y químicamente inerte en su forma gaseosa y no afectar las propiedades químicas y físicas del polímero. Generalmente son baratos y ofrecen la ventaja de no producir residuos sólidos que afectan el color o propiedades del material.

#### **4.7 Líquidos.**

En esta categoría se incluye un amplia gama de compuestos, los más importantes son los hidrocarburos alifáticos, derivados de clorados y fluorados, como se puede ver en la tabla 3.

AGENTES ESPUMANTES.				
AGENTE ESPUMANTE	d. <sup>25</sup> g/ml	Bp. ° C	Calor de vaporización J/g	Eficiencia de espumación. A 100°C
<b>Pentanos.</b>				261
n-pentano.	0.616	36.1	360	261
2-metilbutano.	0.615	27.8	132	260
2,2-dimetilpropano	0.613	9.5		280
1-pentano.	0.641	30.0		323
Ciclopentano.	0.740	49.2	417	
<b>Hexanos</b>				
n-hexano.	0.655	68.7	336	232
2-metilpentano.	0.653	60.2	320	232
3-metilpentano.	0.660	63.3		234
2,3-dimetilbutano.	0.657	58.0	314	233
2,2-dimetilbutano.	0.645	49.7	309	229
2,2,3,-trimetilbutano.	0.686	80.8	334	209
1-heptano.	0.693	93.2	212	216
benceno.	0.874	80.1	324	342
Tolueno.	0.862	110.6	413	286
Diclorometano.	1.325	40.0		482
Triclorometano.	1.489	61.2	279	382
Tricloroetileno.	1.466	87.2		342
Tetraclorometano.	1.584	76.7	195	316
1,2-dicloroetano.	1.245	83.5	323	388
Triclorofluorometano.	1.476	23.8	182	329
Metanol.	0.787	64.6	1100	752
Etanol.	0.785	78.3	854	521
2-propanol	0.780	82.3	735	397
Eter etílico.	0.708	34.5	376	292
Eter isopropílico.	0.725	67.5	285	217
Acetona.	0.785	56.2	524	413

Tabla 3. Agentes espumantes (6).

Los isómeros de pentano, y heptano son usados comunmente en la producción de varias espumas de baja densidad. Este tipo de agentes espumantes son económicos y bajos en toxicidad; sin embargo tienen la desventaja de ser inflamables.

El adelgazamiento de la capa de ozono ha sido una de las principales causas de que el uso de los fluorocarbonos esté disminuyendo. Sin embargo, estos agentes poseen excelentes propiedades tales como: baja toxicidad, no son inflamables, baja conductividad térmica y una excelente estabilidad química y térmica<sup>(6)</sup>.

La combinación de diclorofluorocarbono con otros fluorocarbonos y agentes espumantes químicos es usada en la producción de espuma de polietileno de baja densidad. Usando diclorotetrafluoroetano, una molécula larga con una difusión lenta, en la preparación de las espumas de polietileno de baja densidad previene la contracción y el colapso de las celdas.

#### 4.8 Gases.

El butano o mezclas de butano con otros hidrocarburos son utilizados para expandir a la poliolefina que ha tenido modificaciones por la adición de un agente estabilizador de control.

Esta composición tiene un alto grado de estabilidad y muestra un encogimiento mínimo durante su almacenamiento. El agente espumante es combinado en la resina polietilénica en proporciones deseadas para la expansión para dar como resultado un producto espumado, normalmente cerca del 60 % del volumen de expansión haciendo que el producto tenga una densidad cerca de  $9.6 \text{ Kg/m}^3$  ( $0.6 \text{ lb/ft}^3$ ).

Las proporciones normales de dicho agente espumante, es aproximadamente de 0.013 a 0.50 g/mol por 100 g de resina inicial. La máxima proporción usada de agente espumante en el gel espumoso es sólo afectado en la salida del extrusor siendo grande cuando la presión de salida es relativamente alta, bajo dichas condiciones es cuando la salida del orificio es relativamente pequeña y/o el conducto es relativamente grande.

Los gases comprimidos son incorporados dentro del polímero fundido, en la zona de mezclado del extrusor por medio de inyección, pasando posteriormente a la zona de dosificación en donde se termina de mezclar completamente el polímero con todos los aditivos para pasar posteriormente al dado en donde se la dará la forma deseada a la espuma<sup>(7)</sup>.

#### 4.9 Agentes Espumantes Químicos.

Los agentes espumantes químicos (CBA) producen gas por descomposición térmica total y en breves intervalos de tiempo se lleva a cabo la reacción química con otros componentes del sistema polimérico<sup>(6)</sup>.

Uno de los criterios más importantes para su selección es la cantidad y proporción del gas involucrado en un rango específico de temperatura. Puesto que la proporción varía con la temperatura donde la viscosidad de la resina fundida es la mejor para el espumado, el lapso en la

evolución del gas depende totalmente de la temperatura y del compuesto químico que se use. En general, se juega con el punto de descomposición del agente espumante y de la temperatura de fusión del plástico.

No es recomendable elevar la temperatura de la resina fundida para coincidir con el punto más alto de la descomposición del agente espumante, ya que podría degradarse la resina y prolongarse el ciclo. Un punto de descomposición que se iguale lo más cerca a la temperatura de fusión de la resina es en general lo mejor. Es recomendable liberar todo el gas antes que se solidifique la resina.

Las sales inorgánicas tales como el carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), el bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) y el bicarbonato de amonio ( $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ), así como los oxalatos que generan  $\text{CO}_2$ , se usan, para aplicaciones que no son críticas, en virtud del rango relativamente amplio de descomposición que se ve bastante afectado por la presión. Por ejemplo el bicarbonato de sodio empieza a liberar gas con lentitud a  $185^\circ\text{F}$  ( $85^\circ\text{C}$ ) y a los  $300^\circ\text{F}$  ( $149^\circ\text{C}$ ) se logra una liberación brusca o repentina por su dificultad relativa de dispersión no permite una buena y fina estructura celular y por la relativa permeabilidad del  $\text{CO}_2$  en la mayoría de los sistemas de plástico espumado.

Hay tres clases principales de agentes químicos espumantes:

- AZO compuestos
- Sulfonil hidracidas
- Compuestos N-nitrosos

No obstante los compuestos orgánicos liberadores de nitrógeno, limitan el campo de los agentes químicos espumantes.

Los compuestos AZO son populares porque:

- Proporcionan gases de descomposición con un alto contenido de nitrógeno
- Se almacenan con facilidad
- No respaldan la combustión
- Se dispersan con facilidad

El punto relativamente alto de descomposición puede ser ajustado mediante el uso de zinc, cadmio y otras sales.

#### 4.10 Plastificantes y Estabilizadores de Espumas.

El propósito principal en el uso de estos plastificantes monoméricos es obtener una dispersión a un costo razonable con el subsecuente buen flujo y espumado. El uso de plastificantes poliméricos

**(adipatos) mejorará el producto final. Las características de solvatación de casi todos los plastificantes poliméricos provocan una disminución en la espuma. El incremento en la velocidad de compuesto mezclado da muchos problemas de aire atrapado, de fluidez en el embarrado y vaciado y de llenado uniforme al molde. Pero las ventajas de estos plastificantes poliméricos son bastantes ya que le dan una buena estabilización al compuesto ayudando a reducir las cantidades de estabilizador. En algunos casos contribuyen a las propiedades quelantes, así como a neutralizar el HCl libre a medida que la resina se descompone.**

**Los plastificantes poliméricos exhiben sus mejores ventajas en secciones más gruesas de 3/8" (0.95 cm). Los plastificantes monoméricos como el dioctiladipato, diiso octil adipato (DOA y DIOA) también tienen ventajas similares.**

**Los plastificantes secundarios y diluyentes no polares, parafinas cloradas o nitradas, compuestos alifáticos de alto peso molecular proporcionan buena fluidez a los plastisoles y mejores características de mezclado a materiales para calandreo, así como buena resistencia a la espuma, sobre todo porque no están involucrados en la solvatación inicial de la resina, aunque llegan a tener una limitada compatibilidad con ella (nunca se usan solos). Esto en cambio puede conducir a marcadas dificultades en la producción de la espuma y hacer que estos plastificantes diluyentes incrementen el flujo en el compuesto frío espumable; sin embargo, cuando no se incorpora el plastificante en la resina, antes de su fusión el espumado no llega al máximo por lo tanto se dice que la espuma es pobre.**

**Los plastificantes secundarios, tales como HB40, son utilizados para productos finales con relativa pobreza de retención, estabilidad al color y flujo en frío. La falta de estabilidad de productos hechos con estos plastificantes crean un problema cuando ligeros cambios físicos causan la migración o sudado del plastificante: la experiencia ha demostrado que los plastificantes secundarios son buenos únicamente para productos en los cuales estas consecuencias no sean importantes. Los plastificantes epoxidados como aceites epoxidados de soya o linaza proporcionan, de manera gradual, una considerable utilidad si se les utiliza en combinación con algún otro plastificante primario o polimérico.**

**Los estabilizadores son más efectivos cuando se usan en combinaciones de plastificantes monoméricos y poliméricos, dan por resultado una mayor vida, especialmente cuando hay luz ultravioleta.**

**En las espumas, los sistemas estabilizadores deben contribuir sustancialmente a mantener una buena estabilidad al flujo. Las viscosidades en ellos no son de gran importancia si el flujo no newtoniano puede ser evitado; esto es vital porque la estabilidad química en el estado no fundido debe mantenerse controlada (2).**

#### **4.11 Agentes Nucleantes.**

En general, las estructuras celulares son deseables sobre todo en las espumas de baja densidad y en ello influyen los agentes nucleantes. Hay dos clases de estos agentes:

- Los agentes nucleantes que actúan como las partículas de porcelana nucleantes en la ebullición del agua. Pueden usarse con los hidrocarburos volátiles y gaseoso. Hasta 10% en peso de la resina, el sulfato de bario, la arcilla, el talco, la tierra diatomácea y los pigmentos finamente divididos se han usado satisfactoriamente. La eficacia relacionada con el tamaño de partícula es por lo general baja.
- Los agentes espumantes químicos, tales como el bicarbonato de sodio, el ácido cítrico, el citrato de sodio se usan con el pentano en la fabricación de las perlas de poliestireno expandible como auxiliares del agente espumante y nucleante. Algo de CO<sub>2</sub> generado podría incrementar el grado de sobresaturación de ayudar a la formación de las células.

Estos agentes espumantes son introducidos con la resina en la tolva y actúa cuando se introducen los gases al sistema.

La nucleación se inicia en el sitio en donde pasa el polímero fundido que ha sido sobresaturado con un agente espumante. Esta sobresaturación se realiza por una descompresión en un sistema en equilibrio de un polímero y un agente espumante físico (PBA) o por calentamiento de un polímero que contenga un CBA disuelto. Las partículas sólidas mezcladas en todo el polímero frecuentemente le dan la nucleación necesaria. Las burbujas alcanzan su tamaño crítico, por medio del agente espumante el cual se difunde rápidamente dentro de dichas burbujas. Este crecimiento continua hasta que las burbujas se estabilizan o se rompen.

El adelgazamiento, al estrechar las paredes de la celda de un termoplástico fundido, es impráctico y esta sujeta a la ruptura si no se estabiliza. Hay 2 métodos de estabilización:

- Solidificación por aumento de la viscosidad.
- Unión por entrecruzamiento de las celdas.

En procesos donde la expansión de la espuma es realizada por calor, las burbujas necesitan ser estabilizadas por el polímero de enlace cruzado<sup>(6)</sup>.



## **V. EXTRUSION.**

El proceso de extrusión se utilizó en escala industrial desde comienzos del siglo XIX para fabricar tuberías de plomo; después de eso para la extrusión de pastas alimenticias, barras de hielo, electrodos de carbono, minas de grafito para lapiceros, vidrio, plásticos y otros materiales.

La palabra extrusión viene de los vocablos latinos <<éx>> y <<trudere>> que significan, respectivamente, <<fuerza>> y <<empujar>>. Se puede definir la extrusión como el proceso de obtención de longitudes ilimitadas en una sección transversal constante, conformando el material al obligarlo pasar a través de una boquilla bajo condiciones controladas (1).

Las posibilidades que ofrece una extrusora para calentar plásticos y transportar el material fundido y caliente, han situado a esta máquina en una posición de creciente importancia en el campo de la manipulación de los materiales plásticos. Actualmente la mayor proporción de los materiales termoplásticos se procesa por extrusión.

En la práctica el proceso de extrusión se puede llevar a cabo en 2 tipos de máquinas extrusoras:

- a) Máquina de extrusión por pistón.
- b) Máquina de extrusión por tornillo.

Los polímeros se pueden extruir de tres modos diferentes:

- a) Extrusión húmeda.
- b) Extrusión seca.
- c) Hiladura.

### **5.1 Tipos de Extrusión.**

#### **5.1.1 Extrusion Humeda.**

El proceso de extrusión húmeda se caracteriza fundamentalmente por emplear disolventes o plastificantes líquidos que permiten extruir los materiales en forma de pasta o solución. Generalmente se utiliza extrusora de pistón. Se puede realizar también en extrusoras con tornillo pero no se practica porque hace perder las ventajas de mejor calentamiento simultáneos típicas de las extrusoras con tornillo.

#### **5.1.2 Extrusion Seca.**

El proceso de extrusión seca es el más utilizado para la extrusión de multitud de perfiles de materiales termoplásticos. El proceso de extrusión seca con extrusora de pistón se emplea para extruir

materiales termoestables y politetrafluorotileno (PTFE). Los materiales termoplásticos se extruyen en máquina de tornillo siguiendo un proceso de este tipo.

Las ventajas de la extrusión seca sobre el proceso húmedo se pueden resumir en la ausencia de disolventes volátiles, lo que significa que no hay peligro de alabeo o deformación de las secciones extruidas, debido a la pérdida de disolvente residual o materiales volátiles.

En el proceso seco de extrusión se usan el calor y el trabajo mecánico para plástificar o ablandar el material plástico, pero no se emplean disolventes. Este proceso es óptimo en las máquinas de tornillo en las cuales el material es calentado y extruido.

### 5.1.3 Hiladura.

La hiladura es el método utilizado para la obtención de fibras artificiales a partir de polímeros fundidos o en solución. El material se hace pasar a través de finos orificios denominados <<hileras>>. Se pueden considerar tres variaciones :

- a) Hiladura de un polímero fundido; por ejemplo fundición de polietileno.
- b) Hiladura de una solución; por ejemplo rayón acetato etc.
- c) Hiladura de un material coagulable; por ejemplo caucho.

### 5.2 Extrusoras.

Las extrusoras pueden ser de un sólo tornillo ó de tornillos múltiples; las extrusoras de un sólo tornillo son las más utilizadas .

Las máquinas de extrusión de un sólo tornillo se construyen utilizando tornillos cuyos diámetros oscilan entre 18 mm - 100mm.

Una máquina de extrusión puede ser dividida en cinco partes : el tornillo, el cilindro o cuerpo de la máquina, en la que va alojado el tornillo y que da origen a trabajo de fricción en el material, un mecanismo motor para comunicar al tornillo un movimiento de rotación, una tolva de alimentación de material situada en el extremo del cilindro y finalmente la boquilla o matriz situada al extremo del cilindro y que es la pieza que da forma al material extruido.

La entrada de alimentación es la garganta a través del cual el termoplástico de la tolva llega al tornillo de la extrusora; esta entrada abarca una longitud de tornillo por lo menos igual a un diámetro de éste y su sección transversal puede ser rectangular o circular. Para materiales que se alimentan en forma granular se prefieren los diseños vertical e inclinado porque en el diseño rebajado los granulos termoplásticos pueden ablandarse y soldarse entre sí en el borde del filete del tornillo, así como la pared del cilindro, resultando un taponamiento de la entrada del tornillo que impide la alimentación de la extrusora. Para evitar este tipo de problemas, la garganta de la tolva suele ir refrigerada con agua que circula por un canal practicado alrededor de la garganta.

El cilindro de la extrusora es el cuerpo principal de la máquina en el que va alojado el tornillo. Proporciona una de las superficies necesarias para friccionar el material plástico y al mismo tiempo, la superficie a través de la cual se transmite al polímero el calor suministrado por los elementos de calefacción externos. Mientras más largo sea el cilindro, se proporcionará un calentamiento más uniforme al material, hay mayores rendimientos y más libertad para diseñar tornillos diferentes.

Actualmente se construyen los cilindros de las máquinas de extrusión con una relación de longitud a diámetro  $L/D$  entre 20 y 24. La longitud del cilindro se considera desde el plato rompedor hasta la parte posterior de la garganta de alimentación, y el diámetro considerado es el diámetro interno del cilindro.

Tanto los tornillos como el cilindro requieren estar contruidos con materiales de gran duración, es decir, de gran resistencia al desgaste; el tornillo y el cilindro son los dos elementos más importantes para asegurar la producción ininterrumpida de productos de primera calidad. La corrosión y el desgaste mecánico, que tienen lugar durante el proceso de extrusión pueden hacer variar las dimensiones de estos elementos, causando problemas incluso pueden llevar a la necesidad de parar la máquina, problema que se agrava aún más cuando se trabaja con plásticos reforzados con fibra de vidrio fuertemente abrasiva; por esta razón es frecuente encamisar los cilindros con aleaciones bimetálicas; de aceros especiales como el Xaloy<sup>(10)</sup>.

### 5.2.1 Cilindro.

Las propiedades que requiere un cilindro para que tenga la mayor duración posible son:

- a) Buena resistencia de la superficie interior de la camisa frente al roce con los filetes del tornillo. Esto es particularmente importante en el caso de largos tornillos y en las máquinas de doble husillo.
- b) Buena resistencia frente a la abrasión causada por fibras sintéticas y minerales que puedan estar presentes con el material termoplástico.
- c) Buena resistencia química en contacto con los polímeros fundidos.
- d) Gran dureza de la superficie incluso a elevadas temperaturas de trabajo.

### 5.2.2 Husillo.

El tornillo o husillo es la pieza más importante de la máquina de extrusión. La función del tornillo es transportar el material plástico desde la tolva de alimentación hasta la boquilla, en cuyo transporte el termoplástico funde; el tornillo alimenta de material plástico a la boquilla a una velocidad uniforme y en estado fundido y homogéneo. Puede considerarse dividido entre zonas distribuidas a lo largo de su longitud y son:

- a) Zona de alimentación
- b) Zona de compresión
- c) Zona de dosificación

Estas zonas están bien definidas en cuanto al comportamiento del polímero se refiere, y la transición de una a otra es suave en el comportamiento total del tornillo cada zona tiene su función propia.

### **5.2.3 Zona de Alimentación**

En la región de la alimentación, el plástico que debe ser extruido entra en el cilindro de la máquina a través de la tolva, generalmente en forma de pequeños gránulos o como polvos de moldeo. El material cae en el tornillo y tiene tendencia a girar con él, pero se lo impide en parte la fricción con las paredes estacionarias del cilindro. Es preciso que la fricción entre el material y las paredes del cilindro y entre el material y el tornillo en la zona de alimentación mantenga una adecuada proporción entre sí. Esta proporción se mantiene a veces refrigerando el tornillo con agua fría o haciendo muescas en las paredes internas del cilindro. La velocidad de avance del material a lo largo del cilindro depende de la fricción entre el cilindro y el material, así como de la forma del tornillo.

Esta zona esta formada por canales grandes; la separación entre cada uno de dichos canales es de 10cm y la longitud de esta sección es aproximadamente de 2 a 2.5m. Los alabés varian de tamaño en su altura; al inicio es de 1.5cm y en el canal hay un aumento en el diámetro del husillo, lo que hace que la altura del los alabés disminuya hasta 0.5cm; el ancho de los alabés es de 1 cm en esta zona hay un total de 17 canales.

### **5.2.4 Zona de Compresión.**

La zona de compresión está situada a continuación de la zona de alimentación y generalmente se obtiene aumentando el diámetro del alma del tornillo hasta obtener el diámetro de la zona de dosificación. En esta zona los granulos son comprimidos y eventualmente fundidos en una masa que presenta algún grado de adherencia a la superficie del tornillo y del cilindro.

Durante esta transición aumenta la densidad del material de un modo brusco haciéndose en ocasiones hasta seis veces su valor inicial, aunque lo más común es un aumento de dos a cuatro veces. Esta zona debe ser diseñada no sólo para hacer más compacto el material sino también para adaptar la variación del tamaño del canal con la velocidad de fusión y el cambio de volumen que tienen lugar cuando el material pasa desde el estado sólido al viscoso.

En esta zona, la separación entre los alabés disminuye, ademas de que ya no son continuos, sino que estan seccionados aproximadamente en 3cm y con una separación de 1cm entre cada uno. Al igual que la zona anterior, el diámetro del husillo varia, a lo largo de esta zona que es de aproximadamente 1m de longitud de la siguiente manera: Al iniciar la zona la altura de las aspas es de 0.5cm a la mitad de su longitud la altura es de 1.5cm y al final, la altura varia nuevamente hasta 0.5cm. (La posición entre los alabés semejan pequeñas colas de pescado).

### **5.2.5 Zona de Dosificación.**

La zona de dosificación es la parte final del tornillo, generalmente con una profundidad de canal relativamente pequeño. En ocasiones esta zona esta formada por una cabeza plastificante o torpedo que sustituye a la parte fileteada.

Por ejemplo, consta de 2 a 2.5 m de longitud; los alabés están separados y seccionados y el diametro del husillo disminuye drasticamente. Los alabés, en esta zona son mas grandes y hay una separación mayor. En esta zona también varia el diametro del husillo, ya que al inicio, los alabés son pequeños su tamaño es aproximadamente de 3cm de ancho por 2cm de altura, en la parte central, se encuentran los más altos que son de 8cm de ancho aproximadamente y 2.5cm de altura y al final vuelve a disminuir la altura de las mismas dando la altura y el ancho de las aspas iniciales.

Lo cual indica que el diametro, disminuye en la parte central y vuelve a aumentar en la parte final. Además de esto los alabés presentan una pequeña curvatura, lo que da la apariencia de aletas de delfin. Como esta es la parte final del husillo, el diametro aumenta, dando la forma de un torpedo.

### **5.2.6 Cabezal.**

El cabezal de la extrusora es la pieza situada entre el cilindro y la boquilla conformadora. El cabezal de la extrusora se puede quitar y poner en la máquina con gran facilidad, lo que permite la limpieza o sustitución del plato rompedor. Para esto el cabezal se une directamente al cilindro bien por medio de tornillos y tuercas, bien con pernos, charnelas, bayonetas, etc.

La manera más sencilla de sujetar el cabezal al cilindro es mediante el uso de tuercas directamente atornilladas sobre la brida del cilindro. Las ventajas que ofrece el uso de tuercas y brida están en el cierre positivo que se consigue apretando estos en las áreas circulares fácilmente ajustables; este sistema es aconsejable cuando no es preciso limpiar con frecuencia el tornillo de la extrusora o cambiar las telas metálicas del plato rompedor.

El uso de sistemas automáticos para cambiar y limpiar la placa rompedora y el paquete de filtros ha ayudado mucho al mantenimiento de este tipo de fijación, especialmente en el caso de cabezales y boquillas pesados, que deben apoyarse en el suelo y no permiten usar otro tipo de fijación.

El plato rompedor está situado en el extremo del cilindro entre éste y el cabezal; el cabezal sirve para colocar y ajustar el plato rompedor. Este plato debe ser lo suficientemente grueso para permitir que quede alguna holgura entre el cabezal y el cilindro cuando estos dos están unidos con los tornillos. Así se asegura que no pueda escapar el material fundido por el ajuste y el plato rompedor queda rigidamente colocado.

### **5.2.7 Plato y Mallas Rompedoras.**

El plato rompedor está constituido por un robusto anillo de acero que rodea un plato grueso del mismo material, cuyo plato va taladrado por una serie de orificios equidistantes entre sí; el

diámetro de estos orificios varía de 3 a 5 mm, según el tamaño de la máquina, y sus extremos suelen estar abocardados para facilitar al máximo el flujo de material fundido a través de dichos agujeros.

El paquete de mallas metálicas que se coloca en el plato rompedor está formado por telas metálicas de acero de distintas aperturas de malla; las telas más finas y con menor luz de malla (más cerradas) se colocan entre las más gruesas (y más abiertas).

El plato rompedor y sus telas metálicas ayudan a crear un gradiente de presión a lo largo del canal del tornillo; sirven además como elemento filtrante y evitan el paso de partículas extrañas o granulos de material sin fundir. También sirven como elemento rompedor de las líneas de flujo del polímero fundido que tiende a girar en el mismo sentido del tornillo aún después succionado a éste; después de pasar por el plato rompedor las líneas de flujo corren paralelas entre sí, y casi siempre también paralelas al eje de tornillo de extrusión.

Frecuentemente se plantea el problema de tener que cambiar el paquete de telas metálicas durante la extrusión, debido a que éste sea tapado, debido a las impurezas retenidas que va acumulando; esta necesidad se detecta por la disminución de los Kg/h que salen de la extrusora y sobre todo por el aumento excesivo de presión delante del extremo del tornillo, cuya presión se mide colocando un manómetro en esta zona.

Para evitar parar la extrusión y hacer el cambio de las telas metálicas se ocupa un sistema hidráulico el cual mantiene la mínima separación entre extrusora y boquilla y consta de una placa deslizante, puede adaptarse a cualquier extrusora de cualquier fabricante; éste cambiador consiste de un cuerpo con una placa transversal que mediante un sistema hidráulico, se desplaza lateral y alternativamente, cada vez que se necesita cambiar los filtros; al desplazarse sale fuera el plato rompedor y los filtros tapados y se colocan automáticamente en posición el plato y los filtros de recambio; se pueden realizar todos los cambios de filtros que haga falta sin parar la extrusora.

Los materiales termoplásticos que se usan en el proceso de extrusión difieren notablemente entre sí, tanto en propiedades térmicas como en propiedades mecánicas, la dureza, calor específico, coeficiente de fricción, temperatura de fusión, viscosidad del fluido, etc. Cubren una amplia zona de valores con estos materiales, y puesto que estas propiedades tienen su importancia en el momento de diseñar el tornillo, es lógico que sea necesario utilizar diferente tipo de tornillo para trabajar adecuadamente cada tipo de material<sup>(10)</sup>.

## **VI. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.**

El material plástico entra por la tolva hacia el canal del tornillo. El cilindro tiene un recubrimiento interno de acero endurecido. Éste gira accionado por un motor eléctrico acompañado por un sistema reductor de velocidad. El cilindro es calentado mediante elementos externos de calefacción y su temperatura se mide con un juego de termopares. El tornillo va generalmente taladrado axialmente en más o menos parte de su longitud, con objeto de que pueda ser calentado o enfriado según lo requiera el material plástico con el que se está trabajando. El plato rompedor o filtro metálico está situado en el extremo frontal del cilindro, ubicado entre el final del tornillo y el cabezal de extrusión; esta constituido por una plancha metálica taladrada y una serie de telas metálicas, superpuestas formando un filtro; la misión del plato rompedor es evitar el paso de gránulos de plástico sin fundir, no permitir posible basura que contenga el polímero y ayudar a mantener un gradiente de presión a lo largo del eje del tornillo.

Cuando gira el tornillo de la extrusora, se hace caer el material termoplástico situado en la tolva de alimentación, y lo arrastra con él a lo largo de las zonas calientes del cilindro, creando en el fundido un gradiente de presión en el extremo del plato rompedor. Cuando los gránulos o granza del material termoplástico son transportados a lo largo del tornillo, el material funde y es forzado a pasar a través del plato rompedor y posteriormente en el cabezal y en la boquilla de extrusión.

Parte del calor necesario para fundir el material es suministrado por transmisión de calor directa a través del cilindro, por medio de calentadores colocados a lo largo de éste en el exterior de la máquina, otra parte del calor es originado por la fricción de los granulos entre sí, con el tornillo y las paredes del cilindro; este calor proviene de la transformación de parte de la energía mecánica suministrada por el motor en el eje del tornillo. En sí, el calor actúa como un verdadero plastificante.

Se puede admitir que la máquina funciona como consecuencia de la fricción entre el termoplástico, tornillo y las paredes interiores del cilindro, siendo la fricción entre el material y el tornillo la más pequeña de estas dos. Las ventajas que ofrece una máquina de este tipo radican en el plástico, debido a que se calienta uniformemente en un sistema cerrado y que se obtiene un proceso continuo. Al mismo tiempo tiene lugar una considerable acción de mezcla debida al movimiento del tornillo, y finalmente, la producción de calor está, en cierto modo autocompensada al hecho de que la generación de calor por fricción interna en el material termoplástico no aumenta al disminuir la viscosidad del material fundido, es decir, al incrementarse la temperatura del material disminuye la cantidad de calor originado por fricción.

Para obtener las placas o láminas de plástico espumado se utiliza un dado circular, el diseño del dado es crucial ya que la expansión de la espuma de dificultosa, con un coeficiente doble de fricción teniendo más substratos. La línea de plástico espumado es guiado a través de un mandril, un cortador, un aplanador y un embobinador, para ser enrollado. La fricción entre la espuma recién expandida y el mandril es minimizada por aire frío en el interior del mandril.

**Las dimensiones del producto de la espuma plástica son estabilizadas con el tiempo, las deformaciones se producen por la presión interna de las celdas. La presión de la celda cambia cuando el aire y el agente espumante se difunden dentro y fuera de la espuma en diferentes intervalos. Si los intervalos son idénticos, la presión de la celda y sus dimensiones permanecen constantes. La estabilización de la celda normalmente toma varias semanas pues durante este tiempo, la presión interna de la espuma se iguala a la presión atmosférica<sup>(10)</sup>.**



## **VII. PARTE EXPERIMENTAL.**

La finalidad del trabajo fué analizar los aditivos usados en la fabricación de polietileno espumado; verificar la modificación de las formulaciones para mejorar su estabilidad, comparando dos formulaciones al envejecimiento por radiación ultravioleta.

La experimentación se realizó con tres tipos de plástico espumado:

- Polietileno sin EVA.
- Polietileno con EVA.
- Polietileno importado.

### **7.1 Características Físicas.**

#### **Polietileno sin EVA.**

- Su apariencia física es de una placa con numerosas ondulaciones.
- Presenta color blanco translucido.
- Presenta una estructura en forma de celdas pequeñas e irregulares.
- Tiene poca resistencia al someter a la placa a presión.
- La superficie es brillante.
- Es un material flexible.

#### **Polietileno con EVA.**

- Presenta una estructura en forma de hoja o lámina.
- Contiene numerosas ondulaciones.
- Las celdas son pequeñas e irregulares.
- Es de color blanco mate.
- El plástico presenta flexibilidad.
- La superficie es opaca.

#### **Polietileno Importado**

- La placa de plástico espumado presenta una estructura delgada (esto depende del calibre de dicho plástico).
- Su superficie es brillante y lisa .
- La parte interior es suave y contiene diminutas celdas formadas por las paredes del polietileno espumado
- Contiene marcas de ondulaciones.

La adición de aditivos es esencial para el buen comportamiento del material en el momento de la fabricación y posteriormente durante su almacenamiento y uso final.

## **7.2 Objetivo.**

Analizar los aditivos usados en la fabricación de polietileno espumado. Verificar en proceso de planta la adición de un copolímero y agente nucleante para mejorar la estabilidad del polietileno espumado y analizar el efecto de envejecimiento con luz ultravioleta sobre dos formulaciones de material espumado.

## **7.3 Técnica experimental.**

El aislamiento de los aditivos se llevo a cabo por medio de extracción con disolvente y posteriormente por medio de cromatografía se purificarón para finalmente identificarlos por espectroscopía.

Los procesos de planta se realizarón en una línea de producción de polietileno espumado usando un extrusor de 4" de diametro y una longitud de 120".

## **7.4 Técnica de Extraccion.**

Se disolvieron 10 g del plástico espumado en 50 ml de tolueno y se lleva a su a punto de ebullición hasta disolución total.

Se filtró la solución caliente, a vacío para eliminar a los inertes que contenga el plástico.

Se dejó enfriar el residuo del matraz kitazato y se agregaron 150 ml de hexano para precipitar el polímero.

El precipitado formado se filtró en un matraz kitazato de esta forma se eliminó el polietileno.

Finalmente se evaporó el residuo en el cual se encuentran los aditivos, del plástico espumado.

## **7.5 Purificación por Cromatografía en Placa.**

La purificación se llevó a cabo en una placa de 20 x 20 cm.de silica gel activada.

La muestra se disolvió en acetato de etilo y se aplicó en la parte inferior de la placa en línea recta de tal forma que la muestra quedó bien distribuida para favorecer la separación de los compuestos contenidos en la muestra.

Como eluyente se utilizó una mezcla de disolventes la cual estuvo constituida por 80 de hexano, 20 de acetato de etilo y 3 de metanol.

Una vez preparada la placa se procedió a introducirla a una cámara de elusión, la cual contenía la mezcla de disolventes antes mencionada.

El eluyente debe ascender a través de la placa hasta 2 cm antes del borde de ésta. De esta manera se separan los componentes de la muestra.

### **7.6 Irradiación con Luz Ultravioleta.**

Con el fin de analizar el efecto del envejecimiento sobre las propiedades físicas del material se realizó una irradiación con luz ultravioleta.

La irradiación con luz ultravioleta, se llevó a cabo en los plásticos nacionales 1 y 2.

Para la irradiación se prepararon placas de los plásticos 1 y 2 de 20 cm de ancho por 25 cm de largo.

Cada muestra fué introducida en un reactor fotoquímico marca Rayonet que consta de 16 lámparas de luz UV. El tiempo de residencia de cada muestra fué desde 1 hr hasta 6 hrs.

Con el fin de observar el comportamiento de las muestras irradiadas, se sometieron a pruebas mecánicas de tensión y de compresión.

### **7.7 PRUEBAS MECANICAS.**

Las pruebas mecánicas se realizaron bajo la norma de la ASTM 638-89 para la prueba de tensión y para la prueba de compresión se utilizó la norma ASTM D1621. En un equipo especializado para realizar pruebas de resistencia mecánica INSTRON.

En la prueba de compresión se utilizaron probetas en forma circular de 24.5 mm de diametro y el espesor varia dependiendo de la probeta. En medio de 2 placas circulares se colocó la muestra y se comprimió hasta un 13% de su espesor total, registrando de esta manera la resistencia del material. Para realizar las pruebas de tensión, se utilizaron probetas de 60 mm de longitud total, 54 mm de longitud sometida al esfuerzo, con espesor y ancho variables en su medida ya que dependerá de la probeta.

Para la prueba de tensión se colocó la muestra entre las tenazas de la INSTRON aplicando una velocidad de 10 mm/min para provocar la tensión en la muestra hasta su ruptura.

**Para realizar cada prueba fué necesario someter 5 muestras o probetas idénticas para obtener un promedio, de tal manera que el resultado fuera confiable. De lo contrario con una sola lectura era más probable tener lecturas erróneas.**

**Se realizó la prueba de conductividad térmica por medio de la norma ASTM C 518 - 85. Se midió el tamaño de celda del plástico nacional 1 y 2 sin irradiar, por medio de un equipo fotográfico se elaboraron fotografías, que posteriormente se introdujeron en un comparador óptico en el cual se facilitó la medición de dicha celda siguiendo la norma ASTM D-3576.**

## **VIII. RESULTADOS Y DISCUSION**

Se analizaron tres muestras de polietileno espumado para identificar los aditivos utilizados en dos muestras que corresponden a dos formulaciones de plástico espumado nacional y la tercera a un polietileno espumado japonés. Se estudió el efecto de la adición en diferentes proporciones de un copolímero de EVA en la producción de polietileno espumado y se evaluó la estabilidad de las espumas obtenidas.

### **Observaciones.**

#### **8.1 Polietileno sin EVA.**

La disolución del plástico espumado en tolueno a temperatura de ebullición es muy rápida. Está tiene un aspecto viscoso de color blanco translucido.

Para separar las cargas inorgánicas, se llevó a cabo una filtración al vacío del producto disuelto en tolueno.

Al agregar hexano sobre el filtrado anterior precipitó el polímero en forma de un abundante producto blanco. Se realizó una segunda filtración para separar el polímero de la solución restante se evaporó y se secó perfectamente para hacer un análisis de espectroscopía de infrarrojo y resonancia magnética nuclear; con el fin de identificar los aditivos usados en la fabricación del polietileno espumado.

Los resultados obtenidos de los espectros de infrarrojo (IR) son expresados en  $\text{cm}^{-1}$  y los espectros de resonancia magnética nuclear (RMN) en ppm.

Se realizó un espectro de IR de la mezcla obtenida pero debido a la presencia de varios productos se procedió a una purificación usando cromatografía en placa fina, eluyendo con una mezcla de hexano-acetato de etilo-metanol (80:20:3).

Se obtuvieron espectros de IR y RMN de la sustancia purificada observándose claramente en el espectro de IR (No 1) las bandas características del grupo de alcohol en 3434, de metilos en 2920 y 1382, de metilenos en 2918 y 2850, de una cadena larga de metilenos en 720, del grupo carbonilo en 1730 y grupo éster en  $1180 \text{ cm}^{-1}$ . Del espectro de RMN (No. 2) se tuvieron señales en 0.85 de metilos, 1.20 de metilenos, 2.25 de hidrógenos pegados a carbonilo y de hidrógenos pegados a un grupo éster en 4.1 ppm.

Estos espectros corresponden al monoestearato de glicerilo aditivo muy usado en la industria alimenticia como agente emulsificante, gracias a la presencia de grupos polares y no polares. En el caso de la fabricación de espumas de polietileno su uso es importante para lograr una buena

dispersión del hidrocarburo líquido en el polímero a alta presión, cuando se libera la presión se forma una estructura celular homogénea.

### **8.2 Polietileno con EVA.**

Se realizó una extracción similar al caso anterior y después de efectuar la separación y purificación se encontró al mismo aditivo, el monoestearato de glicerilo.

Sin embargo en este caso se encontró en cantidades suficientes para identificar una segunda sustancia fué identificada como glicerina.

Para comprobar si la glicerina se adiciona a los polietilenos como aditivo para su espumado o provenía como impureza del monoestearato de glicerilo se obtuvo una muestra comercial de este último y se destiló a presión reducida, destilando primero glicerina y posteriormente el monoestearato de glicerilo, esto se determinó por medio de espectroscopía y punto de ebullición. Dependiendo del lote de fabricación la proporción de glicerina varía y se ha visto que la cantidad de glicerina tiene una influencia en la estabilización de la espuma polimérica, cuando se trabajaba con lotes de mayor contenido de glicerina, la espuma polimérica es más difícil de estabilizar

### **8.3 Polietileno importado.**

El polietileno se disolvió como en el caso anterior con tolueno caliente y se proceso en forma similar. Al evaporar el solvente dio un aceite de color amarillo claro.

Se realizó una purificación del residuo obtenido por medio de cromatografía en capa fina. Esta se llevó a cabo en una placa de sílica gel activada de 20 x 20 cm, y se eluyó en una mezcla de hexano, acetato de etilo y de metanol (80:20:3).

Se obtuvieron los espectros de IR (No. 3) donde se observan bandas características de alcohol en 3326, metilos en 2920 y 1376, metilenos en 2916 y 2848, grupo carbonilo (C=O) en 1730, y una cadena larga de metilenos en 720  $\text{cm}^{-1}$ . En el espectro (No. 4) 1.0 se registra la señal de metilos, en 1.45 la señal de metilenos en 2.9 de carbonilo y de hidrógenos vecinos a un grupo C-O-O-R 4.3 ppm. La identificación de monoestearato de glicerilo se efectuó, mediante los espectros de IR y RMN.

### **8.4 Pruebas de planta**

#### **8.4.1 Efecto de adición de copolimero de acetyl vinilo etileno (EVA).**

En la literatura se ha reportado el uso de copolimero para aumentar la estabilidad de las espumas poliméricas. Se realizaron una serie de pruebas donde se adicionaron diferentes concentraciones de copolimero (EVA) y se observó el efecto en el tamaño y estabilidad de la celda. Cuando se añade copolimero se observa una mayor estabilidad en el material espumado. Esto puede

ser debido a un reforzamiento de las paredes celulares con una consecuente reducción en la permeación del gas espumante.

Para realizar las pruebas se uso un extrusor marca PTI de 4" de diametro y una longitud de 120", cuenta de 5 zonas de calentamiento. Se realizaron dos formulaciones, la formulación A, consistió en la formulación típica del material de (polietileno, talco, monoestearato de glicerilo e hidrocarburos gaseosos), la formulación B se la adicionó el copolimero EVA de 1 a 10%.

Cuando se uso el 10% de EVA no pudo obtenerse material adecuado ya que la formación de espuma no se estabilizó colapsandose antes de adquirir estabilidad dimensional.

En una proporción de 2% de EVA, se obtuvo un material con muy buenas características observandose una mejor plasticidad en el material terminado y una reducción de un 15% en la presión del proceso de fabricación.

En cuanto a la densidad del producto final se observó una disminución de un 5% al adicionar el EVA. Esto se explica al ser más estables las celdas formadas.

Para poder evaluar las propiedades de los materiales plásticos se realizaron varias pruebas mecánicas.

### 8.5 Pruebas Mecánicas.

Las pruebas mecánicas se realizaron con 5 muestras de cada uno de los materiales y el valor mostrado es el promedio con sus desviaciones.

#### 8.5.1 Pruebas de resistencia en condiciones maximas.

	POLIETILENO SIN EVA	POLIETILENO CON EVA
Desplazamiento maximo (mm)	36.140	29.48
Elongación máxima (%)	66.930	54.60
Carga máxima (KN).	0.0057	0.0059
Esfuerzo máximo (Mpa).	0.0912	0.0993
Compresión (Mpa).	0.1818	0.02575
Conductividad Btu in/ft <sup>2</sup> hr °C	1.003	1.325

Tabla 4. Pruebas de resistencia en condiciones máximas.

### 8.5.2 Pruebas de resistencia en condiciones a la ruptura.

	POLIETILENO SIN EVA	POLIETILENO CON EVA
Desplazamiento a la ruptura (mm)	41.610	36.02
Elongación a la ruptura (%)	77.060	66.70
Carga a la ruptura (KN).	0.0048	0.0051
Esfuerzo a la ruptura (Mpa).	0.0761	0.0861

Tabla 5. Pruebas de resistencia en condiciones a la ruptura.

Como se puede observar, el polietileno sin EVA soporta menos carga que el polietileno con EVA, además de que sufre una mayor deformación.

Con respecto a la deformación a la ruptura puede decirse que nuevamente el polietileno con EVA resiste más, ya que no llega a deformarse mas que el polietileno sin EVA y soporta más carga.

### 8.6 Tamaño de celda .

#### 8.6.1 Comparacion del tamaño de celda entre el polietileno sin EVA y con EVA.

CALIBRE	POLIETILENO SIN EVA	POLIETILENO CON EVA
1/4"	4.17 mm <sup>2</sup>	5.64 mm <sup>2</sup>
0.200"	4.63 mm <sup>2</sup>	2.05 mm <sup>2</sup>
3/16"	3.86 mm <sup>2</sup>	1.75 mm <sup>2</sup>
1/8"	2.95 mm <sup>2</sup>	1.83 mm <sup>2</sup>
3/32"	0.91 mm <sup>2</sup>	2.34 mm <sup>2</sup>
1/16"	1.31 mm <sup>2</sup>	1.84 mm <sup>2</sup>
0.040"	0.94 mm <sup>2</sup>	2.56 mm <sup>2</sup>

Tabla 6. Tamaño de celda.



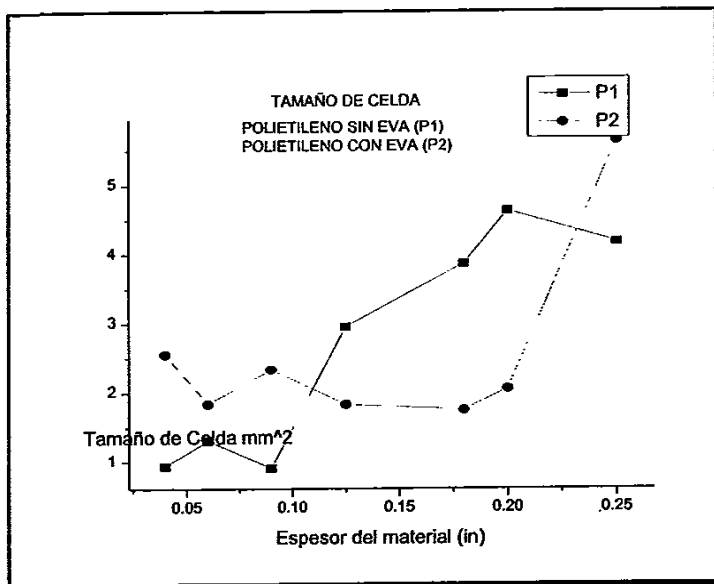


Figura 1. Tamaño de celda.

El tamaño de celda en ambos materiales tiende a aumentar conforme aumenta el espesor y esto se aprecia más en el polietileno sin EVA. Observando la gráfica se aprecia que el polietileno sin EVA tiende a ser uniforme en los primeros 3 calibres o espesores, aumentando considerablemente en los últimos cuatro. En cambio el segundo material, su tamaño de celda tiende a aumentar uniformemente hasta las 0.200 pulgadas.

El espesor del material se logra por medio de la tensión que se aplique al material en el momento en que sale del dado formador, si se desean espesores pequeños se aplica mayor velocidad al embobinador de tal manera que la tensión aumenta por lo tanto, si es menor la tensión el espesor tenderá a aumentar.

### 8.6 Envejecimiento acelerado.

Con el propósito de observar el efecto de envejecimiento acelerado de los materiales se utilizó un reactor fotoquímico RAYONET TRADE MARK con lámparas de luz ultravioleta de 2537A las muestras fueron irradiadas en un intervalo de 0 a 10 hrs. Una vez irradiadas se realizaron pruebas de tensión y de compresión con las mismas condiciones con que se realizaron las muestras sin irradiar. Estas pruebas también se aplicaron en los polietilenos sin EVA y con EVA. Los resultados fueron los siguientes:

**8.6.1. Polietileno sin EVA.**

**8.6.1.1 Pruebas de resistencia a condiciones máximas.**

Tiempo (Hrs)	Desplazamiento máximo (mm).	Elongación (%)	Carga máxima (KN).	Esfuerzo máximo (Mpa).
0	36.140	66.930	0.0057	0.0912
1	39.23	72.64	0.0061	0.1137
2	33.52	62.070	0.0052	0.0989
3	34.300	63.52	0.0062	0.1011
4	31.54	58.40	0.0051	0.0926
5	26.34	48.78	0.0050	0.0829
6	31.78	58.85	0.0054	0.0991
10	23.54	43.59	0.0029	0.0491

Tabla 7. Pruebas de resistencia a condiciones máximas

**8.6.1.2 Pruebas de resistencia en condiciones de la ruptura.**

Tiempo (Hrs)	Desplazamiento a la ruptura (mm).	Elongación a la ruptura (%)	Carga a la ruptura (KN).	Esfuerzo a la ruptura (Mpa).
0	41.610	77.060	0.0048	0.0761
1	44.24	81.92	0.0047	0.0879
2	41.680	77.180	0.0043	0.0832
3	39.7400	73.59	0.0050	0.0810
4	35.97	66.60	0.0038	0.0703
5	29.26	54.19	0.0037	0.0609
6	35.04	64.89	0.0045	0.0822
10	25.46	47.15	0.0024	0.0392

Tabla 8. Pruebas de resistencia en condiciones de la ruptura.

### 8.6.2 Polietileno con EVA.

#### 8.6.2.1 Pruebas de resistencia en condiciones máximas.

Tiempo (Hrs)	Desplazamiento máximo (mm).	Elongación (%)	Carga máxima (KN).	Esfuerzo máximo (Mpa).
0	29.48	54.60	0.0059	0.0993
1	30.35	56.21	0.0052	0.0911
2	54.16	100.30	0.009	0.1592
3	52.82	97.82	0.0093	0.1645
4	47.11	87.24	0.0083	0.1630
5	22.26	41.22	0.0037	0.0716
6	20.99	38.87	0.0038	0.0839
7	24.28	42.00	0.0040	0.0650
8	16.90	31.29	0.0029	0.0597
9	22.20	41.11	0.0038	0.0744
10	25.87	47.91	0.0062	0.1216

Tabla 9. Pruebas de resistencia en condiciones máximas.

#### 8.6.2.2 Pruebas de resistencia en condiciones de la ruptura.

Tiempo (Hrs)	Desplazamiento a la ruptura (mm).	Elongación a la ruptura (%)	Carga a la ruptura (KN).	Esfuerzo a la ruptura (Mpa).
0	36.02	66.70	0.0051	0.0861
1	38.45	71.20	0.0034	0.0590
2	60.47	112.00	0.0079	0.1391
3	58.70	108.7	0.0081	0.1445
4	52.18	96.63	0.0063	0.1245
5	28.05	51.94	0.0025	0.0479
6	25.07	46.42	0.0028	0.0625
7	27.58	48.12	0.0029	0.0393
8	20.81	38.54	0.0023	0.0467
9	27.42	50.77	0.0022	0.0506
10	29.55	54.72	0.0054	0.1061

Tabla 10. Pruebas de resistencia en condiciones de la ruptura.

### 8.6.3 Módulo elástico del polietileno sin EVA y con EVA.

Tiempo de Irradiación	Polietileno sin EVA	Polietileno con EVA
Hrs	Módulo elástico MPa	Módulo elástico MPa
0	0.1818	0.02575
1	0.2177	0.07205
2	0.2257	0.073
3	0.1884	0.04798
4	0.1901	0.0836
5	0.1961	0.07991
6	0.1761	0.07962

Tabla 11. Módulo elástico

### 8.6.4 Gráficas de las pruebas de resistencia de los polietilenos sin EVA y con EVA.

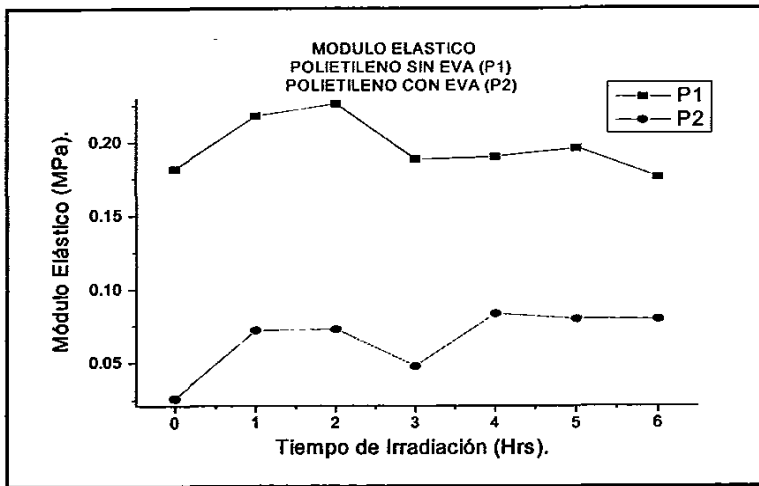


Figura 2. Módulo elástico

El módulo elástico nos indica la resistencia de un material a la compresión. Los valores graficados corresponden al módulo elástico contra en tiempo de irradiación de las muestras. Ambos materiales presentaron un comportamiento distinto tanto inicial como final. El polietileno sin EVA tiene un incremento inicial en su módulo elástico pero al seguirlo irradiando se reduce su módulo elástico. En el polietileno con EVA se observa un incremento de su módulo elástico al transcurrir la irradiación. Ambas muestras tienden a aumentar su resistencia al ser irradiadas hasta alcanzar su máximo valor, sin embargo mientras que el polietileno sin EVA tiende a disminuir su resistencia en las muestras restantes, el polietileno con EVA aumenta su módulo elástico.

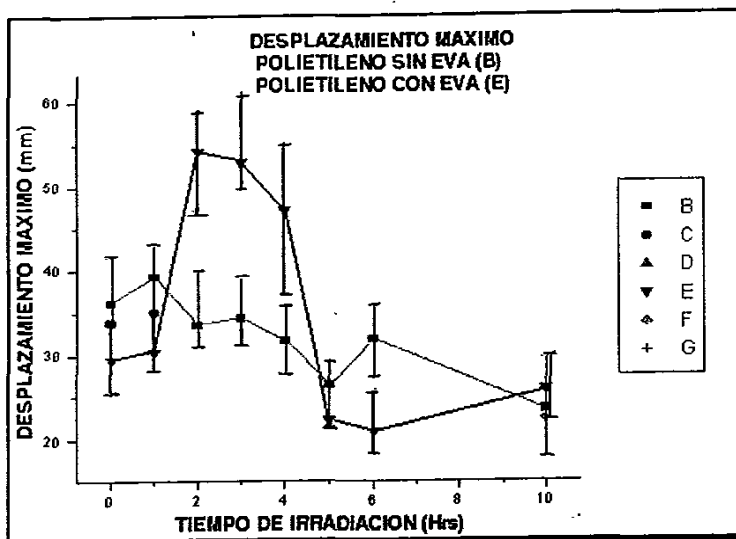


Figura 3. Desplazamiento Máximo.

Cuando se analiza el desplazamiento máximo se observa que el material con EVA tiene un mayor desplazamiento que sin EVA.

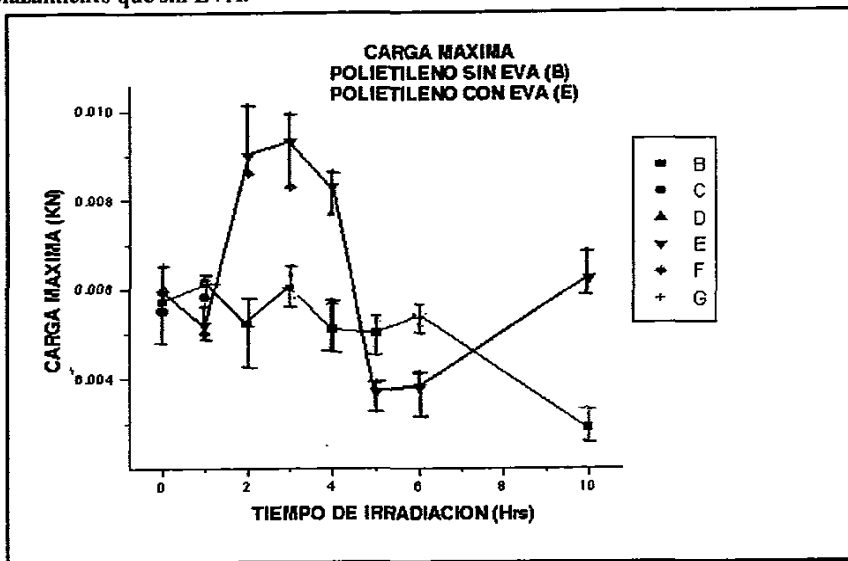


Figura 4. Carga máxima.

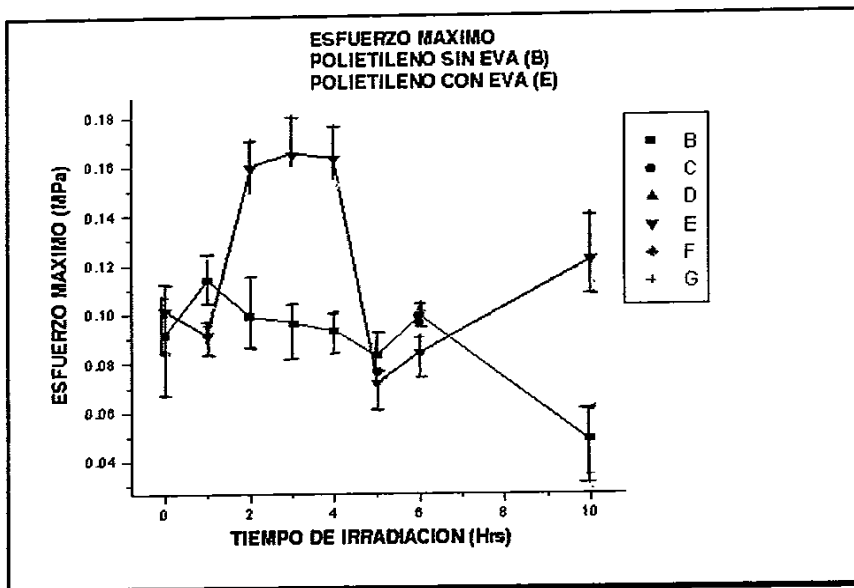


Figura 5. Esfuerzo máximo.

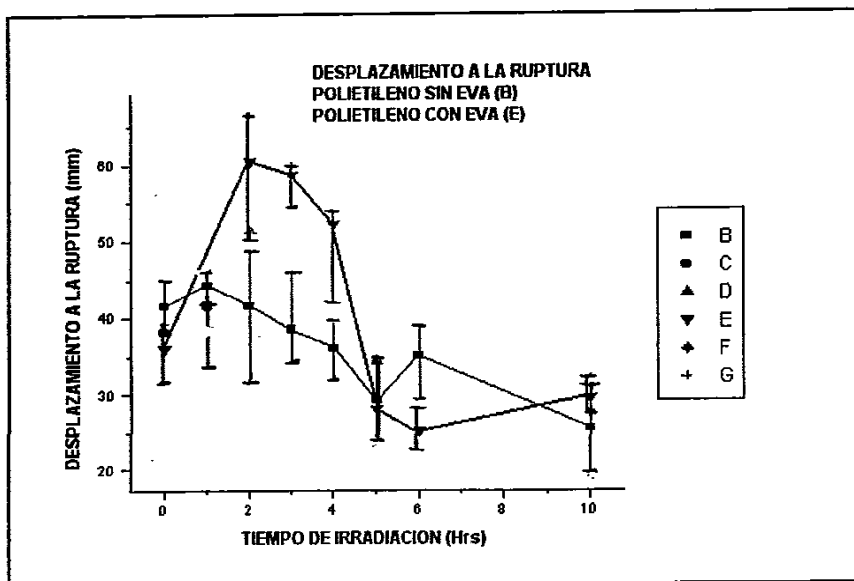


Figura 6. Desplazamiento a la ruptura.

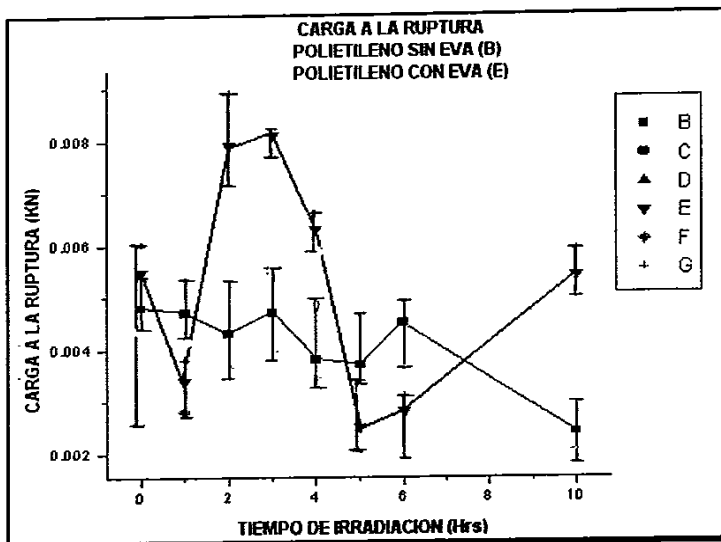


Figura 7. Carga a la ruptura.

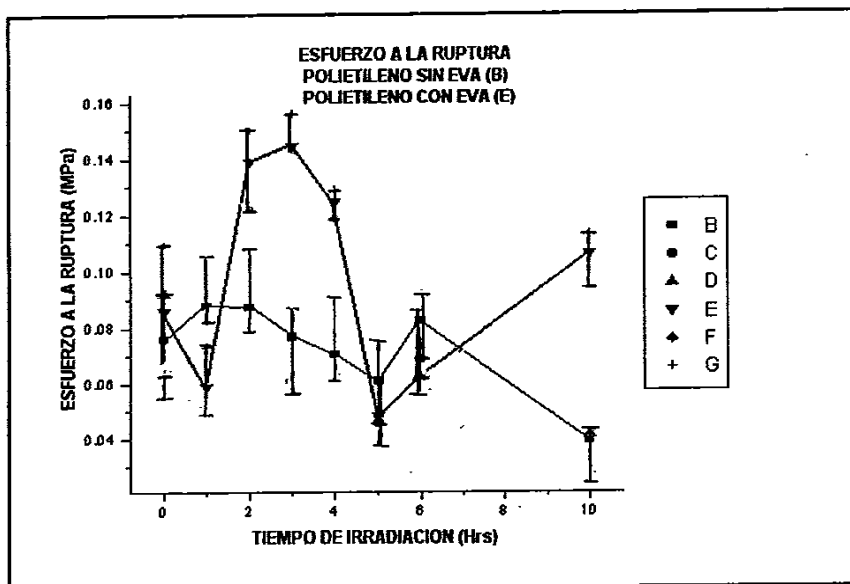


Figura 8. Esfuerzo a la ruptura.

**La tensión nos indica la capacidad que tiene un material para deformarse sin llegar a la ruptura por medio de ella podemos evaluar la resistencia de los materiales al aplicar una fuerza.**

**El comportamiento del polietileno sin EVA y con EVA tendió a ser similar al ser sometidos a la deformación, a pesar de que ambos tienden a aumentar su resistencia el polietileno con EVA tiende a resistir más este esfuerzo.**

**Como se puede observar el polietileno con EVA tiende ser más resistente aún sin irradiar y conforme se somete a la luz UV obtiene su máxima resistencia entre la tercera y cuarta hora de irradiación, mientras que el plástico nacional 1 la alcanza en la primera hora y decrece su resistencia posteriormente.**



## **IX. CONCLUSIONES**

Los aditivos influyen notablemente en las características de resistencia de los materiales; de ahí, la importancia en el momento de elegir la formulación adecuada que proporcione las mejores condiciones a la espuma plástica.

- A) Los tres plásticos tuvieron como aditivo común al monoestearato de glicerilo. Por lo que este aditivo juega un papel muy importante en la fabricación de la espuma de polietileno, ya que además de dar estabilidad al espumado funciona como antiestático.
- B) Comparando los materiales espumados fabricados con EVA y sin EVA, las diferencias más notables fueron:

B.1) La incorporación de EVA en la formulación dio un plástico espumado con mayor resistencia a la tensión.

B.2) La incorporación de EVA en la formulación dio un plástico con menor resistencia a la compresión, es decir más flexible.

B.3) El tamaño de celda cambia con respecto al espesor de la lámina espumada y cuando la celda es más pequeña la resistencia a la deformación es mayor.

B.4) El EVA funciona como un plastificante polimérico.

Con respecto al análisis del envejecimiento en ambos plásticos, se llegó a la conclusión de que el plástico sin EVA se degrada más rápidamente con los rayos ultravioleta. Por lo que se recomienda su uso en aplicaciones donde no va estar expuesto a la interperie por mucho tiempo.

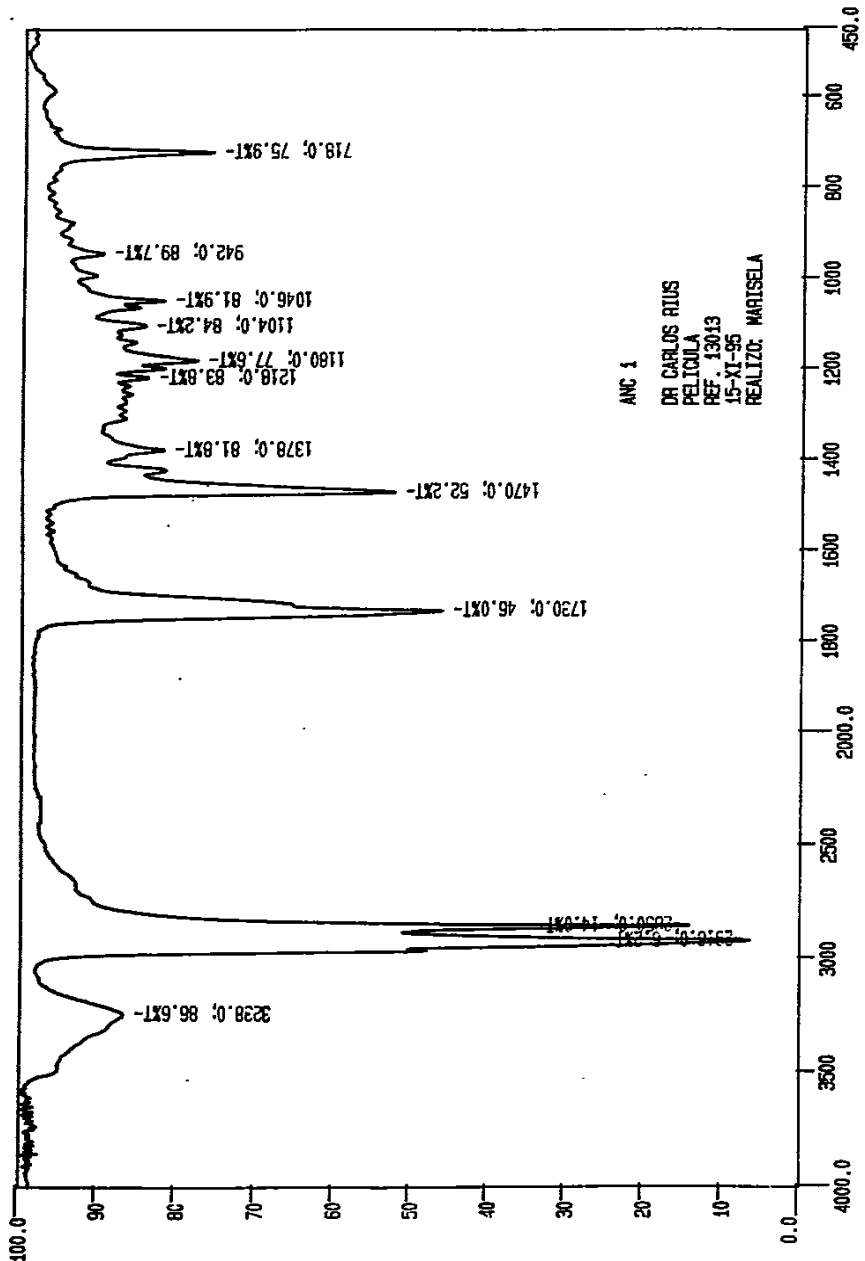
Por otra parte, el plástico con EVA, es más resistente a la luz ultravioleta ya que su resistencia mecánica aumenta con dicha luz, por lo tanto puede recomendarse éste material espumado para ser usado en condición de la interperie.

En cuanto al procesamiento se concluyó que la adición del EVA produce una reducción en las presiones de extrusión requiriendose menor energía y por lo tanto hay una economía en el proceso de producción.

**X. BIBLIOGRAFIA**

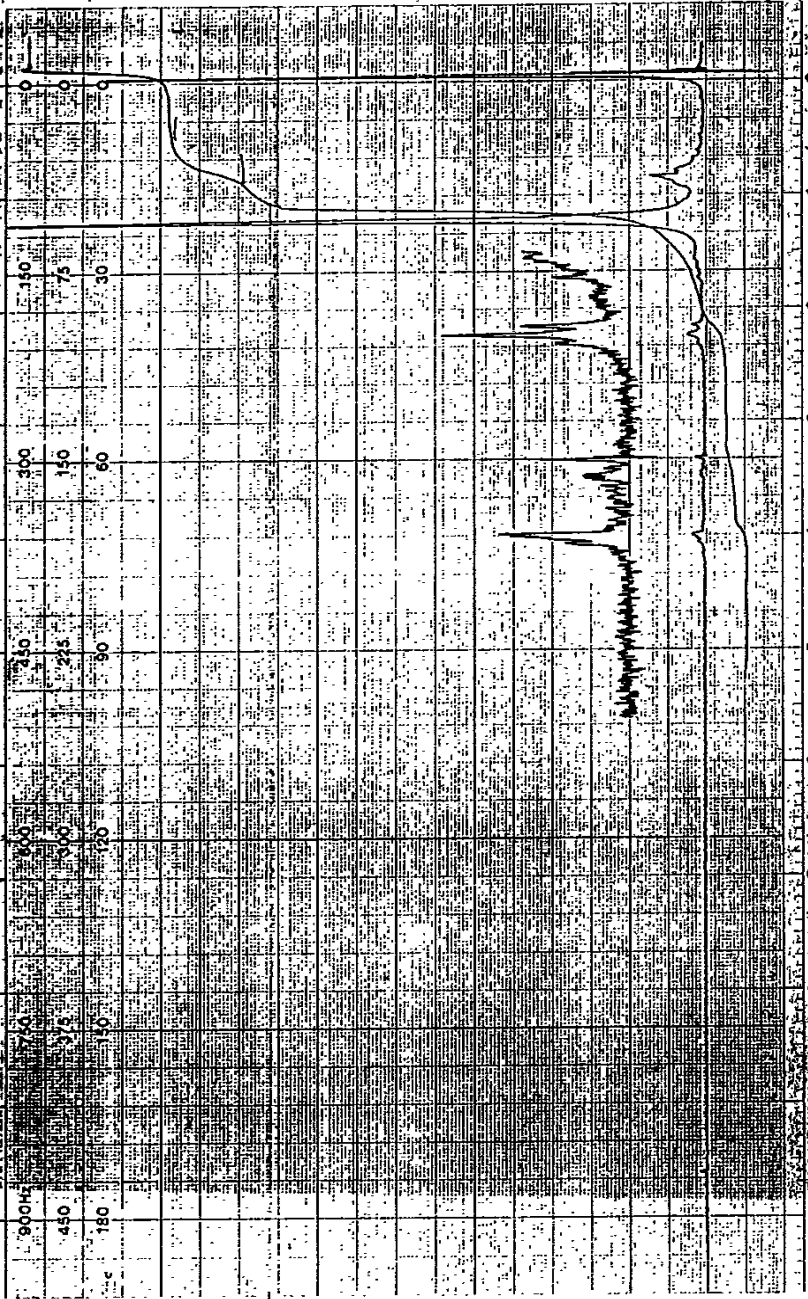
- 1. Plastics Material and Processes.** Schwartz, Seymour, and Sidney H. Ed. Reinhold. New York. 1982.
- 2. Química Orgánica.** Morrison Boyd. Ed. Addison-Wesley Iberoamericana. México. 1990.
- 3. Polyethylene (Commercial) Polymeric Materials.** Encyclopedia. Joseph C. Salamone. Ed. CRC.Press. New York. 1996.
- 4. Espumas Plasticas Estructurales.** Ingeniero Humberto Reyes M. Editorial Diana. México. 1978.
- 5. Polyethylene (Stabitization and Compounding).** Polymeric Materials. Encyclopedia. Joseph C. Salamone. Ed. CRC.Press. New York. 1996.
- 6. Polyethylene Foams.** Guillermina Burillo. Instituto de Ciencias Nucleares. UNAM. Polymeric Materials. Encyclopedia. Joseph C. Salamone. Ed. CRC.Press. New York. 1996.
- 7. Use of Inert Gases in Extruded Medium Density Polypropylene Foamn.** S. K DEY, P, NATARAJAN and XANTHOS. Journal of Vinil &Additive Technology, December 1996, Vol. 2, No. 4.
- 8. Handbook of Polymeric Foam Technology. Fundamentals of Foam Formation.** J. H. Saunders. Daniel Klempner and Kurt C. Frisch. 1991.
- 9. Extrusión de Plásticos.** Ramón Anguita Delgado. Editorial H. Blume Ediciones. Madrid. 1980.
- 10. Extrusión de Plásticos. Principios Básicos.** Luis Francisco Ramos de Valle. Editorial Limusa. México. 1993.
- 11. Extrusion of Polypropylene Foams With Hydrocerol and Isopentane.** Amir H. Behravesh, Chul B. Park, Lewis K. Cheung, and Ronald D. Venter. Journal of Vinil &Additive Technology, December 1996, Vol. 2, No. 4.
- 12. The Aldrich Library of FT - IR Spectra.** Vol. 2. Charles J. Pouchert. Ed Aldrich Chemical Company Inc. 1985.

## ***XI. ESPECTROS***



1-42

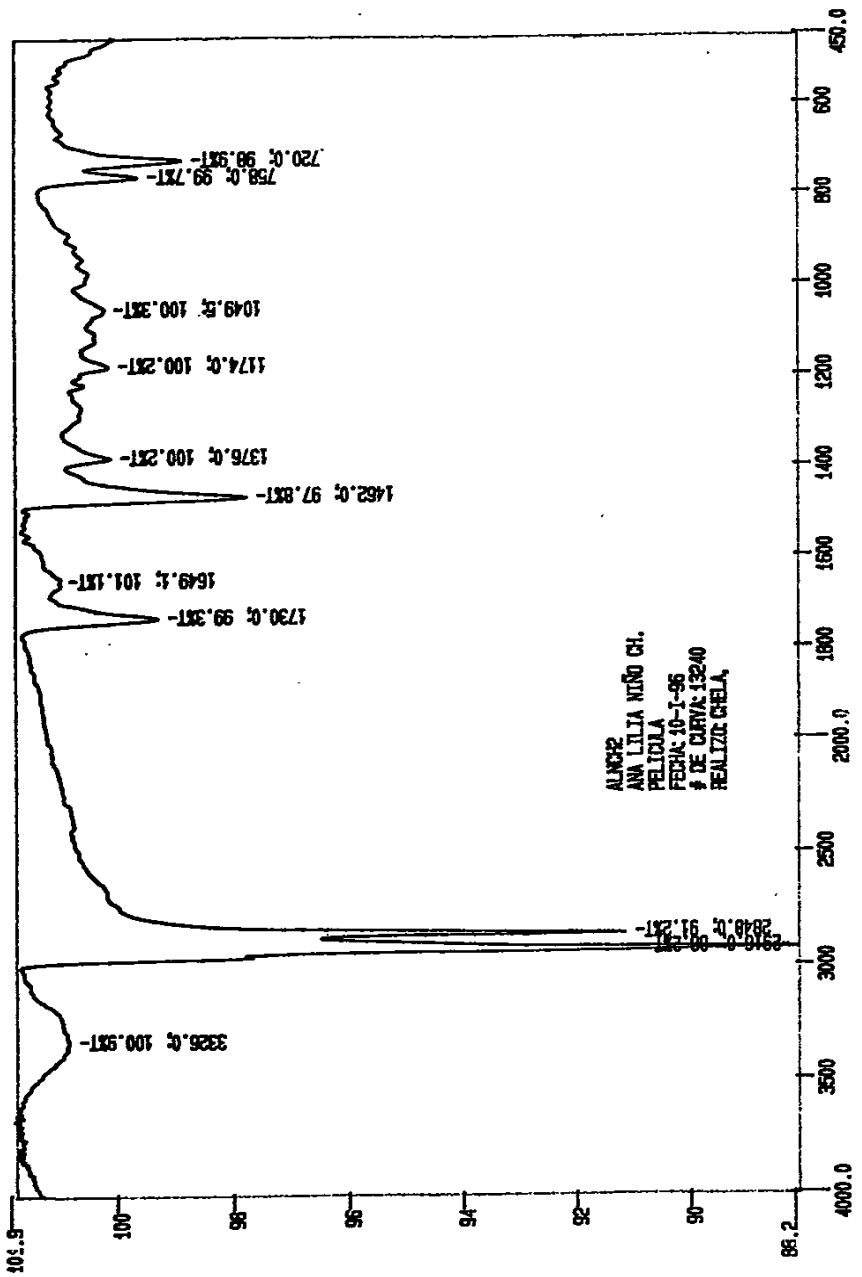
START OF SWEEP → END OF SWEEP



10ppm  
9ppm  
8ppm  
7ppm  
6ppm  
5ppm  
4ppm  
3ppm  
2ppm  
1ppm  
0

LOCK POS. \_\_\_\_\_ SPECTRUM AMPL 6.8 K<sub>100</sub> SWEEP TIME 5 min NUCLEUS H OPERATOR Allyson  
 LOCK POWER \_\_\_\_\_ FILTER 6.05 sec SWEEP WIDTH 1.0 ppm ZERO REF. TMS SAMPLE Acetone DATE 15-11-95  
 DECOUPLING POWER \_\_\_\_\_ RF POWER 0.05 mg END OF SWEEP 0 ppm SAMPLE TEMP. A °C SOLVENT CCl<sub>4</sub> SPECTRUM NO. 3082  
 ALNth-1



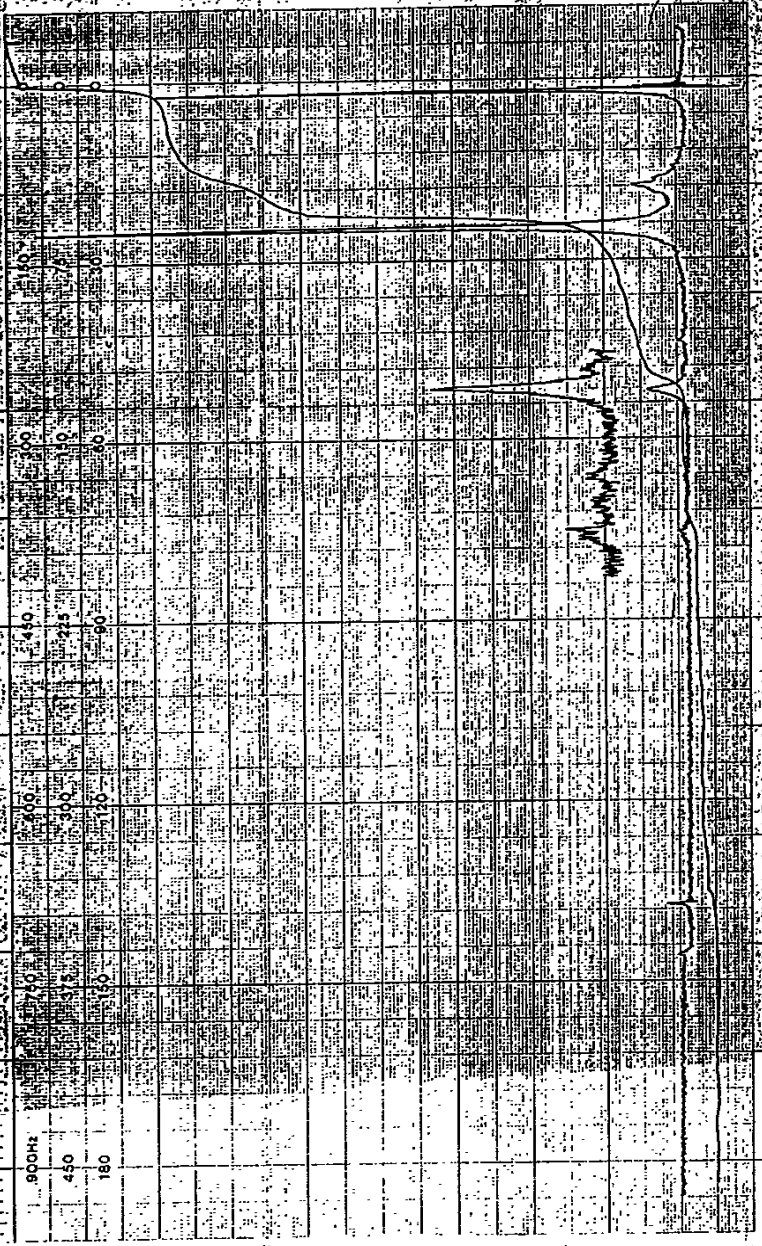


ALNCE  
 ANA LILIA NIÑO CH.  
 PELICULA  
 FECHA: 10-1-96  
 # DE CURVA: 13240  
 REALIZADOR: CHELA

CM-1

EM-390 90 MHz NMR SPECTROMETER

START OF SWEEP → END OF SWEEP



10ppm  
5ppm  
2ppm

LOCK POS. \_\_\_\_\_ ppm SPECTRUM AMPL. 2.1000 SWEEP TIME 5 min NUCLEUS a

LOCK POWER \_\_\_\_\_ mG FILTER \_\_\_\_\_ SWEPT WIDTH 10 ppm ZERO REF. 7.25 *Impure* DATE 7-5-56

DECOUPLING POWER \_\_\_\_\_ mG RF POWER 0.05 mG END OF SWEEP 0 ppm SAMPLE TEMP. A °C SOLVENT: CHCl<sub>3</sub> + JMF<sub>3</sub> SPECTRUM NO. 80-76  
*fresh prep at 21°C*

Varian Instrument Division  
Palo Alto, California

