

164



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

FACULTAD DE QUIMICA

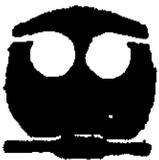
**NUEVA TECNOLOGIA EN LA PRODUCCION DEL
POLIETILENO APLICADO EN LOS EMPAQUES
FLEXIBLES DE LA INDUSTRIA ALIMENTICIA**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERA QUIMICA**

P R E S E N T A:

VERONICA GUADALUPE PEREZ AGUILAR



MEXICO, D. F.

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

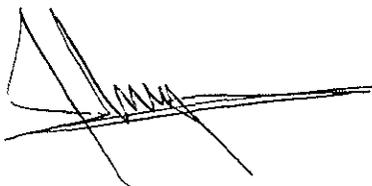
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición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

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE	PROF. JOSE LUIS PADILLA DE ALBA
VOCAL	PROF. FEDERICO GALDEANO BIENZOBAS
SECRETARIO	PROF. ALEJANDRO IÑIGUEZ HERNANDEZ
1ER. SUPLENTE	PROF. MARIA DE LOURDES GOMEZ RIOS
2DO. SUPLENTE	PROF. JOSE ALEJANDRO RAFAE VEGA SANCHEZ

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA: FACULTAD DE QUIMICA

ASESOR. ALEJANDRO IÑIGUEZ HERNANDEZ



SUSTENTANTE: VERONICA GUADALUPE PEREZ AGUILAR



DEDICATORIAS

AJ Negro,
Por su amor y comprensión en cada momento de mi vida.

A mis Padres,
Por su amor y apoyo desde el primer día en que me tuvieron en sus brazos.

A mi Asesor,
Porque gracias a su apoyo y confianza he podido lograr una de las metas más importantes en mi vida.

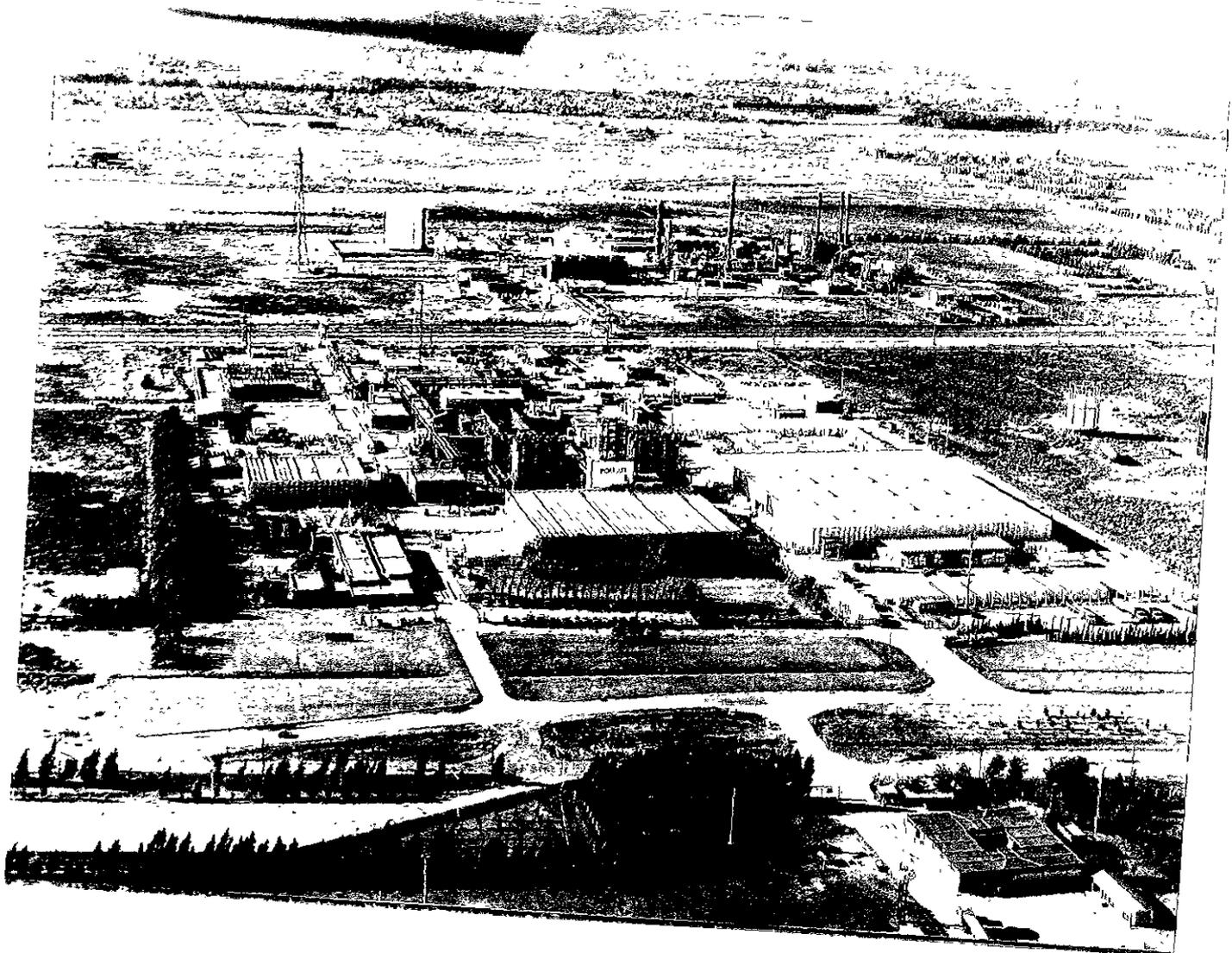
A mis hermanos y amigos,
Por su amistad y cariño.

A México y a la UNAM.
Por el orgullo que siento de formar parte de su comunidad

“Lo que hay detrás de nosotros es nada comparado con lo que hay dentro y delante de nosotros”
- Anónimo

I. INTRODUCCION	1
II. GENERALIDADES E HISTORIA DE LOS PLASTICOS	4
III. OBTENCION DE POLIETILENO S	
A. HISTORIA	
B. DESCRIPCION DEL PROCESO DE OBTENCION DEL MONOMERO DE ETILENO	
C. CLASIFICACION	
D. PRODUCCION	
IV. SUMINISTRO Y DEMANDA DEL POLIETILENO 14	
A. Total	
B. Polietileno de Alta Densidad	
C. Polietileno de Baja Densidad	
D. Polietileno Lineal de Baja Densidad	
V. PROPIEDADES	16
A. Polietileno de Baja Densidad (PEBD O LDPE)	
B. Polietileno Lineal de Baja Densidad (PELBD o LLDPE)	
C. Polietileno de Alta Densidad (PEAD o HDPE)	
D. Polietileno de Alto Peso Molecular de Alta Densidad (HMW-HDPE)	
E. Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular	
F. Ionomeros	
G. Metallocenos	
a) Plastómeros de Poliolefina	
b) Nuevos Polietilenos elaborados con Tecnología Insite Elite	
c) Elastómeros de Poliolefina	
VI. PROCESOS DE TRANSFORMACION	27
A. La Coextrusión	

VII. APLICACIONES	35
A. Películas Plásticas en la Agricultura	
1. Películas para Cubiertas de Invernaderos	
2. Películas para Túneles Pequeños	
3. Películas para Acolchados	
4. Películas para el ensilado de forrajes	
5. Otras aplicaciones de películas agrícolas: Bolsas para la protección del banano en la planta.	
B. Alternativas en Empaque de Atmósfera Modificada de Verduras y Frutas Frescas	
C. Empaques para Envases Automáticos	
VIII. MANEJO Y RECICLADO DEL POLIETILENO	61
IX. CONCLUSIONES	64
X. BIBLIOGRAFIA	65



I. INTRODUCCION

Desde tiempos remotos, el hombre ha buscado, imaginado y creado nuevas formas y productos que le permitan tener una vida más confortable y placentera. Gracias a la capacidad que la naturaleza le brindó, el ser humano ha sabido aprovechar los recursos de la tierra para transformarlos en utensilios y herramientas que han mejorado su calidad de vida.

En el presente siglo y junto con el desarrollo de la tecnología, la humanidad ha dado pasos agigantados en este ámbito, en el que el plástico resulta ser uno de los materiales más importantes. ya que cada vez cobra más fuerza y presencia en el mercado, por lo que se aplica no sólo en los productos más simples y de uso cotidiano (no por ello menos importantes), sino también en nuevas tecnologías, ejemplo de ello es su participación en el mundo de la cibernética, el cómputo, la medicina o la aeronáutica.

El crecimiento del uso de este material a nivel mundial es constante, de tal suerte se dice que el milenio venidero inicia con *el Siglo del Plástico*.

Dicha importancia se refleja en los índices de crecimiento que, mantenidos a lo largo de algunos años desde principios de siglo, superan a casi todas las demás actividades industriales y grupos de materiales.

En 1997 la producción mundial de plásticos alcanzó los 145 millones de toneladas y para el año 2000 llegó a 160 millones de toneladas. En la actualidad nuestro país ocupa el cuarto lugar como productor de petróleo, el número 17 en producción de plásticos y sólo consume 2.6 millones de toneladas, es decir 1.8 por ciento de la producción mundial. El consumo per capita de plásticos en nuestro país es todavía muy bajo (29 Kg.) comparado con el de los países industrializados, como los Estados Unidos (120 Kg.) y Canadá (130 Kg.).

Consumo Mundial de Materias Primas

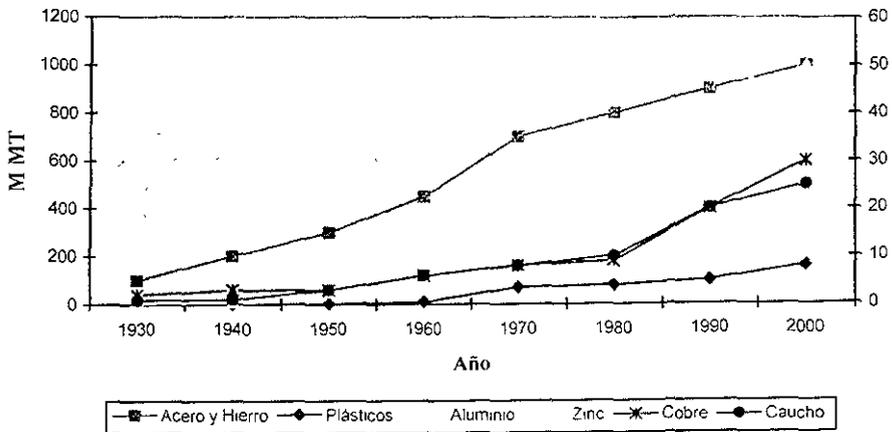


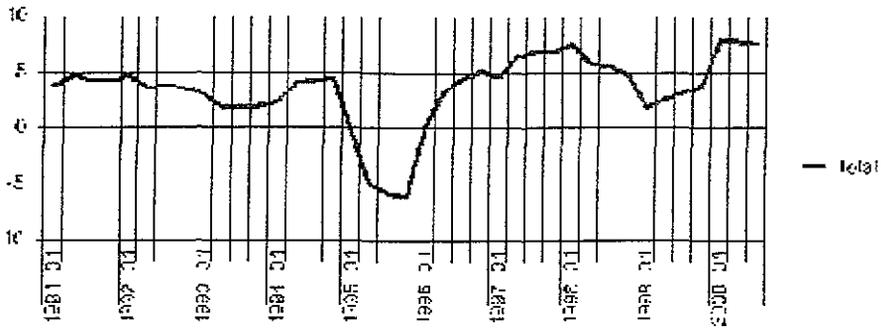
Fig. 1

Fuente: Instituto Mexicano del Plástico Industrial

Los plásticos seguirán creciendo en consumo, pues están abarcando mercados del vidrio, papel, y metales debido a sus buenas propiedades y su relación costo - beneficio

Antes de la crisis mexicana de 1994, el consumo crecía a una tasa de 14 por ciento anual, y a partir de 1996 fue de 6 a 8 por ciento debido al aumento de las importaciones y a la poca integración en las cadenas productivas. En la figura 2 se observa el comportamiento del PIB de 1991 a 1999.

INDICADORES ECONÓMICOS DE COMUNIDAD. Producto Interno Bruto. A Precios de 1993.



Declaración de INEGI. Metodología: Proyección

Figura 2

Fuente: INEGI

El futuro de los plásticos en México es alentador, por ello y no obstante la crisis de 1994-1995, el sector realizó importaciones de maquinaria y equipo que alcanzaron los 350 millones de dólares anuales para crecer hasta llegar en 1998 a los 500 millones de dólares. Por lo tanto de seguir esta tendencia, se espera que la inversión adicional estimada en el periodo 1999-2005 sea de 600 millones de dólares anuales, lo que representa un incremento de 3 por ciento en empleos directos e indirectos.

Cabe destacar que en el país existen aproximadamente tres mil empresas transformadoras del plástico, las cuales generan cien mil empleos directos. Del total de industrias, 60 por ciento son micro - mil 800 -, 24 por ciento pequeñas - 720 -, 12 por ciento medianas - 360 - y el 4 por ciento restante grandes - 120⁴.

Los sectores que más consumen productos derivados de esta actividad son envases y empaque, construcción, muebles e industria. Envases y empaques es el más importante del mercado, ya que significa 40 por ciento del consumo total; presentan además una tendencia a la alza debido al dinamismo de alimentos y bebidas, productos farmacéuticos y cosméticos. El sector artículos de consumo ocupa el segundo lugar con 19 por ciento, y la construcción el tercero con 16 por ciento, muebles e industria representa 7 y 5.2 por ciento, respectivamente, del consumo global.

Por cuanto a las importaciones del plástico, el 76.4 por ciento provienen de Estados Unidos, el 3.5 por ciento de Canadá, el 3.3. por ciento de Alemania y el restante de los países asiáticos.

En lo que se refiere a las exportaciones de materias primas, desde 1995 han mantenido crecimientos superiores a 10 por ciento, con el PVC como el plástico más importante por su volumen, segundo del PET, propileno y poliestireno.

Actualmente, México es el cuarto productor mundial de petróleo, con alrededor de tres millones de barriles diarios. Tomando en cuenta la gran riqueza petrolera nacional (primer eslabón de esta cadena productiva) y considerando que la transformación de plásticos añade hasta 70 veces más valor que la refinación, es una necesidad del sector contar con una industria petroquímica fuerte, sólida, dinámica y competitiva. Así se lograría un desarrollo integrado y sustentable en la industria del plástico en México.

El propósito del sector plástico es agregar valor a los recursos naturales no renovables (como el petróleo y el gas) en beneficio del país, así como contar con una industria estable y enlazada como cadena, para presentar una fortaleza mayor en la competitividad dentro del ámbito de la globalización.

Dentro los termoplásticos, el polietileno es de los de más alto consumo debido a sus ventajas competitivas como son: disponibilidad, precio, desempeño físico, reciclaje y reducción de residuos. Las resinas de polietileno mejoradas son una nueva familia de polímeros producidos mediante la tecnología de catalizadores de geometría restringida, que nos permite ejercer un control extraordinario sobre la distribución molecular de los polímeros.

Esa flexibilidad de diseño, junto con la utilización de técnicas de simulación avanzadas, han permitido obtener estructuras moleculares altamente diferenciadas, lo que hace que las resinas producidas mediante catalizadores de base metalocenos constituyan una categoría totalmente nueva. Propiedades que anteriormente eran antagónicas, ahora pueden obtenerse simultáneamente. Estas resinas ofrecen amplias ventajas en la transformación, como son: mejora de las características mecánicas, mayor potencial de reducción de los espesores, elevados niveles de producción y alta productividad, disminución del consumo energético y oportunidades para obtener una ventaja competitiva.

Estos nuevos desarrollos se han obtenido como resultado de la continua investigación y práctica de la reducción y eliminación de residuos, reciclaje, eficiencia energética, seguridad de los productos y otros programas de tutela ecológica dedicados a la protección y mejora de la calidad del aire y los recursos hidráulicos y terrestres.

II. GENERALIDADES E HISTORIA DE LOS PLÁSTICOS.

La palabra **plásticos** deriva del griego “**plastikos**” que significa “Capaz de ser moldeado”, sin embargo esta definición no es suficiente para describir de forma clara a la gran variedad de materiales que así se denominan.

Técnicamente los plásticos son sustancias de origen orgánico formadas por largas cadenas macromoleculares que contienen en su estructura carbono e hidrógeno principalmente. Se obtienen mediante reacciones químicas entre diferentes materias primas de origen sintético o natural. Es posible moldearlos mediante procesos de transformación aplicando calor y presión.

Los plásticos son parte de la gran familia de los Polímeros. Polímeros es una palabra de origen latín que significa poli = muchas y meros = partes, de los cuales se derivan también otros productos como los adhesivos, recubrimientos y pinturas.

El desarrollo histórico de los plásticos comenzó cuando se descubrió que las resinas naturales podían emplearse para elaborar objetos de uso práctico. Estas resinas como el betún, la guatapercha, la goma laca y el ámbar, son extraídas de ciertos árboles, y se tienen referencias de que ya se utilizaban en Egipto, Babilonia, la India, Grecia y China. En América se conocía otro material utilizado por sus habitantes antes de la llegada de Colón, conocido como hule o caucho.

El hule y otras resinas presentaban algunos inconvenientes, y por lo tanto, su aplicación resultaba limitada. Sin embargo, después de muchos años de trabajos e investigaciones se llegaron a obtener resinas sintéticas, mediante tratamientos químicos y físicos de resinas naturales.

Se puede decir que la primera resina sintética fue el hule vulcanizado, obtenida por Charles Goodyear en 1839 al hacer reaccionar el azufre con la resina natural caliente. El producto obtenido resultó ser muy resistente a los cambios de temperatura y a los esfuerzos mecánicos.

A mediados del siglo XIX, el inventor inglés Alexander Parkes obtuvo accidentalmente la nitrocelulosa, mediante la reacción de la celulosa con ácido nítrico y sulfúrico, y la llamó “Parkesina”, que con aceite de ricino se podía moldear. Sin embargo, debido a su inflamabilidad, no tuvo éxito comercial.

Alrededor de 1860, en los Estados Unidos surgió el primer plástico de importancia comercial gracias a un concurso para encontrar un material que sustituyera al marfil en la fabricación de bolas de billar (en esa época se utilizaba tanto marfil, que se sacrificaban 12,000 elefantes para cubrir la demanda) Casualmente los hermanos Hyatt trabajaban con el algodón tratado con ácido nítrico, siendo un producto muy peligroso que podía utilizarse como explosivo. Aprovechando la idea de Parkes, sustituyeron el aceite de ricino por alcanfor y al producto obtenido le llamaron “Celuloide”, el cual hizo posible la producción de varios artículos como peines, bolas de billar y películas fotográficas

Otro plástico sintético que tuvo buena aceptación comercial fue el que desarrollaron Krishce y Spitteler en 1897, debido a la demanda de pizarrones blancos en las escuelas alemanas. Este material se fabricó a base de Caseína, una proteína extraída de la leche al hacerla reaccionar con formaldehído. Su principal aplicación fue la elaboración de botones

En 1899 Leo H. Baekelan, descubrió la baquelita, la cuál se obtiene mediante la reacción del fenol con formaldehído

Aunque en el siglo XIX se observó en diversos laboratorios que, por la acción de la luz o del calor, muchas sustancias simples, gaseosas o líquidas se convertían en compuestos viscosos o incluso sólidos, nunca se imaginó el alcance que tendría estos cambios como nuevas vías de obtención de plásticos

El siglo XX puede considerarse como el inicio de “La Era del Plástico”, ya que en esta época la obtención y comercialización de las resinas sintéticas ha sido continuamente incrementadas y el registro de patentes se presenta en número creciente.

En 1907 salió al mercado la resina fenólica “Baquelita”, mientras Staudinger trabajaba en la fabricación del poliestireno y Otto Rhom enfocaba sus estudios al acrílico, que para 1930 ya se producía industrialmente.

Por su parte el PVC, aunque había sido sintetizado desde 1872 por Bauman, fue hasta 1920 cuando Walmon Semon, mezclándolo con otros compuestos, obtuvo una masa parecida al caucho, iniciándose así la comercialización del PVC en 1938

El químico Herman Staudinger, premio Nobel en 1953 con sus trabajos revolucionarios iniciados en 1920, demostró que muchos productos naturales y todos los plásticos, contienen macromoléculas. Este descubrimiento hizo que se considerara como el “Padre de los Plásticos”.

Muchos laboratorios de Universidades y grandes Industrias Químicas concentraron sus esfuerzos en el desarrollo de nuevos plásticos, aprendiendo las técnicas para encauzar y dirigir casi a voluntad las reacciones químicas.

Entre los años de 1930 y 1950. debido a la Segunda Guerra Mundial surge la necesidad de desarrollar nuevos materiales que cumplan con mejores propiedades, mayor resistencia, menor costo y que sustituyeran a otros que escaseaban. Es en este período, cuando surgieron plásticos como el Nylon[®], Polietileno de Baja Densidad y el Teflón[®] en un sector de gran volumen, y la industria química adquirió el papel de suministrador importante de materiales.

Otro momento exitoso dentro de la historia de los plásticos fue en 1952, cuando K. Ziegler, premio Nobel en 1964 junto con G. Natta, descubren que el etileno en fase gaseosa resultaba muy lento para reaccionar. Ambos logran su polimerización de manera más rápida por contacto con determinadas sustancias catalizadoras a presión normal y temperatura baja. Por su parte G. Natta descubrió en 1954 que estos catalizadores y otros similares daban lugar a las macromoléculas de los plásticos con un alto ordenamiento.

La década de los sesenta se distinguió porque se lograron fabricar algunos plásticos mediante nuevos procesos, aumentado de manera considerable el número de materiales disponibles. Dentro de este grupo destacan las resinas epóxicas, Poliésteres Insaturados, y principalmente Poluretanos.

En los años siguientes, el desarrollo se enfocó a la investigación química sistemática, con atención especial a la modificación de plásticos ya conocidos mediante espumación, cambios de estructura química, copolimerización, mezcla con otros polímeros y con elementos de carga y de refuerzo.

En los años setenta y ochenta se iniciaron la producción de plásticos de altas propiedades como los Polisulfonas, Poliarietereconas y Polímeros de Cristal Líquido. Algunas investigaciones en este campo siguen abiertas

Las tendencias actuales van enfocadas al desarrollo de catalizadores para mejorar las propiedades de los materiales y la investigación de las mezclas y aleaciones de polímeros con el fin de combinar las propiedades de los ya existentes.

[®] Marca Registrada de Dupont

La materia prima más importante para la fabricación de plásticos es el petróleo, ya que de él se derivan los productos que originan diferentes tipos de plásticos. Es importante mencionar que también otras materias primas para la fabricación de plásticos son algunas sustancias naturales como la madera y el algodón de donde se obtiene la celulosa. En general, se considera al etileno, propileno y butadieno como materias primas básicas para la fabricación de una extensa variedad de monómeros que son la base de todos los plásticos.

Los polímeros son el resultado de la modificación de productos naturales o bien reacciones de síntesis partiendo de las materias primas más elementales. Estas reacciones químicas son llevadas a cabo con un catalizador, calor o luz, en las cuáles dos o más moléculas relativamente sencillas (monómeros) se combinan para producir moléculas muy grandes. A esta reacción se le llama Polimerización.

Los plásticos se obtienen generalmente por vías sintéticas, siendo las principales:

- Radicales libres
- Policondensación
- Poliadiación

Existen 4 métodos para la fabricación de polímeros:

- Polimerización en Masa
- Polimerización en Solución
- Polimerización en Suspensión
- Polimerización en Emulsión

Los criterios de clasificación de los distintos plásticos se basan en las propiedades de comportamiento en la transformación o su aplicación.

En base al comportamiento de la temperatura los polímeros se clasifican en:

- *Termoplásticos*. Se caracterizan por transformarse de sólido a líquido y viceversa por acción del calor. Estos a su vez se clasifican en amorfos (moléculas filamentosas y ramificadas en desorden) y semicristalinos (existe un orden molecular).
- *Termofijos*. Estos plásticos se mantienen rígidos y sólidos a temperaturas elevadas. Se obtienen por reticulación de productos líquidos de bajo peso molecular. A temperatura ambiente, generalmente son duros y frágiles. Debido a que no se funden no son reciclables
- *Elastómeros*. Son materiales elásticos que recuperan casi totalmente su forma original después de liberar una fuerza sobre ellos. Son insolubles y pueden descomponerse químicamente cuando se calienta más allá de su temperatura máxima de servicio. Sus macromoléculas se encuentran entrecruzadas por enlaces químicos.
- *Elastómeros Termoplásticos*. Combina propiedades especiales de los elastómeros con las posibilidades de transformación de los termoplásticos. Son copolímeros en bloque y aleaciones entre polímeros que poseen propiedades elásticas dentro de cierto rango de temperatura

Los plásticos también se clasifican de acuerdo a su polaridad. Esta se debe al desplazamiento de los electrones compartidos entre los átomos de los distintos elementos que constituyen la molécula. A medida que aumenta la polaridad, aumentan también los valores de las propiedades como resistencia mecánica, dureza, rigidez, resistencia a la deformación por calor, absorción de agua y humedad, etc y disminuye la dilatación térmica, poder de aislamiento eléctrico, permeabilidad a gases no polares, etc

Ejemplos de esta clasificación son:

- Alta Polaridad: Poliuretanos, Polifluoruro de Vinilo, Esteres de celulosa y Plásticos Termofijos.
- Polaridad Media: Estireno- Acrilonitrilo, Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno, Policloruro de Vinilo
- Polaridad Baja: Copolímeros de Etileno y Esteres Insaturados(EVA).
- No Polares: Polietileno, Polipropileno y Poliestireno.

Aunque resulta un poco subjetiva, la clasificación por consumo agrupa a los plásticos de acuerdo a su importancia comercial y sus aplicaciones en el mercado.

Los plásticos más utilizados que tienen buenas propiedades y su precio es de un nivel moderado se conocen como “Comodities” donde se incluyen al polietileno, PVC, polipropileno, poliestireno y PET.

Existe un grupo de plásticos intermedio en consumo que se caracteriza por requerir alta creatividad para el diseño de productos, principalmente en aspectos de apariencia, color, forma, al cual se le ha denominado como “Versátiles”. Incluye plásticos como el Acrílico, Poliuretano, y el grupo de Plásticos Termofijos como el Silicón, Resinas Poliéster y Epóxicas.

El término “Técnicos” o de “Ingeniería”, se usa para aquellos plásticos que presentan un alto desempeño funcional con un excelente conjunto de propiedades tales como resistencia mecánica y límites de temperatura elevados. Estos son además, significativamente más caros y en este grupo se incluye a las Poliamidas, Policarbonato y Poliéster Termoplástico.

Los polímeros denominados como “Especialidades” normalmente son asociados con una o más propiedades sobresalientes, por ejemplo, bajo índice de fricción, elevada resistencia dieléctrica, y sobre todo un elevado precio por lo que ocupa el menor porcentaje en el consumo global de plásticos.

En la siguiente tabla se observan los principales productores de algunos termoplásticos:

Material	Productor
Polietileno	Dow, Union Carbide, Equistar, Exxon.Mobil, Enichem, Novacor
Polipropileno	Himont, Amoco, Shell, Fina, DSM, Hoechst, BASF
PVC	Formosa, EVC, Oxychem, Solvay, Georgia GU, Elf Ato
Poliestireno	Dow, BASF, Chi Mei, Enichem, Asahi, Shell, Nova, Nippon
ABS/SAN	Chi Mei, General Electric, Dow, Mitsubishi, Bayer, Asahi

Fuente: Enciclopedia del Plástico, IMPI

III. OBTENCION DE POLIETILENO

A. HISTORIA

Se denominan Poliolefinas al grupo de materiales termoplásticos que se constituyen exclusivamente de átomos de Carbono e Hidrógeno, a este grupo pertenecen los:

- Polietilenos
- Polipropílenos
- Isobutilenos

La obtención de los Polietilenos surge en 1898 cuando Von Pechman obtiene el primer Polietileno a partir del diazometano.

Posteriormente en 1935 en Inglaterra los químicos W. Faucett, G.Paton, W. Perrin y G. Williams polimerizaron etileno utilizando altas presiones y temperaturas. Este descubrimiento permitió a la empresa ICI, la fabricación del Polietileno en 1938, que corresponde al Polietileno de Baja Densidad.

En 1952 K. Ziegler en Alemania desarrolló un procedimiento de polimerización de etileno sin emplear elevadas presiones, esto lo logro recurriendo a catalizadores de alquilaluminio, que ahora se conocen como catalizadores Ziegler-Natta, correspondiendo a la obtención del Polietileno de Alta Densidad.

Dos años después la compañía Phillips desarrolló un proceso de polimerización muy semejante al de Ziegler con la diferencia de obtener Polietilenos de Alta Densidad con Altos Pesos Moleculares y presentar la versatilidad de obtener también algunos grados de Polietileno de Baja Densidad.

Al término de los años 70's, surgió el Polietileno Lineal de Baja Densidad que se obtuvo a partir de una polimerización en fase gas y catalizadores de cromo modificado con sílice, además de adicionar comonomeros a las cadenas principales y de esta forma crear ramificaciones.

Estos comonomeros generalmente son moléculas de:

- Buteno
- Hexeno
- Octeno

De acuerdo a la proporción que se emplea de comonomero y el tipo de comonomero se aportan propiedades al Polietileno Lineal de Baja Densidad

Finalmente en 1990 las investigaciones de los catalizadores metalocénicos, condujeron a las compañías Exxon y Dow a la fabricación de polimeros olefinicos que combinan las cualidades de buenas propiedades mecánicas y buena procesabilidad.

B DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL MONÓMERO DE ETILENO.

El monómero de etileno se obtiene del petróleo y del gas natural mediante el craqueo a elevadas temperaturas. Otra forma de obtención es mediante la separación de las primeras fracciones obtenidas en la destilación primaria del petróleo.

Obtención de Etileno a partir de Gas Natural



Figura 3.

Obtención de Etileno a partir de Petróleo

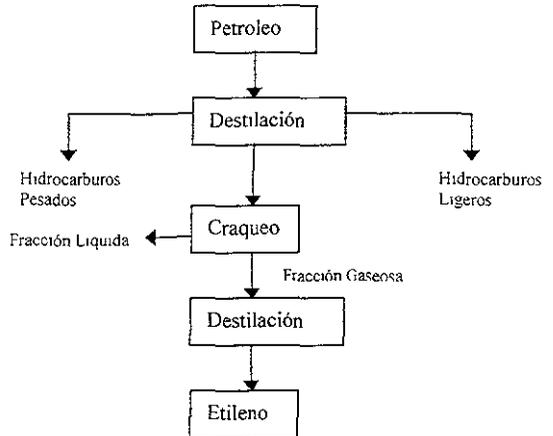


Figura 4.

Fuente: Manual Práctico para la Industria del Polietileno, Tecnología y Procesos de PEMEX

C. CLASIFICACION

Los Polietilenos se clasifican mediante:

1) Contenido de Monómero

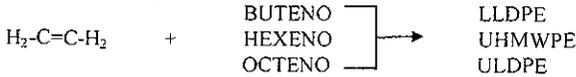
A. Homopolímero.

Es un polímero obtenido de un monómero, que con la ayuda de un iniciador (Oxígeno) realiza su polimerización:



B. Copolímero.

Es un polímero que se produce por la adición de dos o más monómeros diferentes:



2) Densidad

A. Baja Densidad de: 0.910 - 0.940 g/cm³

1. Polietileno de Baja Densidad (LDPE)
2. Polietileno Lineal de Baja Densidad (LLDPE)
3. Ultra Baja Densidad (ULDPE)

B. Alta Densidad de: 0.9410 - 0.965 g/cm³

1. Polietileno de Alta Densidad (HDPE)
2. Polietileno de Alta Densidad de Alto Peso Molecular (HMWHDPE)
3. Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (UHMWPE)

3) Peso Molecular, es la suma de las masas atómicas de los elementos que componen la molécula, multiplicado por N, que equivale al Grado de Polimerización.

A. Alto Peso Molecular

B. Ultra Alto Peso Molecular

4) Distribución del Peso Molecular

Un pellet de polietileno está compuesto de infinidad de cadenas de pesos moleculares distintos, es decir, de distintas longitudes. La distribución del peso molecular es función del Proceso de Polimerización.

A. Angosta. La mayor parte de las moléculas tienen pesos moleculares similares. Esta distribución es ideal, ya que es más uniforme en la longitud y distribución de sus cadenas y presenta mejores propiedades del producto terminado. Sin embargo, muestra algunas dificultades en el procesamiento.

B. Ancha. Es un conjunto de moléculas de alto y bajo peso molecular. Esta distribución es variada en cuanto a la longitud y distribución de sus cadenas, por lo que presenta menores propiedades mecánicas

D. PRODUCCION

Los diferentes sistemas de polimerización producen diferentes grados de Polietilenos con diferentes características y propiedades como se muestra en la siguiente tabla:

	ALTA PRESION	SUSPENSION	BAJA PRESION	GAS
Año de Desarrollo	1935	1952	1954	1979
Presión de Operación (atm)	1,000 - 3,000	18 - 40	14 - 35	7 - 21
Temperatura de Operación (°C)	80 - 300	70 - 100	130 - 160	< 100
Aditivos en Polimerización	AG de Transf De Cadena	Hexano y Comonomero	Ciclohexano	-
Iniciador ó Catalizador	Oxígeno o Peróxido de Benzoilo	Tetracloruro de Titanio	Oxido Metálico	Cloruros de Cromo, Tricloruro de Titanio ó Vanadio
Pasos Después de Polimerización	4(Separación a Alta P, Separación a Baja P, Homogeneización y Pelletizado)	4(Lavado, Separación, Secado y Pelletizado)	2(Separación y Pelletizado)	1(Separacion)
Comonómeros	-	-	-	Buteno, Hexeno, Octeno
Grado de Ramificación	Elevado	Medio	Medio	Bajo
Densidad (g/cm ³)	0.91 - 0.93	0.93 - 0.97	0.91 - 0.97	Todas
Peso Molecular (g/g mol)	100,000 - 200,000	200,000 - 400,000	300,000 - 800,000	100,000 - 500,000
Índice de Fluidez (g/10 min.)	0.1 - 100	0.01 - 50	0.5 - 100	0.01 - 100
Productos Obtenidos	LDPE	HDPE	LDPE, HMWHDPE	LLDPE, HMWHDPE

Diagrama del Proceso de Alta Presión para la Producción de Polietileno de Baja Densidad

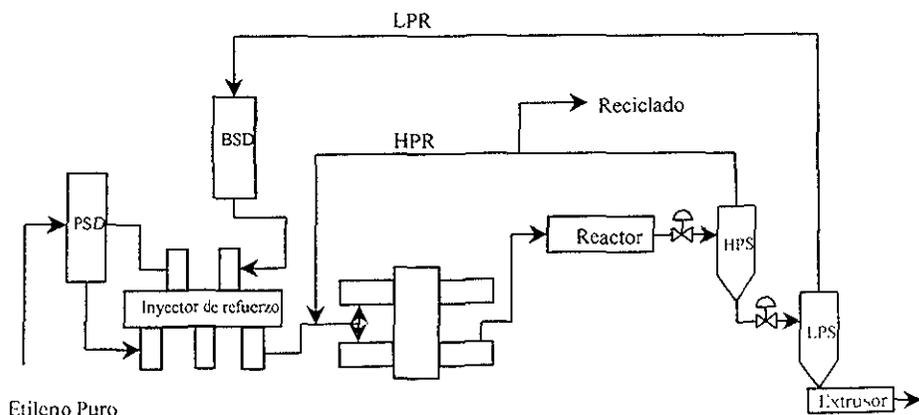


Figura 5

Fuente: Manual Práctico para la Industria del Polietileno. Tecnología y Procesos de PE-MEX

Diagrama del Reactor Autoclave para la producción del Polietileno de Baja Densidad

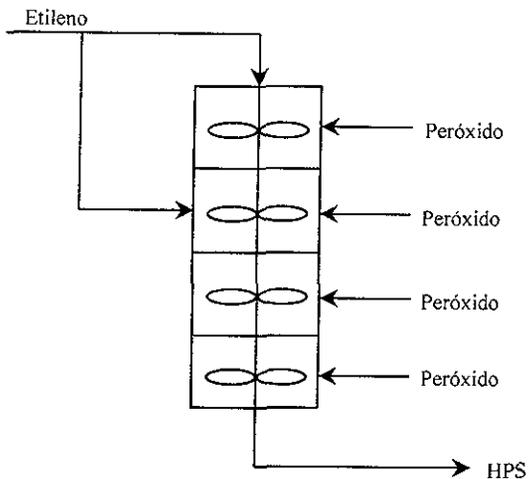


Figura 6.

Fuente: Manual Práctico para la Industria del Polietileno, Tecnología y Procesos de PEMEX

Diagrama del Reactor Tubular para la producción del Polietileno de Baja Densidad

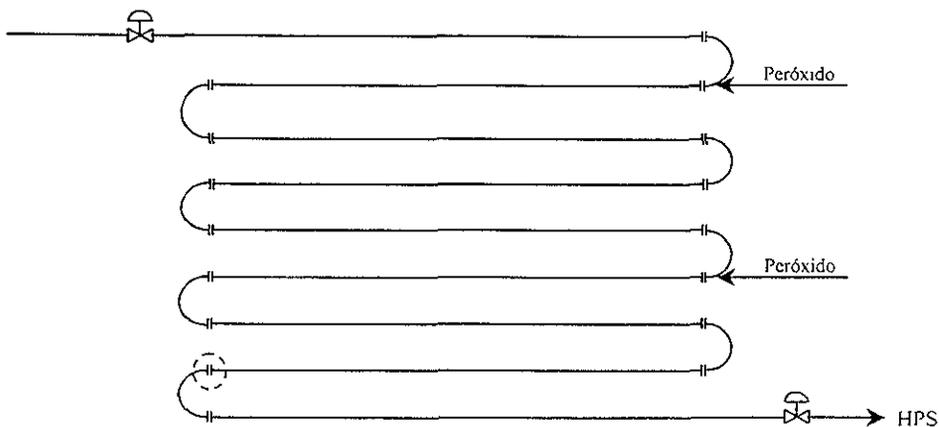


Figura 7.

Fuente: Manual Práctico para la Industria del Polietileno, Tecnología y Procesos de PEMEX

Proceso de Solución

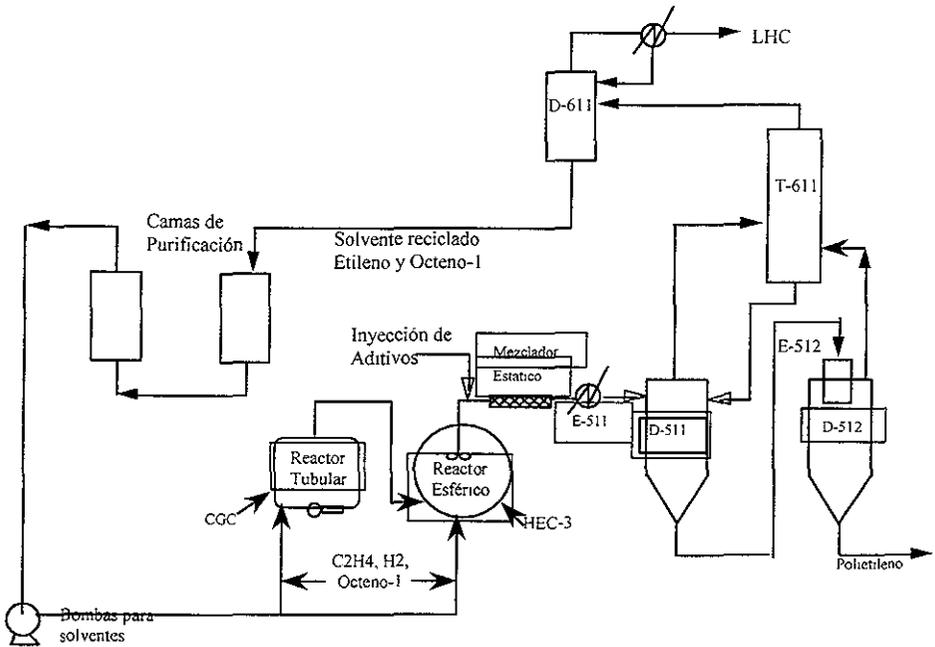


Figura 8.

Fuente. Manual Practico para la Industria del Polietileno, Tecnología y Procesos de PEMEX

Reactor Adiabático en forma esférica en el Proceso de Solución - CSTR

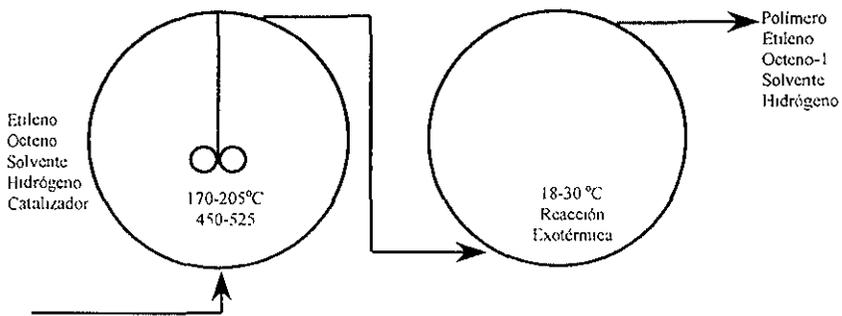


Figura 9

Fuente Manual Práctico para la Industria del Polietileno, Tecnología y Procesos de PEMEX

IV. SUMINISTRO Y DEMANDA DEL POLIETILENO.

A. Total

MMT	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2005
Capacidad	509	509	509	509	509	509	709
Producción	542	527	530	530	530	530	722
Producción/Capacidad %	106	104	104	104	104	104	102
Importaciones	359	247	330	317	384	330	743
Exportaciones	77	83	77	62	71	77	108
Balance	-282	-164	-253	-255	-313	-253	-635
Demanda Nacional	824	682	789	849	916	988	1,465
Crecimiento Anual %	11.1	-17.2	15.7	7.6	7.9	7.9	6.8

B. Polietileno de Alta Densidad

MMT	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2005
Capacidad	200	200	200	200	200	200	300
Producción	201	181	195	192	190	190	287
Producción/Capacidad %	100	91	97	96	95	95	95.7
Importaciones	203	142	193	227	258	288	404
Exportaciones	45	39	42	45	42	42	85
Balance	-158	-103	-151	-182	-216	-246	-319
Demanda Nacional	359	284	346	374	406	436	606
Crecimiento Anual %	18.2	-20.9	21.8	8.2	8.5	7.5	7.2

Fuente: Anuario Estadístico del Plástico, IMPI y Anuario Estadístico de PEMEX

C. Polietileno de Baja Densidad

MMT	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2005
Capacidad	309	309	309	309	309	309	309
Producción	341	346	335	339	339	339	339
Producción/Capacidad %	110	112	108	109	109	109	109
Importaciones	102	44	60	48	64	76	142
Exportaciones	31	43	34	16	22	24	23
Balance	-71	-1	-26	-32	-42	-52	-119
Demanda Nacional	412	347	361	371	381	391	458
Crecimiento Anual %	2.9	-15.7	2.5	2.8	2.8	2.7	3.1

D. Polietileno Lineal de Baja Densidad

MMT	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2005
Capacidad	-	-	-	-	-	-	100
Producción	-	-	-	-	-	-	42.5
Producción/Capacidad %	-	-	-	-	-	-	42.5
Importaciones	53	60	76	96	120	146	271.5
Exportaciones	-	-	-	-	-	-	-
Balance	-53	-60	-76	-96	-120	-146	-271.5
Demanda Nacional	53	60	76	96	120	146	314
Crecimiento Anual %	39.5	13.8	25.9	27	24.5	21.9	12.7

Fuente: Anuario Estadístico del Plástico, IMPI y Anuario Estadístico de PEMEX

V. PROPIEDADES

A. Polietileno de Baja Densidad (PEBD O LDPE)

Tiene una densidad en el rango de 0.910-0.925 g/cm³, en función de la estructura molecular del polímero, y presenta una estructura en su mayor parte amorfa.

Es un material traslúcido, inodoro y su punto de fusión varía dependiendo del grado de la resina, como promedio en 110°C. Tiene una conductividad térmica baja, como la mayoría de los termoplásticos. Sus propiedades mecánicas dependen del grado de polimerización y la configuración molecular, es decir, cuanto más elevado sea el peso molecular mejores serán las propiedades. Los productos elaborados con este material mantienen buenas propiedades hasta los 60°C, por su temperatura de ablandamiento (80-100°C). Debido a su baja conductividad eléctrica, este material se ha convertido en un aislante de primera, tanto en alta como en baja tensión.

La naturaleza no polar del polietileno, le confiere gran resistencia a los ataques de sustancias químicas. A temperaturas menores de 60°C, resistente a la mayoría de los solventes, ácidos y bases y sales en cualquier concentración. Por otro lado, a temperaturas superiores es soluble en solventes orgánicos alifáticos, y especialmente en los aromáticos clorados. Es totalmente atóxico, impermeable al agua y relativamente poco permeable al vapor de agua y gases, puede estar en contacto directo con alimentos sin presentar riesgos para los consumidores, cumpliendo con las normas FDA (Food and Drugs Administration).

Estructura de un Polietileno de Baja Densidad (Combinación de cadenas largas y cortas)

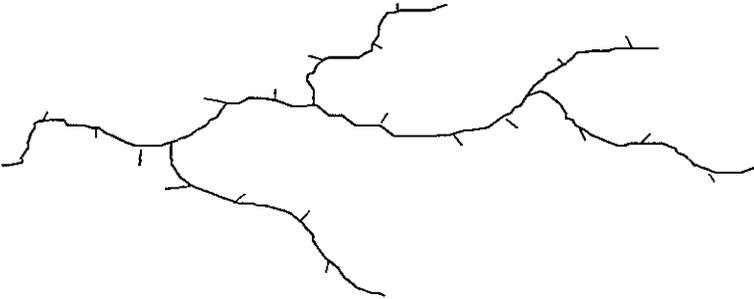


Figura 10.

Fuente Fundamentals of Plastics, Penton Education Division

B. Polietileno Lineal de Baja Densidad (PELBD o LLDPE)

El polietileno lineal de baja densidad es un copolímero, por esta razón sus propiedades físicas son alteradas por la longitud del comonómero. Como el polímero presenta moléculas que son esencialmente lineales, las formas cristalinas son más compactas y ello ocasiona que se obtenga una película menos transparente que con un polietileno de baja densidad.

Las propiedades reológicas y físicas del PELBD son diferentes de las del PEBD, con densidad similar pero con diferencias en el índice de fluidez a consecuencia de que el PELBD tiene una viscosidad mayor. El punto de fusión de las resinas lineales es alrededor de 20°C más alto que el PEBD.

Esta resina presenta mayor resistencia a la tracción, al rasgado y a la perforación o punción, mejor resistencia al impacto a temperaturas muy bajas (hasta -95°C) y en películas posee excelente elongación, por lo que se pueden obtener calibres más bajos que con PEBD.

En cuanto a su resistencia química, presenta las mismas características que el PEBD, ya que ambos son de naturaleza no polar. Por ser un material atóxico, existen grados FDA para contacto con alimentos.

Estructura de un Polietileno Lineal de Baja Densidad.

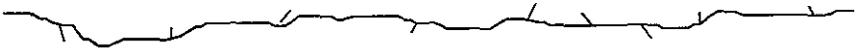


Figura 11.

Fuente: Fundamentals of Plastics, Penton Education Division

Evolución de los copolímeros

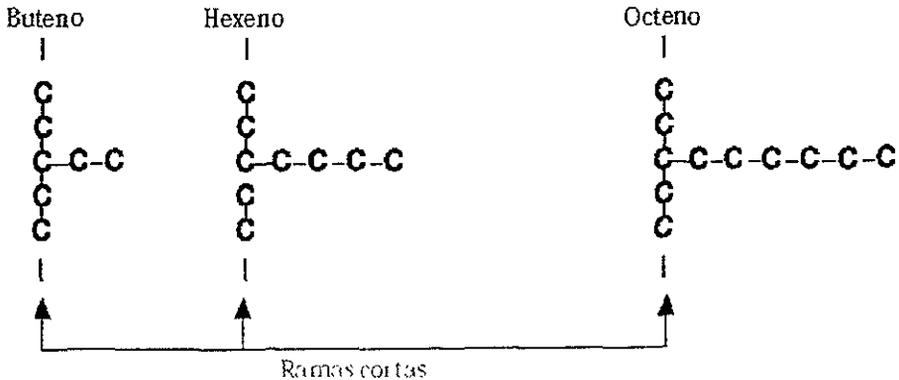


Figura 12

Fuente: Fundamentals of Plastics, Penton Education Division

Impacto del tamaño de los copolímeros en el tamaño de las ramas cortas.

Se puede observar como la incorporación de copolímeros de mayor tamaño (hexeno, octeno) a la cadena central de polietileno genera ramas cortas de mayor tamaño.

La figura 12 muestra la forma de incorporación de Octeno en la cadena central de las moléculas de Dowlex*. Se puede observar que la forma en la que se incorpora la molécula de Octeno (en el caso de las resinas Dowlex) es análoga a la forma en que se incorpora la molécula de Buteno (en el caso de PELBD Buteno). En ambos casos, la incorporación de estas moléculas a la cadena central del polietileno dan origen a las ramas cortas. Como vemos, la gran diferencia entre las resinas Dowlex y el PELBD Buteno es que en el primer caso las ramas cortas provienen de Octeno y son de mayor longitud que las ramas que provienen de Buteno. Esta diferencia tiene un gran impacto en las propiedades mecánicas del material como veremos más adelante.

Impacto al dardo aumenta con el tamaño de las ramas cortas en los PELBD

►► Dowlex* vs. Hexeno y Buteno

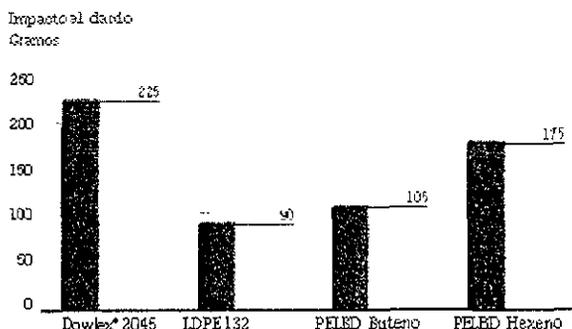


Figura 13

Fuente: Artículo de demostración de propiedades de The Dow Chemical Company

* Marca Registrada de The Dow Chemical Company

C. Polietileno de Alta Densidad (PEAD o HDPE)

Tiene una densidad en el rango de 0.941-0.965 g/cm³; presenta un alto grado de cristalinidad, siendo así un material opaco y de aspecto ceroso, las propiedades de cristalinidad y mayor densidad se relacionan con las moléculas empacadas, ya que casi no existen ramificaciones.

La rigidez, dureza y resistencia a la tensión de los Polietilenos, se incrementa con la densidad, el PEAD presenta mejores propiedades mecánicas que el PEBD y el PELBD, también presenta fácil procesamiento y buena resistencia al impacto y a la abrasión. El calor necesario para llegar al punto de fusión, está relacionado con la cristalinidad. Presenta un punto de fusión entre 120-136°C, mayor al del PEBD.

Este material presenta excepcional resistencia a sustancias químicas y otros medios. No es atacado por soluciones acuosas, salinas, ácidos y álcalis. La solubilidad del polietileno en hidrocarburos alifáticos, aromáticos y clorados, depende de la cristalinidad, pero a temperaturas elevadas el PEAD es soluble en éstos. No resiste a fuertes agentes oxidantes como ácido nítrico, ácido sulfúrico fumante, peróxidos de hidrógeno o halógenos.

Estructura de un Polietileno de Alta Densidad.

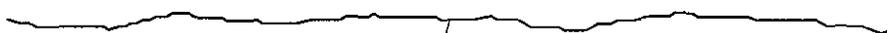


Figura 14.

Fuente: Fundamentals of Plastics, Penton Education Division

D. Polietileno de Alto Peso Molecular de Alta Densidad (HMW-HDPE)

Se diferencia de los copolímeros y homopolímeros anteriores por su peso molecular promedio, el cual se encuentra entre 200,000 y 500,000 g/gmol. Otra manera de caracterizarlo es por su índice de flujo, que es inversamente proporcional al peso molecular, razón por la cual presenta mayor dificultad de procesamiento. Su densidad se encuentra en el rango de 0.944-0.954 g/cm³.

Presenta buena resistencia al rasgado, amplio rango de temperaturas de trabajo (de -40-120oC), impermeabilidad al agua y no guarda olores.

En cuanto a sus propiedades químicas, son muy parecidas a las del PEAD, aunque el HMW-HDPE presenta mejor resistencia, debido a que la longitud de las cadenas que forman el polímero son mayores, aunque la estructura y naturaleza no polar es igual para los dos.

E Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular

Este tipo de Polietileno es de alta densidad y elevado peso molecular, entre 3'000,000 y 6'000,000 g/gmol, es un material altamente cristalino y debido a estas dos características, presenta propiedades especiales. Es un material muy difícil de procesar, por su elevado peso molecular. Tiene un índice de fluidez muy bajo, por lo que es casi imposible usarlo en los procesos de soplado, inyección y extrusión.

El UHMWPE presenta excelente resistencia al impacto, aún en temperaturas bajas de -200°C, tiene muy bajo coeficiente de fricción debido a que es un material autolubricante, no absorbe agua (menor al 0.01%); reduce los niveles de ruido ocasionados por impactos y presenta resistencia a la fatiga

Las propiedades más importante es la resistencia a la abrasión (aproximadamente 10 veces mayor que la del acero al carbón). También presenta una buena resistencia a medios agresivos incluyendo a fuertes agentes oxidantes, a hidrocarburos aromáticos y halogenados, que disuelven a otros Polietilenos con menor peso molecular. No es resistente a los ácidos sulfúrico y nítrico concentrados. Algunos grados cuentan con la aprobación FDA para contacto directo con alimentos.

F. Polietileno de Ultra Baja Densidad

Son una familia de copolímeros lineales del etileno, con densidades en el rango de 0.88-0.91 g/cm³, se caracterizan por ofrecer buena flexibilidad comparada con otros materiales como el etilen-acetato de vinilo (EVA), etilen-acrilato de etilo, PVC flexible y EPDM, con la ventaja de una resistencia mecánica y química.

Estas poliolefinas se producen por copolimerización de etileno con otras alfa-olefinas, tales como Buteno, Hexeno, Octeno y propileno, por el proceso fase gas o solución. La densidad, el peso molecular y la distribución de pesos moleculares son variables que se controlan por el contenido de comonomero, el catalizador y las condiciones de polimerización.

Durante la polimerización se obtienen productos de baja cristalinidad, resultando un polímero suave, flexible y dando como resultado excelentes propiedades de resistencia al impacto, a la punzura y al rasgado.

Las propiedades reológicas de los VLDPE, son similares a los Polietilenos lineales, por tal razón para su transformación deberá utilizarse el equipo diseñado para procesar los Polietilenos lineales, aunque requiere temperaturas menores de operación, en el rango de 150-175°C.

Los Polietilenos de muy baja densidad, se utilizan en las aplicaciones donde se requiere rigidez, resistencia al impacto, resistencia a la punzura en combinación con suavidad y flexibilidad.

H. Metalocenos

En 1993 la compañía Dow Chemical Company desarrollo una nueva tecnología para elaborar poliolefinas, la cual se denomina tecnología INSITE* y consiste en utilizar catalizadores metalocénicos en lugar de los catalizadores Ziegler-Natta durante la polimerización.

Estos catalizadores, presentan una estructura de geometría cerrada la cual genera un lugar en una de sus caras altamente reactivo, en este lugar se unen las cadenas principales con el comonomero, que generalmente es Octeno. Como se presenta la posibilidad de unir cadenas largas, esto proporciona la ventaja de evitar comonomeros pequeños y por lo tanto ramificaciones pequeñas

Además de esta cualidad el polímero resultante es homogéneo en sus cadenas, es decir, se alcanza un Distribución de Peso Molecular (DPM) estrecha, pero a pesar de esta característica su procesabilidad no se dificulta, por lo que esta tecnología rompe con la relación directa que existía antes en las poliolefinas, en las que a DPM más estrecha correspondía una procesabilidad más complicada.

Los comonomeros que se insertan en la estructura de la poliolefina pueden ser de una gran variedad, aunque los mas comunes son los octenos, con la ventaja de realizar adiciones de los mismos arriba del 20%, característica que proporciona flexibilidad superior a las poliolefinas convencionales.

Otra diferencia de este tipo de polimerización es que produce poliolefinas con densidad desde 0.8 hasta 0.95 g/cc e Índices de Fluidez de 1 a 150 g/10min, propiedades que cubren los productos fabricados por las polimerizaciones convencionales desde la suspensión o de alta presión hasta la fase gas, ventaja contra la que no puede competir ningún otro catalizador.

Los catalizadores metalocénicos de una sola cara poseen la particularidad de duplicar moléculas exactamente iguales en estructura y composición molecular, esto en consecuencia produce polímeros de cadenas iguales en tamaño y contenido, es decir polímeros excepcionalmente uniformes y consistentes, predecibles en sus propiedades y procesamiento.

Al controlar el tamaño de las ramificaciones se alcanza una fácil procesabilidad en los polímeros, además de un mejor control durante el procesamiento.

Esta nueva tecnología aporta cualidades que no se pueden lograr en el producto con mezclas de poliolefinas, incorporación de aditivos o modificación en el equipo de procesamiento. por tal razón es única y sus productos también.

Con los catalizadores metalocénicos de geometría encerrada se obtienen dos tipos de polímeros:

- a) Plastómeros de Poliolefina. Este tipo de Poliolefinas contiene aproximadamente el 20% de comonomero, generalmente Octeno, el cual está integrado de manera uniforme en las moléculas, proporcionando una Distribución de Peso Molecular estrecha y con ello puntos de fusión más bajos y estrechos. De acuerdo al porcentaje de Octeno que se adicione se modifican las propiedades que posee una poliolefina originalmente, como son:

POLIOLEFINA CONVENCIONAL	ADICION DE COMONOMERO HASTA EL 20%
Alto punto de fusión	Baja el Punto de Fusión (de 133 a 170°C)
Elevado Módulo de Elasticidad	Baja el Módulo de Elasticidad (de 965 a 21 Mpa)
Baja Claridad	Aumenta la Claridad (de 13 a 100% de Haze)
Baja Resistencia al Impacto	Aumenta la Resistencia al Impacto (de 40 a 1,200 g)
Baja Elasticidad	Aumenta la elasticidad (de 20 a 95%)

Fuente: Enciclopedia de Plásticos, IMPI

Un Polietileno de Baja Densidad y uno de Alta Densidad, obtenidos a partir de la polimerización de etileno, exclusivamente, se les denomina como Polietilenos Convencionales, los cuales presentan estructuras ramificadas en forma desordenada en mayor (Baja Densidad) o menor proporción (Alta Densidad) Al presentar ramificaciones más pequeñas el Polietileno de Alta Densidad compacta más sus cadenas y su apariencia se presenta como un material más opaco

La diferencia de un Polietileno Lineal de Baja Densidad es que aún cuando conserva su característica de Baja Densidad sus ramificaciones se acortan y se elaboran de moléculas como: Buteno, Hexeno u Octeno, modificando parcialmente sus propiedades. Como sus cadenas son más cortas la estructura se compacta y este Polietileno presenta mayor opacidad que el Polietileno de Baja Densidad Convencional, sin embargo como las ramificaciones continúan siendo desordenadas sus propiedades no llegan a ser todavía excelentes.

Por otro lado, la adición del comonomero está limitada por el porcentaje a adicionar, por lo cual llega solo a una modificación parcial de propiedades. Un Plastómero de Poliolefina presenta la particularidad de que en su polimerización los catalizadores metalocénicos adicionan exclusivamente octenos, moléculas que proporcionan mejores propiedades mecánicas que un Buteno o un Hexeno, además de realizar esta adición en forma ordenada para alcanzar niveles de adición hasta del 20%, esto conduce a la obtención de polímeros perfectamente diseñados a las necesidades de determinada aplicación. Debido a esta elevada adición de octenos, las propiedades de este Polietileno, que se podría considerar una variedad de Polietileno Lineal, son optimizadas y cambian la caracterización convencional de Poliolefinas.

Las Poliolefinas se caracterizan por su Densidad, Contenido de Monómero, Distribución de Peso Molecular e Índice de Fluidez. Sin embargo, un Plastómero de Poliolefina presenta otra propiedad con la cual puede ser caracterizado, que es el Índice de Reología, el cual nos indica la procesabilidad que presenta el material. Los Polietilenos Lineales al contener comonomeros en su estructura presentan una procesabilidad más difícil que un Polietileno Convencional, esto se debe a que su viscosidad se eleva cuando se aplican esfuerzos de corte elevados, en cambio un Plastómero de Poliolefina presenta menor viscosidad con este mismo esfuerzo de corte

Estos materiales presentan las siguientes propiedades: elevada transparencia, excelente elongación, elevada resistencia a la punzura, bajo peso, buena resistencia a la tensión y compresión y amplio rango de durezas. Por lo cual puede sustituir a Polietilenos de Baja Densidad y Ultra Baja Densidad, Ionómeros y PVC. Por las propiedades anteriormente mencionadas, estos materiales pueden ser utilizados en el área de Envase, en laminaciones para constituir la capa termosellable, para la fabricación de pañales desechables o productos higiénicos, en películas para pelletizado y en botellas que requieran de flexibilidad y resistencia al impacto

Con el desarrollo de la Tecnología Insite se propuso desarrollar un polietileno en el cual las moléculas tuvieran tamaños similares o, para ponerlo de forma más precisa, un polietileno con distribución angosta de pesos moleculares, así se obtendría un polietileno de muy alto desempeño mecánico. En otras palabras, se trataba de eliminar a las moléculas pequeñas (que no aportan resistencia mecánica), y transformarlas en moléculas más grandes (que brindan las propiedades mecánicas del material). Lamentablemente, como consecuencia de la pérdida de las moléculas pequeñas, el material sería muy difícil de procesar (carecería de las moléculas lubricantes).

Los polímeros Affinity* logran superar esta dicotomía y brindan excelentes propiedades mecánicas sin perder procesabilidad. Affinity presenta una gran homogeneidad en sus tamaños moleculares. Es un material lineal, con una cadena central cubierta de ramificaciones cortas. Sin embargo, y a diferencia de los PELBD convencionales, las moléculas de Affinity también poseen ramificaciones largas. Y son estas ramificaciones largas (similares a las del PELBD) las que brindan procesabilidad al material (las moléculas se pliegan en sentido opuesto al flujo de material facilitando la extrusión; además, forman un entramado molecular en la burbuja que facilita la estabilidad de la misma) a pesar de la ausencia de moléculas lubricantes pequeñas

Además, las resinas Affinity logran incorporar gran cantidad de ramas cortas, que interrumpen la formación de cristales y generan gran cantidad de "puentes". Se obtiene como consecuencia una resina de baja densidad (baja proporción de zonas cristalinas) que tiene alta resistencia mecánica (gran cantidad de puentes), baja temperatura de iniciación de sello y excelentes propiedades ópticas (ambas características debidas al bajo número de cristales).

Otro aspecto mejorado de las resinas Affinity se refiere a la optimización de la distribución de ramas cortas. Mientras que en los PELBD las ramas cortas se distribuyen al azar a lo largo de la cadena central, en Affinity las cadenas cortas se ubican a distancias regulares a lo largo de la cadena central. Como consecuencia, cuando el material solidifica sólo se forman cristales pequeños (ver figura 7, parte superior derecha) por lo que se obtiene una película de excelente temperatura de iniciación de sello (los cristales pequeños son más fáciles de fundir) y excelentes propiedades ópticas (los cristales pequeños no deterioran mayormente las propiedades ópticas).

La figura 2 muestra como los polímeros Affinity poseen excelentes propiedades mecánicas junto con las mejores propiedades de sello y ópticas. Se observa una baja rigidez (bajo módulo secante) y una muy baja temperatura de iniciación de sello.

La utilización de catalizadores de sitio único o de geometría restringida.

Innovaciones en el proceso de producción.

Mejor entendimiento de la relación entre la arquitectura molecular de los polímeros y su procesabilidad propiedades mecánicas. Por ejemplo, se utilizan los conceptos de ramas largas, ramas cortas, "puentes" entre zonas cristalinas, etc., para elaborar modelos matemáticos que permiten predecir la procesabilidad y propiedades mecánicas de los polímeros.

b) Nuevos Polietilenos elaborados con Tecnología Insite. Elite*

Los Polietilenos Elite fueron lanzados al mercado en 1996, y se basan en los adelantos descritos por la Tecnología de Proceso Insite y en un mayor entendimiento del diseño de la arquitectura molecular de los polímeros

Estos productos fueron diseñados para ofrecer mejores propiedades mecánicas y de procesabilidad sobre los productos PELBD, e incluso asemejarse en ciertas propiedades a los Polietilenos Affinity. Una manera gráfica, si bien sólo aproximada, de describir la arquitectura molecular de Elite se muestra en la figura 8 como una combinación de los Polietilenos Affinity, Dowlax, PEBD y PELBD

El concepto fundamental al hablar de los Polietilenos Elite es que éstos ofrecen una combinación de propiedades única, que no había sido posible hasta su desarrollo. Por ejemplo, en la figura 9 se muestra la combinación única que brinda Elite entre resistencia al impacto y módulo secante (o rigidez). Tradicionalmente los productos con alta resistencia al impacto son los Polietilenos de menor densidad (como los Polietilenos Attane)*, que a su vez son los que tienen menor rigidez.

Asimismo, los productos de mayor rigidez o mayor densidad (como los PEAD) ofrecen menor resistencia al impacto. Elite lograr superar este escollo: mientras que un PELBD convencional con un módulo secante de 200 MPa ofrece una resistencia al impacto de 300g, un producto Elite de similar rigidez ofrece una resistencia al impacto 3 veces superior.

Esta combinación de propiedades es muy útil en bolsas de uso pesado, que requieren de alta rigidez para evitar su estiramiento cuando se levantan grandes pesos, y al mismo tiempo requieren resistencia al impacto para resistir golpes como los que reciben con las máquinas elevadoras cuando son transportados en los depósitos.

Otra combinación única que ofrece Elite es entre temperatura de iniciación de sello y módulo secante (ver figura 10). Mientras que un PELBD convencional de 180 MPa de rigidez ofrece una temperatura de iniciación de sello de 103°C, un material Elite de la misma rigidez comienza a sellar a 90°C. De esta forma, cuando Elite es aplicado en envasado automático, se puede aumentar la velocidad de empaque gracias a la baja temperatura de sello, sin perder la rigidez necesaria para mantener la maquinabilidad de la película.

Arquitectura molecular de Elite

►► Elite

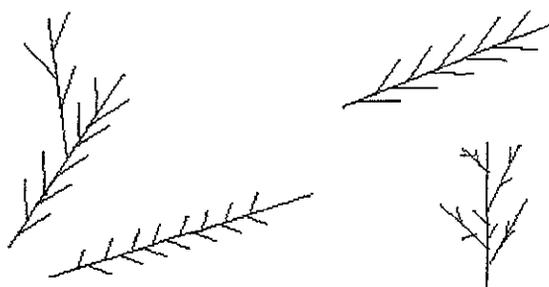


Figura 16.

Fuente. Manual de Plásticos de The Dow Chemical Company

Arquitectura molecular de Affinity

►► Affinity

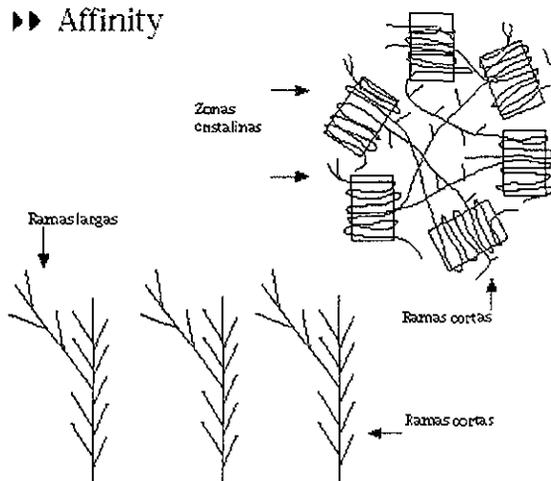


Figura 17.

Fuente. Manual de Plásticos de The Dow Chemical Company

- c) Elastómeros de Poliolefina. Este tipo de Poliolefinas contienen más del 20% de comonomero y su densidad alcanza un rango de 0.864 a 0.88 g/cc, esto es causa de que su dureza baje y se convierta en un material muy semejante a un hule, es decir, se puede estirar, flexionar y presenta la facultad de rebotar, con la ventaja de transformarse como un termoplástico. Debido a estas propiedades puede sustituir diferentes piezas fabricadas en hule con la particularidad de poseer mejor estabilidad a la luz ultravioleta, mayor resistencia química y mayor estabilidad térmica. Así mismo, también sustituyen artículos moldeados en algunos termoplásticos como el PVC-F y EVA.

Otra característica de los hules es su Viscosidad Mooney, en la cual a mayor viscosidad se obtienen mejores propiedades mecánicas pero su procesabilidad se dificulta, por esta razón los Elastómeros de Poliolefina revolucionan todo el concepto de hules, ya que presentan propiedades características de hules con valores Mooney elevados y procesabilidad como si presentarían valores Mooney bajos.

Estos materiales compiten con diferentes hules vulcanizados y termoplásticos (olefinicos y estirénicos) debido a que presentan Baja Densidad, moderados Valores Mooney, elevada resistencia a la Tensión y Elongación, buena resistencia química, estabilidad térmica y mínima degradación por efecto de Luz UV. Por lo cuál puede ser utilizados en el área Automotriz para la fabricación de facias, tableros, sellos, mangueras, etc., para suelas de calzado y piezas decorativas.

Comparación de propiedades mecánicas, ópticas y de sello de distintas películas
5+: más alto desempeño; 1+: menor desempeño

Comparación de propiedades mecánicas, ópticas y de sello						
	PEBD 503A	PELBD Buteno	Dowlex 2045	Attane 4201	Elite 5100	Affinity PL 1881
Índice de fluidez	1.9	1.0	1.0	1.0	0.85	1.0
Densidad	0.923	0.920	0.920	0.912	0.920	0.902
Impacto al dardo (g)	1+	2+	3+	4+	4+	4+
Rasgado Elmerdorf (g)	2+	2+	3+	4+	4+	3+
Punzonado (J/cm ³)	1+	2+	3+	4+	4+	4+
Elongación máxima (%)	1+	4+	3+	4+	4+	3+
Módulo secante	3+	3+	3+	2+	3+	1+
Temp. iniciación sello	2+	1+	1+	3+	3+	5+
Resistencia sello caliente	1+	2+	3+	3+	4+	5+
Brillo y transparencia	3+	1+	2+	3+	3+	5+

Fuente: Manual de Plásticos de The Dow Chemical Company

VI. PROCESOS DE TRANSFORMACION

Existe una clasificación de los procesos de transformación basada en los cambios de estado que sufre el plástico dentro de la maquinaria. Estos son Procesos Primarios y Secundarios. En el primer caso, el plástico es moldeado a través de un proceso térmico donde el material pasa por el estado líquido y finalmente se solidifica, mientras que en los procesos secundarios se utilizan medios mecánicos o neumáticos para formar el artículo final sin pasar por la fusión del plástico. En base a esto se clasifican en:

Procesos Primarios: Extrusión, Inyección, Soplado, Calandreo, Inmersión, Rotomoldeo y Compresión.

Procesos Secundarios: Termoformado, Doblado, Corte, Torneado y Barrenado.

En el caso de los Polietilenos cada uno presenta diferentes características, que limitan algunas veces su procesamiento en determinados métodos de transformación. Sin embargo, por los procesos de inyección y extrusión, pueden transformarse la mayoría de los Polietilenos

PROCESOS DE TRANSFORMACION	DESCRIPCION	TIPO DE POLIETILENO
Extrusión y Coextrusión <ul style="list-style-type: none"> • Tubería y Perfiles • Recubrimientos de Cable y Alambre • Película Soplada • Lamina 	Proceso continuo, en el que una o varias resinas son fundidas por la acción de temperatura y fricción, forzadas a pasar por un dado que le proporciona una forma definida que se enfría finalmente para evitar deformaciones permanentes	PEBD, PEBDL PEAD, PEAD-AM Metalócenos
Inyección	Proceso intermitente para producir piezas de plástico que consiste básicamente de un sistema de fusión y mezclado de la resina diseñado para expulsarla a alta presión una vez que se encuentra en estado líquido; un molde metálico hecho de dos o más piezas, cuya cavidad tiene la forma exterior de la pieza deseada y, un sistema de cierre de molde que evita que éste se abra al recibir la presión interna del plástico fundido. Para agilizar el ciclo productivo de la máquina se usa un sistema de enfriamiento del molde, que es un elemento periférico	PEBD, PEBDL PEAD Metalócenos
Soplado <ul style="list-style-type: none"> • Inyección-Soplo • Extrusión-Soplo 	Es un proceso discontinuo de recipientes y artículos huecos, en donde una resina termoplástica es fundida, transformada en una preforma hueca y llevada a un molde final en donde, por la introducción de aire a presión en su interior se expande hasta tomar la forma del molde. Posteriormente es enfriada y expulsada como un artículo terminado. Para la producción de la preforma, se puede considerar la mitad del proceso como conjunto y utilizando el proceso de inyección o extrusión, permitiendo que el proceso de soplado se divida en dos grupos distintos.	PEBD, PEBDL PEAD, PEAD-APM Metalócenos
Termoformado	Proceso de transformación secundaria, en donde una lámina de material termoplástico se moldea por la acción temperatura y presión. La temperatura ayuda a reblandecer la lámina y por medio de moldes y la intervención de vacío o presión se adquiere la forma final.	PEBD, PEAD
Rotomoldeo	Es un proceso intermitente para la producción de cuerpos huecos. Consiste en el calentamiento de un polímero en polvo líquido, dentro de un molde que gira, en donde el material se distribuye y se adhiere en toda la superficie interior del molde. Posteriormente, se enfría todo el sistema y se abre el molde para extraer la pieza terminada.	PEBD, PEBDL PEAD Metalócenos
Compresión y Maquinado	Este moldeo solo es aplicable para el UHMWPE porque su peso molecular está entre 3 y seis millones g/mol; no puede ser procesado por técnicas convencionales, ya que las grandes cadenas de moléculas no pueden ser procesadas como en el caso de termoplásticos comunes. Una vez transformado el polietileno puede ser procesado mediante máquinas que trabajan madera o herramientas para cepillado, fresado, barrenado o torneado.	UHMWPE

Fuente: Enciclopedia del Plástico, IMPI

A. La Coextrusión

Antecedentes.

Una patente del siglo XIX cubrió la extrusión simultánea de grafito y madera prensada en la elaboración de lápices. Otra temprana aplicación de coextrusión fue inventada para trabajo en pastas donde una pasta multicolor fue aplicada por varios tubos concéntricos durante muchos años.

La coextrusión de materiales plásticos inició hace 35 o 40 años por tubos, alambre y extrusión de cables. En 1955 el trabajo por R.H. Beck de Dupont llevó a patentar el dado para película lisa en estructura de dos capas para celofán y en 1960 Henning y Richter de la Western Electric patentaron un alambre en multicapas con recubrimiento. Todo esto llevó al desarrollo de los equipos de coextrusión, como el trabajo realizado por Egan y Black Clawson (1966) al desarrollar la primera coextrusión con revestimiento con dados de doble ranura

Principios de Coextrusión

Las diferencias básicas entre una línea de extrusión de película y una de coextrusión, se observan en la aparición de dos o más extrusores y la modificación del cabezal o dado con la adición de más canales. Generalmente se coextruyen materiales que tengan compatibilidad física y condiciones de extrusión similares. Cuando los polímeros que van a formar una película de varias capas tienen compatibilidad física es posible que se unan sin la necesidad de utilizar sustancias intermedias que funcionen como adhesivos.

Este proceso cobra importancia por la versatilidad y variedad de películas que se pueden obtener mediante los siguientes sistemas:

1. Combinando flujos de fundido dentro del cuerpo del dado donde cada flujo de fundido es manejado por separado y la combinación toma lugar al cerrarse la parte final del dado.
2. Combinando los flujos de fundido fuera del dado donde cada fluido es mantenido por separado dentro del dado. La adhesión en estos casos toma lugar en la abertura de los labios (aplicación típica de extrusión con revestimiento).
3. Combinando los flujos de fundido en un adaptador "feedblock" (caja negra) por fuera del dado y alineando en capas laminares de tal manera que puede alimentar un simple dado (manejo convencional o abrigo colgado).

El proceso de coextrusión de película tubular o dado plano, cobra importancia por la gran versatilidad y variedad de películas que se pueden obtener como resultado de la combinación de nuevos polímeros y el desarrollo de los nuevos equipos de procesamiento

Diagrama de un tornillo o extrusor de mezclado convencional y el de un Maddock.

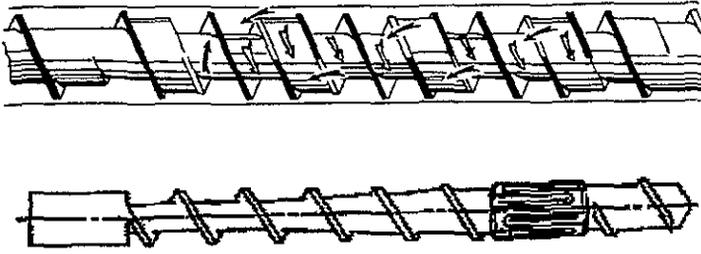


Figura 18.

Fuente: Polymer Processing Principles and Modeling, Carl Hanser Verlag

Diagrama de un equipo de extrusión convencional

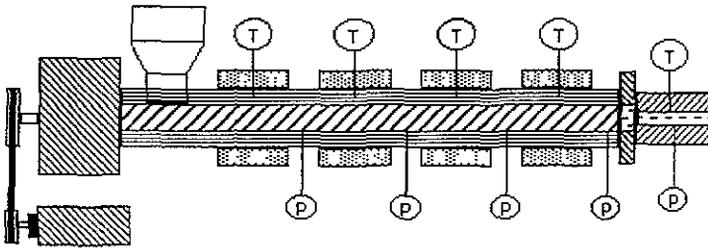


Figura 19.

Fuente: Polymer Processing Principles and Modeling, Carl Hanser Verlag

Una herramienta para lograr diferenciación en el mercado.

Los adelantos tecnológicos en el mercado de películas de polietileno se han dirigido en los últimos años a la búsqueda de mejores propiedades y mejor desempeño a un menor costo. La coextrusión, antiguamente reservada a películas con requerimientos especiales (pe. barrera), se hace cada día más necesaria en la extracción eficiente del valor de los Polietilenos Lineales de Baja Densidad (LLDPE), y más aún de los nuevos polímeros Plastómeros AFFINITY, y Polietilenos ELITE, producidos por la Tecnología INSITE de Dow. Las ventajas técnicas de la coextrusión permiten obtener variadas combinaciones de estos materiales en sus capas y así lograr propiedades específicas al menor costo.

La coextrusión es la combinación de dos o más capas de polímeros fundidos para formar una única película que cumple con requisitos específicos de desempeño para una aplicación. En América Latina, la coextrusión se desarrolló inicialmente en pequeños nichos de mercado como películas con barrera al oxígeno, utilizando resinas de Poliamida (PA) para barrera, recubiertas con Polietilenos para dar características de termosellado. Así se obtenía en un sólo proceso, y a un costo más bajo, el reemplazo de laminaciones de películas de polietileno con una lámina fina de aluminio, o con otros materiales de barrera.

La coextrusión se usa cada vez más como una herramienta para obtener un mejor costo/beneficio en una variedad de aplicaciones, donde compite con mezclas de polietilenos en películas monocapa. Entre estas aplicaciones tenemos:

- Empaque Automático F/F/S
- Películas para Laminación
- Película Estirable (“Stretch”)
- Bolsas Industriales
- Películas para Pañales

Con el empleo de la coextrusión, se logra optimizar las características de polímeros más costosos, minimizando la cantidad total necesaria para cumplir un propósito específico (sellabilidad, adhesividad, tenacidad, brillo, etc.), comparado a una película monocapa donde los componentes se encuentran mezclados.

A continuación se hace un resumen de las principales ventajas de la coextrusión como herramienta para capturar eficientemente el valor de los Polietilenos lineales tales como DOWLEX, ATTANE, AFFINITY y ELITE. Se hacen recomendaciones de usos específicos, y se dan las bases para ejercer la creatividad en el diseño de nuevas estructuras por parte del procesador.

Las principales ventajas de la coextrusión son las siguientes:

1. Permite la combinación de propiedades específicas en una sola película
2. Se obtiene un mejor costo - beneficio que en mezclas monocapa
3. Se reduce el número de etapas de fabricación para obtener una película específica
4. Permite el reciclado eficiente de materiales

La resistencia mecánica final de una película coextruida es aproximadamente igual a la suma de las resistencias de sus capas individuales. Teóricamente, en una mezcla monocapa de dos o más materiales, la resistencia final debiera ser aproximadamente igual a la suma de los aportes de cada uno de los materiales. Sin embargo, factores relacionados con la no-homogeneización de la mezcla de los distintos componentes, hacen que esto no se cumpla. Estudios realizados demuestran que tanto las propiedades mecánicas y las de sellabilidad de películas coextruidas tipo DOWLEX/ LDPE/DOWLEX son mejores a las de las mezclas monocapa con igual contenido total de los mismos componentes. Las mezclas monocapa de LDPE con LLDPE presentan propiedades de impacto y rasgado inferiores comparadas a las de coextrusiones (Figura 1), especialmente en el caso de mezclas con contenidos cercanos al 50% de los dos materiales donde se hace más difícil obtener una buena dispersión y homogeneización de la mezcla.

Impacto al Dardo

Mezcla vs Coextrusión Impacto al Dardo Comparativo

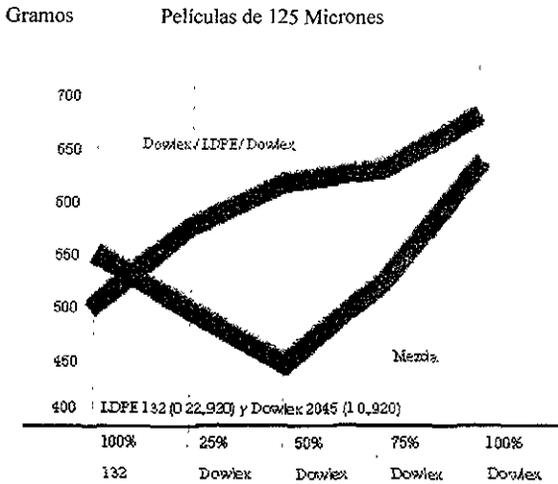


Figura 20.

Fuente: Coextruded PE Blown films de The Dow Chemical Company

Aunque los problemas de no-homogeneización de mezclas pueden ser minimizados con buena tecnología de extrusión, existe una variedad de combinaciones de propiedades en películas coextruidas que no pueden ser obtenidas por medio de mezclas en películas monocapa. La tabla 1 muestra algunos ejemplos genéricos de estructuras de tres capas, donde por medio de la coextrusión se combinan eficientemente distintas propiedades, las cuales serían muy difíciles de alcanzar con mezclas en películas monocapa.

Coextrusión	Capa A	Capa B	Capa C
Laminación	DOWLEX, ELITE o AFFINITY Alto Sello	LDPE Capa Estructural	LDPE Capa Estructural
FFS	DOWLEX o ELITE Alto sello	LDPE / DOWLEX Resistencia Fundido y Mecánica	DOWLEX o ELITE Alto sello
Bolsas Industriales	ATTANE o ELITE Sellabilidad e Impacto	HMW-HDPE o DOWLEX Media densidad y Rigidez	ATTANE o ELITE Sellabilidad e Impacto
Película Empaque (Resistencia y Ópticas)	LDPE Alto Brillo	DOWLEX Impacto	LDPE Alto Brillo
Película Curcaks	Mezcla para sello pelable	HDPE Rigidez y Barrera a Humedad	HDPE Rigidez y Barrera a Humedad
Stretch (Adhesividad en una sola cara)	ATTANE o DOWLEX + PIB Adhesividad (Cling)	DOWLEX o ELITE Resistencia Mecánica y Elongación	DOWLEX o ELITE Resistencia Mecánica y Elongación
Película Empaque (Papel Higiénico)	LDPE Alto Brillo	HDPE o DOWLEX Media densidad y Rigidez	LDPE Alto Brillo

Fuente: Coextruded PE Blown films de The Dow Chemical Company.

Aplicaciones y diseños de estructuras coextruídas. Ejemplos de Combinación de Propiedades:

En el ejemplo anterior, DOWLEX, como es de esperarse, ofrece el mejor desempeño de sellabilidad al estar puro en las capas externas, a la vez que proporciona gran resistencia al impacto, a la abrasión y a la perforación. Por esta y otras razones, un mercado de gran volumen como el de Bolsas Industriales ha evolucionado en los últimos años hacia la coextrusión permitiendo ventajas competitivas importantes respecto a películas monocapa. En el caso de Empaque Automático, la coextrusión nos permite reducir el espesor final de una película, manteniendo o incluso mejorando el desempeño final de la misma. Las líneas de envasamiento automático hoy en día requieren del desempeño de polímeros que sean capaces de sellar a más baja temperatura, aumentando así el número de bolsas ("golpes") envasadas por minuto.

Por medio de la coextrusión se puede reducir el espesor de películas al permitir la combinación de resinas como LLDPE, DOWLEX* o ELITE* en las capas externas (para sellabilidad y resistencia), con LLDPE de media densidad en la capa central (para rigidez). Igualmente al empaquetar algunos productos como polvos y grasas, la superficie de sellado se contamina, lo cual dificulta la buena sellabilidad y por lo tanto, la hermeticidad del empaque. Las resinas AFFINITY*, PRIMACOR* y algunos Polietilenos ELITE*, utilizados en la capa de sello de una coextrusión o laminación, garantizan una alta resistencia de sello aún en presencia de contaminantes.

Es claro que este alto desempeño no se podría obtener con una película monocapa usando mezclas de resinas. En la Figura 2 se muestran los altos valores de la resistencia de sello en caliente "Hot Tack" de distintas resinas de Dow, utilizadas como capa de sello en una coextrusión de tres capas (A/B/C).

Resistencia del sellado en caliente

Sellado en caliente

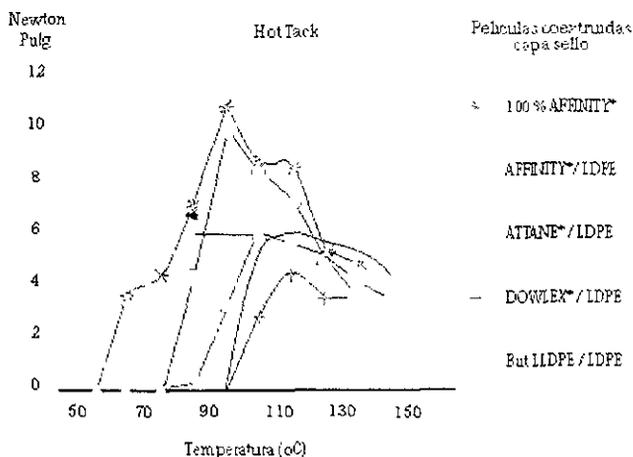


Figura 21.

Fuente: Coextruded PE Blown films de The Dow Chemical Company

Utilizando coextrusión podemos optimizar el uso de Polietilenos de alto desempeño, lo cual representa una ventaja competitiva para el transformador. En la Tabla 2 (película 1), podemos observar el costo final (\$1,440/kg) de una película monocapa utilizando una mezcla de LDPE con 40% de AFFINITY* para mejorar propiedades de sellado y mecánicas. Si la comparamos con una coextrusión A/B/A con una relación de capas 20:60:20, como se describe a continuación (película 2).

Capas A: 70% AFFINITY* PL 1881/30% LDPE

Capa B: 70% DOWLEX* 2045.11/30% LDPE

Tendremos ahora tan solo 28% de AFFINITY* en la composición total, lo cual representa un 12% menos que en la película 1. La película 2 coextruida, ofrece una alta resistencia del sello en caliente (Hot tack) y una temperatura de iniciación de sellado en el rango de 70 a 80°C, debido a la alta concentración de AFFINITY* en la capa de sello. Aunque parezca sorprendente el costo final de la película 2 es de \$1,434/kg, inferior al de la película 1, como se ve en el cálculo de la Tabla 2. Dado el alto contenido de DOWLEX y AFFINITY de la película 2, podemos pensar en forma conservadora en reducir el espesor final de la película en un 20%, manteniendo y/o sobrepasando las propiedades mecánicas de la película 1. En este caso el potencial de ahorro se hace aún mayor, al poder extraer un 20% más de unidades (bolsas o metros de película) por Kg de película coextruida (Tabla 2).

Reducción de costos -- Rentabilidad del uso de la coextrusión.

Polietileno	(g/cc)	\$/kg (Precios referenciales a modo de ejemplo)	
DOWLEX	0.920	1.30	
AFFINITY	0.902	2.10	
LDPE	0.920	1.00	
Costo \$/kg	Película 1 (*) Monocapa	Película 2 (**) 20/60/20 Coex.	
Capa A	0% 0.000	20%	1.770
Capa B	100% 1.440	60%	1.210
Capa A	0% 0.000	20%	1.770
Total \$/kg	1.440		1.434

(*) Película monocapa

40% AFFINITY/ 60% LDPE

(**) Película coextruida

Capa A: 70% AFFINITY/ 30% LDPE

Capa B: 70% DOWLEX/ 30% LDPE

Dimensiones Bolsa	Película 1	Película 2
Espesor (micron)	75	60 (20% reducción)
Ancho bobina (cm)	50	50
Ancho bolsa (cm)	50	50
Largo bolsa (cm)	100	100
Costo \$	Película 1	Película 2
\$/1000 Bolsas	98,540	78,689
\$/1000 Metros de longitud en bobina plana	49,270	39,344

Fuente: Coextruded PE Blown films de The Dow Chemical Company

La coextrusión nos permite reducir el número de procesos requeridos para obtener las propiedades deseadas de una película o de una estructura laminada. Antiguamente, para obtener una estructura PE/Adhesivo /Aluminio para un empaque flexible de barrera, era necesario producir una película de polietileno en una primera etapa y posteriormente laminarla al aluminio. Hoy en día se puede recubrir la lámina de aluminio con un coextrudado ("Ext. Coating") tipo PRIMACOR*/PE en una sola etapa, obteniendo excelente adhesión a la lámina de metal. Cuando varias operaciones se pueden combinar en un sólo proceso, el transformador dispondrá de más espacio libre en su planta, y además generará una menor cantidad de material de desecho.

La coextrusión nos permite utilizar directamente en la capa central un porcentaje no mayor al 20% de material reciclado o refilado de los bordes del proceso. Aunque el porcentaje que se incorpora no es significativamente alto, el ahorro directo en el consumo de materias primas es importante.

Los recientes avances en la tecnología de los equipos empleados en el procesamiento de polímeros, la introducción de nuevos polímeros, tales como DOWLEX, AFFINITY y ELITE y el desarrollo de nuevos mercados de aplicación hacen, hoy en día, más atractivo el empleo de películas coextruidas. Para mantenerse competitivo dentro de estos cambiantes mercados se hace imprescindible desarrollar las técnicas y el conocimiento adecuado para extraer el máximo valor de los nuevos polímeros. Con creatividad en el diseño y apoyo técnico podemos diseñar una película adecuada para satisfacer las necesidades del usuario final.

VII. APLICACIONES

A. Películas Plásticas en la Agricultura

Han transcurrido más de cuatro décadas, desde que las primeras películas de materiales plásticos empezaron a ser utilizados en la agricultura. En este período y en diferentes países las películas para la agricultura han alcanzado un desarrollo y especialización tal que hoy en día definimos la palabra "Plasticultura" como la técnica agrícola de cultivo caracterizada por el empleo de los plásticos durante todo o parte del ciclo agrícola de cultivo. También por extensión se ha comenzado a llamar películas agrícolas a aquellos que utilizados para el envasado de forrajes, se emplean en las instalaciones agropecuarias modernas. Posteriormente se describirán las aplicaciones más significativas de las películas agrícolas, su evolución, la situación actual, las tendencias que se dan en función del tipo de cultivo y geografía.

1. Películas para Cubiertas de Invernaderos

Las películas para cubiertas de invernaderos y grandes túneles representan mundialmente la aplicación cuantitativamente más importante y que se estima por encima de las 400.000 toneladas por año, manteniéndose una tasa de crecimiento anual superior al 5 %. En Latinoamérica esta aplicación sobrepasa las 25.000 toneladas por año con un crecimiento demás de 10% por año.

La película para cubiertas de invernaderos permite, aplicado a estructuras cerradas, el cultivo en zonas con climatología adversa y en las más benignas extender el cultivo a la práctica totalidad del año.

Las películas que cubren los invernaderos suelen tener entre 80 y 220 micrones de espesor y un ancho que podría llegar hasta más de 12 metros. Por lo que respecta a los polímeros empleados, el polietileno de baja densidad junto con los polietileno lineales y los copolímeros de etileno y acetato de vinilo representan más del 90% del mercado.

En la actualidad y el objeto de su aplicación podemos clasificarlos en no estabilizados, de larga duración y térmicos. Los filmes no estabilizados están prácticamente desapareciendo a medida que suben los costos de mano de obra y se amplían las posibilidades tecnológicas de fabricación. Los filmes de larga duración son aquellos que tienen una vida útil superior al ciclo de cultivo de 5-8 meses y hasta 45 meses, dependiendo del paquete de estabilizadores incorporado para hacerlos resistentes frente a la degradación por rayos UV, de la situación geográfica y en consecuencia de la radiación solar que llega a la Tierra. En este sentido debemos aclarar que una película diseñada para durar por ejemplo, 18-20 meses en España puede llegar a durar más de 30 meses en las regiones del sur de Latinoamérica y sólo algo más de un año en regiones desérticas o ecuatoriales con fuerte insolación y régimen de vientos. Esto hace que las películas se diseñen en cuanto a materiales, espesor, paquete UV y duración de acuerdo con las condiciones climatológicas de su lugar de implantación, que en cuanto a radiación solar estarían comprendidas entre 80 y 170 Kc/cm²/año (80 a 170 Klys) o su equivalente en Kw/año. Esto es en lo que respecta a su duración pero en cuanto a su transparencia (% de radiación PAR) se desaconseja la extensión de su vida útil por encima de los 30 meses en lugares pulverulentos y de fuerte insolación.

Un concepto importante además de la duración y transparencia es el del efecto termo aislante (propiedad térmica) de los filmes. El objetivo es que dentro del invernadero podamos controlar las variables que afectan a la precocidad, producción y calidad de los cultivos, tales como, la cantidad y calidad de la luz que llega a las plantas, su humedad, ventilación pero sobre todo la temperatura. Es con respecto a este último punto donde el concepto de propiedades térmicas juegan un papel fundamental. Se define el efecto termo aislante como la capacidad que tienen algunas películas de ser opacas a la parte más importante de la radiación infrarroja larga (7 a 14 micrones de longitud de onda) emitida por el suelo y las plantas calentadas por la radiación solar durante el día. En los invernaderos provistos de películas termoaislantes, se puede prevenir o al menos reducir el riesgo de heladas al mantenerse dentro del recinto del invernadero el calor acumulado durante el día.

El efecto termoaislante de una película además de ser en función de su espesor depende de la propia naturaleza del polímero con el que se fabrica la película. Determinados polímeros como es el caso de los copolímeros EVA presentan un valor termoaislante inherente. Sin embargo en el caso de los polietilenos de baja densidad el efecto termoaislante sólo se consigue mediante la incorporación de paquetes de aditivos con esta propiedad "de aislante térmico". Algunos productores de películas, incorporan junto a los paquetes de aditivos térmicos, sustancias tensoactivas que reducen la condensación en la superficie del filme, evitando el goteo muy perjudicial para flores y follaje. También hemos de citar que el diseño del invernadero puede condicionar el uso de películas de una u otra naturaleza o características.

Otro punto fundamental en la calidad y duración de una película, es la tecnología empleada en la fabricación de ésta. Solamente citaremos que el nivel tecnológico alcanzado en Latinoamérica en los equipos modernos de extrusión, nos permite afirmar que si se observan las normas de buena fabricación y de control de calidad no es de esperar excesivas limitaciones por este concepto.

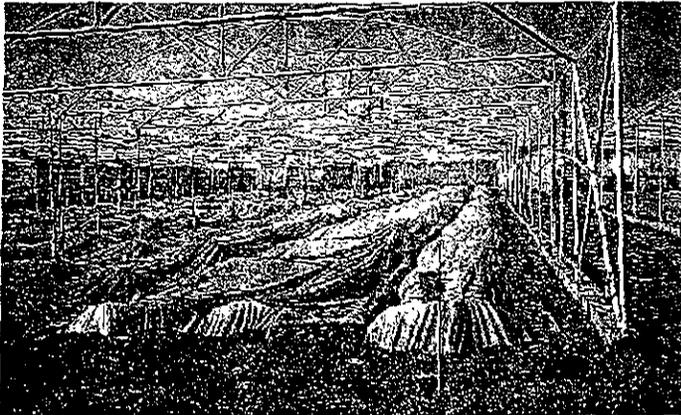
Debemos insistir en dos puntos importantes, la duración útil de una película y el de su desecho una vez cumplido su cometido. Con respecto a la duración útil de una película de invernadero, hemos de tener en cuenta que aparte de las condiciones de transmisión de luz ya citados, está el tema de que a medida que se alarga el periodo teórico de duración, los factores medioambientales (efecto de los agroquímicos utilizados) en el interior del invernadero y derivados del tipo de cultivo, y el estado del suelo, influyen cada vez más por lo que se hace más difícil la predicción de la vida efectiva de la película.

Otro punto importante a tener en cuenta es el del impacto medioambiental de las películas de invernadero una vez finalizada su vida útil. Este tema ha cobrado una importancia capital en la actualidad puesto que por un lado la concentración geográfica de invernaderos ha aumentado, especialmente en determinadas zonas como es el caso de Corrientes y Rosario en Argentina o la zona de Quillota-Limache en Chile y, por otro la conciencia medioambiental es cada vez más exigente, es por ello por lo que todos los sectores involucrados en la cadena de producción deben ser conscientes de su importancia y así el productor de aditivos, el de polímeros, el transformador, comercializador y finalmente el agricultor deberán tener en cuenta que no hay una solución ideal sino razonablemente satisfactoria siempre y cuando se cumplan las regulaciones que existen y que se están elaborando al respecto

2. Películas para Túneles Pequeños

Los túneles pequeños, se diferencian de los grandes (considerados a todos los efectos como invernaderos) en su tamaño no superior al metro de altura, en el espesor de la película, generalmente por debajo de 80 micrones, y en la duración, que normalmente se extiende a un periodo máximo de una campaña agrícola. Desde el punto de vista de técnica en la Plásticoscultura constituye un complemento a los invernaderos y acolchados. Determinados cultivos como por ejemplo la producción del melón y verduras de hoja, emplean fundamentalmente el túnel pequeño que presenta, como toda técnica agrícola, ventajas e inconvenientes, siendo quizás el de la gran incidencia del costo de mano de obra el factor limitante para su aplicación en un mayor número de cultivos, además de una menor inercia térmica que obliga igualmente a una manipulación mayor. Por otra parte es frecuente la asociación de los túneles pequeños con un acolchamiento del terreno con técnicas de microirrigación.

Desde el punto de vista de los polímeros empleados, el polietileno de baja densidad y los copolímeros EVA son los más frecuentes por sus características de transparencia y marcado efecto termoaislante. Esta aplicación se ha desarrollado lentamente en Latinoamérica alcanzando un volumen de 3.000 toneladas.



Fuente: Coextruded PE Blown films de The Dow Chemical Company

3. Películas para Acolchados

Las películas para acolchados constituyen la segunda aplicación en importancia por su volumen al destinarse más de 300.000 toneladas cada año en las diferentes partes del Mundo. En Latinoamérica esta aplicación se ha desarrollado principalmente en Centroamérica y México alcanzando un volumen por encima de 6.000 toneladas por año. La técnica de acolchado consiste en la cobertura del suelo o las plantas con una película fina de plástico, con lo que favorece el calentamiento y mantenimiento de la temperatura del suelo permitiendo así el adelantamiento de la siembra, de la cosecha (precocidad) y otros beneficios que afectan a la calidad y cantidad de las cosechas. También ayudan los acolchados a conservar la estructura de los suelos evitando una excesiva erosión además de ayudar a una mejor administración del agua, tema muy importante en las geografías con recursos hídricos escasos

La técnica de acolchado no sólo es la aplicación mecanizada de los filmes sobre el terreno, sino que representa un conjunto de operaciones que van desde la elección del tipo idóneo de película, la forma de aplicación, la modificación de las operaciones del cultivo, los agroquímicos necesarios, la frecuencia de aplicación, en definitiva es una tecnología que puede ser muy tecnificada y compleja. Las películas para acolchados pueden ser naturales o pigmentadas, cumpliendo estos últimos una función adicional, así los de color negro evitan el crecimiento de hierbas no deseadas en torno a las plantas con el consiguiente ahorro de herbicidas.

En el caso de los blancos además de una cierta opacidad se busca el máximo de reflexión de luz hacia las partes inferiores de las plantas. En otros colores se busca una función más selectiva ya sea la filtración de determinadas longitudes de onda, actuar como reflectores de luz para evitar determinados insectos o bien si las películas son transparentes su función es conseguir el máximo calentamiento del suelo. Las películas para acolchados tienen espesores comprendidos entre 12 y 80 micrones dependiendo de la duración deseada y el método de instalación. Los anchos pueden llegar hasta más de 3 metros. Con la excepción de las películas para acolchados usados en el cultivo de las frutas, la mayoría de las películas de acolchado están diseñados para una duración que no va más allá de los 4-5 meses, por lo que se hace innecesaria la incorporación de aditivos estabilizadores frente a la degradación por rayos UV.

Las películas para acolchados se fabrican a partir de polietilenos lineales de baja densidad y polietilenos de baja densidad. Conviene citar que por sus mejores propiedades mecánicas los filmes de polietileno lineal de baja densidad permiten espesores muy finos y por lo tanto menor costo a igualdad de superficie acolchada.

Algunos ejemplos de utilización de películas para acolchados pueden verse en los cultivos de frutas, espárragos, melón, sandía, algodón y maíz híbrido. También y por extensión podemos incluir dentro de la categoría de acolchados, las películas que se emplean para la solarización y desinfección de suelos. La solarización consiste en la cobertura total del terreno durante los meses de verano (sin cultivo) con una película transparente previa irrigación del terreno. En estas condiciones se consiguen temperaturas en torno a los 50 grados centígrados que al estar actuando por un período largo de tiempo (alrededor de dos meses) produce una desinfección, en el suelo, eliminando o reduciendo drásticamente el uso de desinfectantes químicos con la consiguiente mejora medioambiental. Las películas para desinfección son generalmente de polietileno de baja densidad, y/o mezclas de baja densidad y polietileno lineal.

4. Películas para el ensilado de forrajes

La función de estas películas es mantener el forraje aislado del contacto del aire con lo que mantiene su poder nutritivo conservándolo en condiciones apropiadas para su consumo según las necesidades del ganado. Podemos clasificar las películas para ensilados en dos grupos. El primero lo constituyen los filmes de grandes anchos (hasta 16 metros) y espesores en torno a los 150 micrones, en colores blancos, negros y bicolors blancos/negros. La función del color negro es sobre todo la de proteger a la película de la degradación por la radiación UV; la del color blanco la de evitar un cierto calentamiento del forraje. En ambos casos las películas deben estar diseñados o estabilizados para una duración de 12 meses. En cuanto a los polímeros empleados podemos citar fundamentalmente al polietileno de baja densidad, solo o en mezclas con polietileno lineal de baja densidad.

Este mercado se considera estacionado o incluso en ligera regresión debido al progresivo aumento del ensilado individual de tortas de forraje, mediante el empleo de películas estirables, y el uso cada día creciente de los silos modulares tubulares.

Las películas para los silos modulares tubulares, debido a su tamaño y necesaria resistencia mecánica para soportar el proceso de ensilado mecánico, se fabrican generalmente por coextrusión utilizando polietileno de baja densidad con alto porcentaje de polietileno lineal de baja densidad.



Fuente. Coextruded PE Blown films de The Dow Chemical Company

5. Otras aplicaciones de películas agrícolas: Bolsas para la protección del plátano en la planta.

Estas bolsas cumplen una triple funcionalidad: evitar picaduras de los insectos, crear un microclima para favorecer el crecimiento y caso de estar impregnadas de insecticida favorecer también la defensa contra las plagas. Esta aplicación está fundamentalmente extendida en Centroamérica y determinados países de Sudamérica. Por exigencias de costo se hace necesario que estas bolsas sean extremadamente finas (12-14 micrones), además de presentar unas razonables propiedades mecánicas que hacen que de nuevo sea el polietileno lineal de baja densidad el material más idóneo.



Fuente. Coextruded PE Blown films de The Dow Chemical Company

Otro tipo de película empleada en la agricultura es para los cultivos hidropónicos. Se describe el cultivo hidropónico como aquél que no utiliza el suelo para el desarrollo de las plantas al estar las raíces de éstas en un medio aislado del suelo y de donde absorben la solución nutritiva para su alimentación. Las raíces están inmersas en un medio sintético e inerte que no tiene otra función que la de servir para la fijación física de las mismas. Todo este sistema está envuelto por una película que tiene la forma de una tubería gruesa. La funcionalidad de este sistema estriba en que las raíces están aisladas del suelo por lo que se ven libres de contagios y enfermedades originadas por los microorganismos presentes en el mismo. Estas películas son generalmente bicolors blanco-negro y están dispuestos sobre bandejas o sobre el terreno en el interior de los invernaderos. Se pueden fabricar con polietileno de baja densidad o bien con mezclas de baja densidad y lineal

Otras películas que se utilizan en el interior de los invernaderos son los que forman los dobles techos con el objetivo de formar una cámara de aire que proteja a las plantas de las bajas temperaturas durante las noches de invierno, cuando no se utilizan películas térmicas o no se calientan los invernaderos, además de proteger a las plantas del perjudicial goteo por condensación.

Con respecto a estas películas cabe comentar que si bien cumplen su cometido en cuanto a propiedades térmicas, también reducen la luz en el interior del invernadero cuando ésta es más escasa (periodo invernal) con la consiguiente influencia negativa en el crecimiento de las plantas. De utilizarse este sistema recomendamos que las películas presenten una excelente transparencia.

Entre otras aplicaciones de menor volumen podemos mencionar: mangas flexibles para conducción de agua por gravedad, cinta para amarre de viñas y control de insectos, casetas para el secado de tabaco, etc.



Fuente: Coextruded PE Blown films de The Dow Chemical Company

B. Alternativas en Empaque de Atmósfera Modificada de Verduras y Frutas Frescas



Fuente. Revista Packaging World, SUMMIT USA

Dos de los mayores problemas que se encuentra en el mercado de vegetales y frutas frescas es la pérdida de calidad y la corta vida de anaquel de estos productos.

La demanda por productos frescos y listos para ingerir, tales como ensaladas productos precocidos muestra un crecimiento acelerado. Por otra parte, las pérdidas de producto durante todo su ciclo hasta llegar al consumidor presentan valores de hasta un 50% de pérdida en países en vía de desarrollo.

Posteriormente se hablará de algunas de las más importantes ventajas del empaque en atmósfera controlada, la flexibilidad que puede ofrecer resinas como Affinity en la concepción de este tipo de empaque y el proceso de diseño de estructuras con estos materiales para esta aplicación.

Ventajas:

El empaque de vegetales y frutas frescas en un ambiente de atmósfera modificada ofrece beneficios como:

- Extender la vida de anaquel de los productos frescos.
- Reducir la cantidad de producto descartado por pérdida de propiedades.
- Mejorar y dar una calidad más constante durante el almacenamiento en anaquel.
- Evitar la exposición del producto a bacterias sin deteriorar su calidad.
- Posibilitar la presentación del producto en una forma lista para usar.

Los sistemas de empaque en atmósfera modificada se pueden emplear para aumentar la vida de anaquel del producto en forma considerable y evitar situaciones como las actuales donde productos como las hortalizas y vegetales que se transportan a granel y se venden sin empacar, o precariamente empacados, no pueden pasar mucho tiempo en manos del distribuidor mayorista, el supermercado, y el consumidor final.

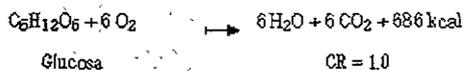
Fundamentos:

El empaque en atmósfera modificada busca extender la vida de anaquel del producto fresco reduciendo la tasa de respiración y el envejecimiento asociado

El principio de empaque en atmósfera modificada se basa en el manejo adecuado de etileno, oxígeno y dióxido de carbono. Estos gases son importantes porque tanto frutas como vegetales frescos continúan respirando y maduran después de ser cosechados. Durante este periodo el producto consume oxígeno y libera dióxido de carbono, opuesto a lo que sucede en la fotosíntesis donde la planta absorbe dióxido de carbono y libera oxígeno

El etileno es un agente madurador que es generado por el producto fresco. El uso de este gas al ser maximizado retarda el proceso de maduración. El oxígeno participa en la respiración como un reactivo. Es conveniente disminuir la concentración de oxígeno, ya que esto disminuye la tasa de respiración, siempre y cuando se mantenga en un valor mínimo que evite las complicaciones de respiración anaerobia. El dióxido de carbono participa en la respiración. Al aumentar la concentración de éste en el empaque puede disminuir la respiración. Sin embargo, niveles muy elevados de dióxido de carbono pueden causar daños como rompimiento de los tejidos internos.

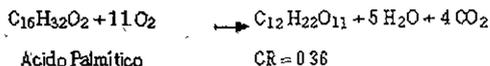
Una reacción que ocurre durante el proceso de respiración es la conversión de la Glucosa y el Oxígeno en Agua y Dióxido de Carbono:



Lo que se busca con el empaque de atmósfera modificada es reducir la tasa de envejecimiento mediante la reducción la tasa de respiración del producto. Esto se logra generalmente reduciendo la cantidad de oxígeno y aumentando la cantidad de dióxido de carbono en el empaque. Esto, por supuesto, debe hacerse en forma controlada y balanceada de tal forma que se asegure un mínimo de respiración aeróbica ya que de lo contrario podría haber respiración anaerobia y en consecuencia deterioro prematuro del producto. Por esto los empaques deben ser diseñados con propiedades de barrera selectivas para asegurar un control efectivo de las tasas de transmisión de oxígeno y la concentración de este dentro del empaque.

El incremento en la concentración de dióxido de carbono puede también reducir la tasa de respiración del producto. Para algunos productos este puede inhibir el crecimiento de ciertos microorganismos. Por ejemplo, puede actuar como un fungicida en las fresas.

La relación de CO₂ producido a O₂ consumido se conoce como el cociente respiratorio CR. Para el ejemplo que se mencionó anteriormente este cociente es CR= 1. Para otras reacciones de envejecimiento este cociente puede ser mayor o menor a 1. Cada producto presentará diferentes tipos de reacciones y en consecuencia diferentes CR, como se ilustra en el siguiente ejemplo:



Adicional a la concentración de oxígeno y al dióxido de carbono, hay otros factores que también participan o afectan la tasa de respiración del producto:

- Temperatura
- Concentración de etileno
- Contenido de humedad

La temperatura es quizás el factor más importante Cuando un producto es almacenado a temperatura ambiente este se envejece rápidamente Cuando se refrigera respira más lentamente y se conserva más tiempo

La tabla 1 ilustra para algunos productos los límites de CO₂ y O₂ tolerables

% CO ₂		% O ₂	
0		10	Espárragos
1	Lechugas	9	
2	Tomates, Ajo Alcachofa	8	
3		7	
4	Zanahorias	6	
5	Coliflores, Pepinos (12°C)	5	Alverjas
6		4	
7	Alverjas, Zanahoria, Berenjena, Cokombro	3	Tomates, Pepinillo
8	Rábanos, Ajo	2	Coliflor, Lechuga
9	Cebollas, Papas	1	Brócoli, Champignones
10	Cebolla, Cokombro, Pepinos, (5°C)	0	
15	Espárragos, (2°C) Brócoli		
20	Espinaca, Champignones		

Fuente. The preservation of perishables by modified atmosphere packaging. Institute of technology

La tabla 2. Establece una comparación cualitativa entre estos tres tipos de polímeros.

Resino	Affinity PI 1140	Affinity PI 1800	Affinity PI 1340	Esocel 3028	Dowex 3128	Dowex 3135	Dowex 3165	Attane 4213	Attane 4201
Densidad	0.9365	0.902	0.908	0.900				0.906	0.912
Índice de fluidez	16	10	10	12	20	0.32	0.8	0.8	10
Ópticas	E	E	B	E	B	E	E	A	A
Resistencia a la Perforación	B	E	E	E	A	B	B	E	E
Sello en Caliente	E	E	E	E	R	R	R	B	E
Resistencia al tuma Sello	B	E	B	B	R	R	R	B	E
Temperatura de irradiación de sellado	E	B	E	B	A	B	B	B	B
Transmisión de Oxígeno (Alto es bueno)	E	B	B	E	R	A	B	B	E
Transmisión de vapor de agua (Bajo es bueno)	B	E	E	E	B	A	R	E	E

|E| Excelente |B| Bueno |A| Aceptable |R| Regular

Fuente: Manual del Plástico de The Dow Chemical Company

Selección del Material y beneficios de los Productos Affinity:

Los materiales más comúnmente empleados para esta aplicación son:

- Plastómeros de Poliolefinas.
- Polietilenos de ultrabaja densidad.
- Copolímeros de Etileno – Vinil Acetato

Los plastómeros de poliolefinas (POP) son una categoría, relativamente, nueva de materiales poliméricos. Estos polímeros tienen un uso amplio en el empaque de vegetales y frutas frescas y otras aplicaciones de alto rendimiento. Debido a que ofrecen una combinación única de alta transmisión de oxígeno, relativamente baja transmisión de vapor de agua, excelente sellabilidad, excelentes propiedades ópticas y baja contribución de olor y sabor, son una alternativa bien balanceada para empaques de atmósfera modificada para vegetales y frutas frescas. Existen diferentes tipos de plastómeros poliolefinicos.

Algunos son moléculas lineales y contienen ramificaciones que resultan solamente de la incorporación de un comonomero como Buteno, Hexeno u Octeno. Otro tipo de plastómero poliolefinico contiene ramificaciones de cadena larga y cadena corta. Los plastómeros Affinity son producidos por The Dow Chemical Company con tecnología INSITE y se diseñan especialmente para que contengan cierta cantidad de ramificaciones largas. Estas ramificaciones largas dan al plastómero mejor procesabilidad cuando se le compara con otros plastómeros competitivos

Los polietilenos de ultrabaja densidad (Attane) también pueden satisfacer los requisitos para esta aplicación, especialmente cuando las propiedades ópticas no son tan críticas.

La figura 1 ilustra las tasas de transmisión de oxígeno para dos distintos Affinity y dos polietilenos de ultrabaja densidad comparados con dos resinas típicas de EVA. Como se puede apreciar los plastómeros al igual que las dos resinas de ultrabaja densidad presentan excelentes valores de transmisión de oxígeno, cercanos a 1500 c.c (@ STP) - mil / 100 sq.in -día-atm @ 25C.

Tasa de transmisión de Oxígeno para diferentes plastómeros, PE de ultrabaja densidad y copolímeros de Etileno & Vinil Acetato.

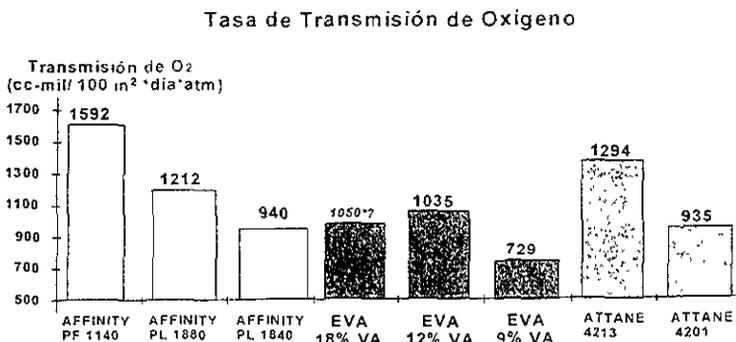


Figura 22.

Fuente: Coextruded PE blown film structures for fresh cut produce packaging. Dow Plastics

La figura 23 muestra la dependencia de la transmisión de oxígeno de la temperatura. Esta relación es aproximadamente logarítmica. La transmisión de oxígeno sigue la relación de Arrhenius y en consecuencia el logaritmo de la transmisión de oxígeno es proporcional al inverso de la temperatura ($1/T$) donde la temperatura está expresada en grados Kelvin. Debido a la gran dependencia de la transmisión de oxígeno de la temperatura, se debe tener un cuidado especial durante las mediciones, y el uso de esta información para efecto de cualquier cálculo.

Dependencia de la transmisión de Oxígeno de la Temperatura.

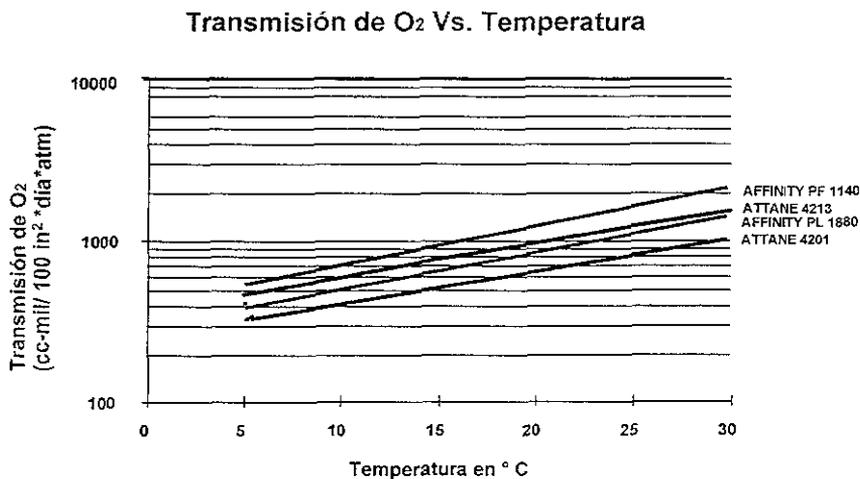


Figura 23.

Fuente: Coextruded PE blown films structures for fresh cut produce packaging, Dow Plastics

Otros factores que pueden afectar la transmisión de oxígeno de la película son: las condiciones de fabricación y el nivel de aditivos. Por ejemplo, un enfriamiento rápido puede resultar en una película con menor cristalinidad que tendrá una mayor permeabilidad al Oxígeno.

La figura 24 muestra la dependencia de la transmisión de Dióxido de Carbono de la temperatura. Al igual que la transmisión de Oxígeno esta muestra también una dependencia logarítmica de la temperatura.

Efecto de la Temperatura sobre la tasa de Transmisión de CO₂.

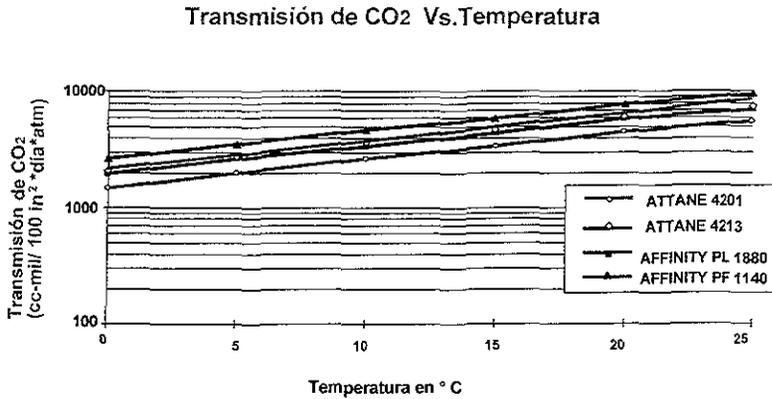


Figura 24.

Fuente: Coextruded PE blown films structures for fresh cut produce packaging. Dow Plastics

La figura 25 muestra la Transmisión de vapor de agua (wvtr). Debido a que tanto los Affinity como los Polietilenos de ultra baja densidad no tienen polaridad, o esta es muy baja, estos presentan una menor transmisión de vapor de agua comparado con EVA. Esta es una gran ventaja de estas resinas para esta aplicación, ya que es deseable que este valor sea bajo para evitar que la verdura fresca se deshidrate.

Transmisión de Vapor de Agua

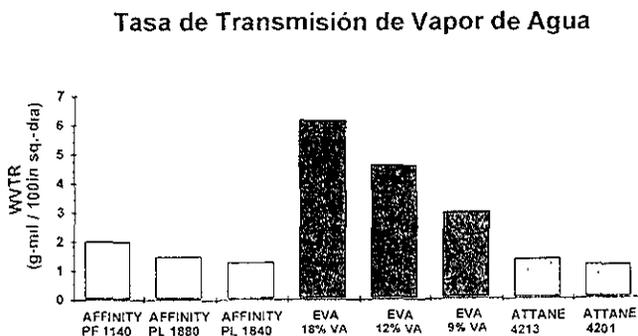


Figura 25

Fuente: Coextruded PE blown films structures for fresh cut produce packaging. Dow Plastics

Las figuras 26 y 27 ilustran de sellado en frío y en caliente de estas resinas. La figura cinco muestra las características sobresalientes de sellado en caliente, y la baja temperatura de inicio de sello de los Affinity (POP), en contraste con el pobre comportamiento de las resinas de EVA.

Resistencia al Sello en caliente

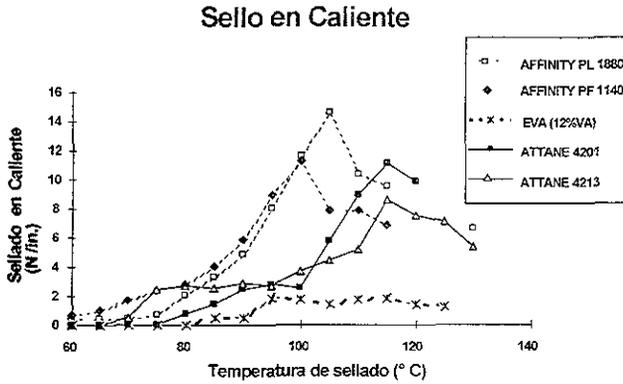


Figura 26

Fuente: Coextruded PE blown films structures for fresh cut produce packaging, Dow Plastics

Resistencia al Sello en Frío

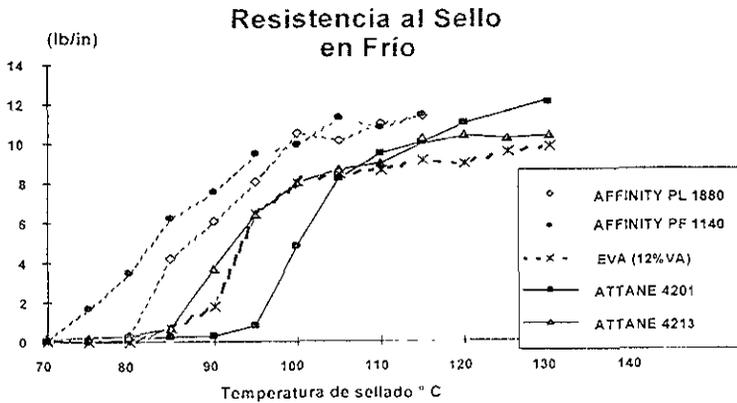


Figura 27

Fuente: Coextruded PE blown films structures for fresh cut produce packaging, Dow Plastics

La figura 28 compara la opacidad de las resinas. Los plastómeros de poliolefina presentan la menor opacidad. Esta condición los hace altamente atractivos para aquellas aplicaciones en las que el producto debe ser expuesto en vitrina, por ejemplo supermercados.

Fig. 7 Opacidad

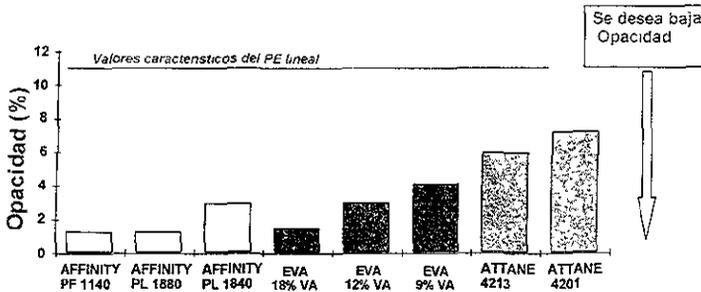


Figura 28.

Fuente: Cocxtuded PE blown films structures for fresh cut produce packaging, Dow Plastics

Estos materiales de alta permeabilidad generalmente se combinan con otros materiales de mayor rigidez, para mejorar la maquinabilidad en los equipos de sellado automático, y dar al usuario final una mejor apariencia al tacto del empaque. Algunos ejemplos de los materiales empleados con los Affinity incluyen Polipropileno, Polietileno lineal (Dowlex), Polietileno de alta densidad, entre otros. Estos materiales se incorporan vía coextrusión ó laminación.

En la figura 29, se ilustra para una estructura multicapa la forma de calcular las tasas de transmisión de la estructura. La ecuación se ilustra a continuación:

$$(OTR)_{tot} = 1 / (t_1/OTR_1 + t_2/OTR_2 + t_3/OTR_3) \rightarrow \text{Tasa total de transmisión de oxígeno}$$

donde, (OTR) tot

t_i \rightarrow Espesor de la capa i

OTR_i \rightarrow Tasa de transmisión de oxígeno de la capa i

Figura 29

Fuente: Step-bysstep procedures for extending the shelf-life of fresh-cut produce de The Dow Chemical Company

Es importante recordar que para obtener el valor real de Transmisión de oxígeno en el empaque se debe multiplicar el valor de la Transmisión de Oxígeno de la película por el gradiente de concentración de Oxígeno entre el interior y el exterior del empaque

Determinación de la Transmisión de Oxígeno en una estructura Multicapa

The diagram shows a two-layer structure. On the left, oxygen concentration is labeled X_{O_2out} . On the right, it is labeled X_{O_2in} . The first layer is labeled 'Capa 1' with thickness t_1 . The second layer is labeled 'Capa 2' with thickness t_2 . Below the diagram, the equation for the overall oxygen transmission rate is given as:

$$TR_{coex} = \frac{1}{\frac{L_1}{TR_1} + \frac{t_2}{TR_2}} \times (X_{O_2out} - X_{O_2in})$$

Figura 30.

Fuente: Step-by-step procedures for extending the shelf-life of fresh-cut produce de The Dow Chemical Company.

A continuación se ilustran algunas estructuras de tres capas, que permiten observar diferentes grados de permeabilidad y las propiedades mecánicas de las películas.

Resinas empleadas en las estructuras comparativas

Resina	Indice de Fluidez	Densidad	Tipo
Affinity PF 1140	1.6	0.896	Plastómero
Affinity 1840	1.0	0.908	Plastómero
Attane 4213	0.8	0.905	ULDPE
Dowlex 2045A	1.0	0.920	LLDPE

Estructuras Evaluadas para Empaque de vegetales frescos

Estructura	Capa de sello 0.5 mils	Capa Central 1.2 mils	Capa externa 0.3 mils
1	Affinity PF 1140	Dowlex 2045A	Dowlex 2045A
2	Affinity PF 1140	Affinity PF 1840	Dowlex 2045A
3	Affinity PF 1140	Affinity PF 1140	Dowlex 2045A
4	Affinity PF 1140	Affinity PF 1140	Attane 4213

Tasas de transmisión de Oxígeno de las Películas

Estructura	Materiales Sello / centro / Exterior	OTR @ 25°C c.c /mil/100 in2/día/ atmósfera	OTR @25°C Para 2 mils c.c/ 100in2/día/atm.
1			
2	1140/1840/2045A	820	410
3	1140/1140/2045A	1060	530
4	1140/1140/4213	1270	630

Fuente Step-by-step procedures for extending the shelf-life of fresh-cut produce de The Dow Chemical Company

Propiedades de Sello

Estructura	Temp. de iniciación De sello, °C	Resistencia última de Sello, Lbs./in	Sello en caliente, N/in
1	71	4.9	5.0
2	71	4.7	4.5
3	71	3.8	3.9
4	71	3.1	4.1

Módulo (Rigidez)

Estructura	Módulo 2% dirección máquina Psi.	Módulo 2% Dirección transversal, psi
1	23600	27900
2	14800	15700
3	11000	11700
4	9100	9300

Propiedades Ópticas

Estructura	Brillo 20°	Brillo 45°	Opacidad, %
1	96.0	73.7	6.9
2	89.4	72.5	5.0
3	103.5	78.9	4.7
4	111.7	3.0	4.1

Propiedades Mecánicas

Estructura	Impacto al dardo (B) Gram/mil	Elmendorf, grs./mil MD / CD
1	390	430 / 640
2	>850	310 / 440
3	>850	270 / 410
4	>850	290 / 390

Fuente Step-by-step procedures for extending the shelf-life of fresh-cut produce de The Dow Chemical Company

Estos ejemplos son una ilustración de cuan amplio puede ser el rango de propiedades al que se puede llegar variando los materiales y los espesores en una estructura multicapa

Conclusiones:

- Los empaques de atmósfera modificada para vegetales y frutas frescas se deben diseñar y fabricar cuidadosamente para asegurar la mejor calidad del producto empacado.
- La tasa de respiración del empaque debe coincidir bastante bien con la tasa de respiración del producto dentro del empaque. El objetivo final del Empaque en Atmósfera modificada, es reducir la tasa de respiración del producto pero sin inhibir completamente la respiración aeróbica. Esto generalmente se logra reduciendo la cantidad de Oxígeno dentro del empaque e incrementando la concentración de Dióxido de Carbono.
- El empleo de materiales de alto rendimiento como los plastómeros Affinity, permiten combinar las tasas apropiadas de respiración del empaque con excelentes propiedades de sellado, ópticas, resistencia a la perforación, y baja contribución de olor y sabor.

C. Empaques para Envases Automáticos.



Fuente Revista Packaging World, SUMMIT, USA

En este mundo moderno donde la reducción de costos, el aumento de la productividad y el ahorro de espacio se han vuelto una exigencia cada vez más esencial para que cualquier producto de consumo tenga éxito, ha impulsado el crecimiento en el uso de los empaques flexibles.

En algunos mercados dicho crecimiento ha llegado a tasas del 25% anual, en parte porque este tipo de empaque conlleva una economía que puede alcanzar el 50%, si se considera el ahorro en el costo de envase, transporte e inventario. Se estima, que para el año 2001, los empaques flexibles abarquen hasta un 10% del mercado mundial de envases de líquidos y polvos.

Hay dos tipos principales de empaques flexibles en el mercado, uno es el empaque stand-up que utiliza una máquina de envase con barra de sellado horizontal (HFFS) y el empaque tipo almohada que utiliza una máquina de envase con barra vertical (VFFS).

Estructuras Típicas

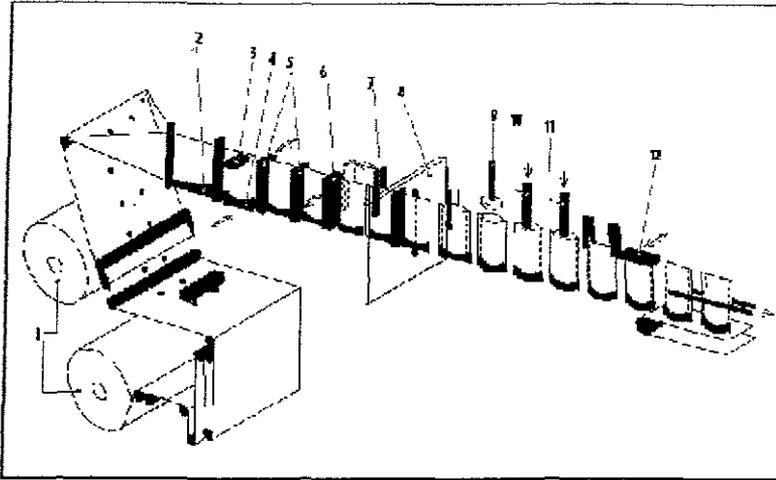
Empaques Stand-up:

Los empaques stand-up se usan mucho para envases de consumo tales como detergentes, jugos, mayonesas, champo, algunos tipos de leche en polvo, aceite para motores, etc. Estos empaques se fabrican con una máquina tipo HFFS que hace un esfuerzo horizontal y lo sella en caliente para producir una base sobre la cual se sostiene el empaque.

En general, el fondo es una película flexible aparte, que va sellada sobre la base de la estructura; en otros casos se dobla la película en forma de W y se sella en la base de la estructura.

Los materiales que se suelen usar para este tipo de empaques son muy variados. Los principales requisitos para elegir el material tienen en cuenta la rigidez, las propiedades de barrera y las características de sellado. Por lo general, tales empaques se fabrican por coextrusión, usando polietileno de baja densidad lineal en la capa selladora como Dowlex. Sin embargo, dependiendo de la velocidad de envase y de la fuerza de sellado necesaria, se puede usar polietileno de ultra baja densidad lineal (Attane), los polietilenos optimizados (E-lite) o los plastómeros olefinicos (Alifinity).

Máquina Automática de Envase con Barra Vertical



1.Bobina / 2.Formador de fuelle / 3.Fotocelda / 4.Barra de sellado / 5.Barra de sellado vertical / 6.Barra de enfriamiento / 7.Cuchilla / 8.Apertura de la bolsa / 9.Inflador de la bolsa / 10.Primer estación de llenado / 11.Segunda estación de llenado / 12.Sellador Superior.

Figura 30

Fuente Revista Packaging World, SUMMIT,USA

Posteriormente se describen algunas combinaciones de resinas que se utilizan en este tipo de estructuras.

Película de Baja Barrera (Detergentes Líquidos, Productos de Limpieza)

Las más comunes se hacen por laminado o coextrusión y consisten en una capa externa resistente a la temperatura y una excelente capa selladora hecha con Dowlex/Affinity o Elite. Tales resinas presentan un óptimo rango de temperatura de sellado y una alta resistencia de la soldadura en caliente, que son requisitos imprescindibles para obtener un sellado excelente.

Las películas más usadas externamente son poliéster orientado, Nylon, polipropileno bi o monorientado. Las películas de poliéster brindan mayor rigidez, mientras que la película de polipropileno tiene buenas propiedades de brillo y barrera al vapor de agua.

Otra combinación que se usa mucho es una en donde se coloca una película de alta densidad junto con otra de densidad media en la capa del centro, para obtener una barrera contra el paso de grasas (por ejemplo, para empaques de alimentos concentrados para animales).

Película de Media Barrera (Detergentes sensibles al oxígeno, Alimentos)

Los empaques de media barrera se usan más en Europa y en América Latina que en los Estados Unidos. Una estructura típica trae dos capas estructurales y una capa selladora. Las dos primeras se eligen según el desempeño que se busca. Algunas utilizan PET en la capa externa para brillo y resistencia a la temperatura con una capa de Nylon en el medio. Otras utilizan Nylon/adhesivo/PE. La capa interna (de sellado) se hace nuevamente con Dowlex 2045.11/ Elite 5101 ó 5401, o con Affinity 1881 ó 1886 de acuerdo con el desempeño de sellado que se requiere.

Película de Alta Barrera (Alimento):

La mayor parte de los productos alimenticios se empaquen con películas de alta barrera. Tales empaques resultan más complejos y a veces requieren de 5 a 7 capas. La estructura que tiene 5 capas, por lo general lleva en el medio EVOH como barrera, dos capas de adhesivos, una capa selladora que puede utilizar los siguientes materiales, según la necesidad:

- Capa Externa
PET, 12 micrones (rigidez)
Nylon, 15 micrones (barrera)
BOPP ou OPP, 12 a 30 micrones (barrera, óptica)
PEBD ou PEBDL
- Capa Interna
Dowlax [resistencia de soldadura en caliente (hot tack), resistencia del sello].
Elite (baja temperatura de inicio de sellado, resistencia del sello, rigidez)
Affinity [baja temperatura de sellado, alta resistencia para soldadura en caliente (hot tack)]

Empaques Tipo Almohada:

Este es el tipo más común de empaque para envase automático utilizado hoy en día. Las aplicaciones incluyen: azúcar, arroz, frijoles, granos en general, algunos envases para detergente en polvo. Ese tipo de empaque puede tener estructuras muy sencillas (100% PEPD) o mezclas de PEPD con bajas o altas concentraciones de PEBDL, o estructuras más complejas (por ejemplo, laminadas con impresión en el reverso).

Normalmente estos empaques se fabrican con una máquina de envase tipo VFFS. En este tipo de máquina, la película suele entrar por una boquilla por donde forma un tubo. El tubo va sellado en los bordes longitudinales, o se dobla formando un sello interno/externo o por el ala usando un sello interno/externo. Simultáneamente se forma el sello superior de un envase y el sello inferior del otro.

Para atender a la mayoría de los mercados que utilizan este tipo de envase, las películas se hacen en una sola capa con mezclas de PEBD/PEBDL. Pero la velocidad de envase de las máquinas de VFFS aumentó y esto exige mejores propiedades de sellado.

Por eso ahora se comienzan a utilizar películas fabricadas por coextrusión cuya capa de sellado lleva materiales con buena capacidad de sellado para poder suplir dichas necesidades. (Elite, Affinity, EVA, etc.).

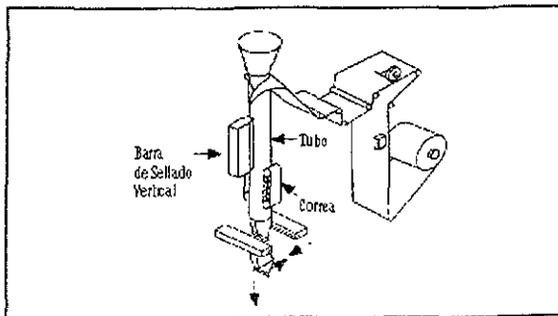


Figura 31

Fuente: Revista Packaging World SUMMIT, USA

Métodos de Sellado:

Dos tipos de tecnología de sellado se usan para la producción de envase automático: el sellado en caliente y el sellado por impulso.

Sellado en caliente:

La tecnología del sellado en caliente usa dos juegos de barras de selló (abrazaderas) que se ajustan a temperaturas específicas. La estructura de la película va presionada entre las dos abrazaderas calientes o entre una barra caliente y una superficie fija de goma.

Se usa un cuchillo para cortar el sello. La mayor parte de las máquinas VFFS usan esa tecnología de sellado en caliente. La temperatura de inicio de sellado se puede ajustar fácilmente variando la densidad del PEBDL usado en la capa de sellado. Las resinas con densidad más baja proporcionan temperaturas de inicio de sellado más bajas.

Resistencia de Sellado POP plastómeros olefinicos - Affinity*

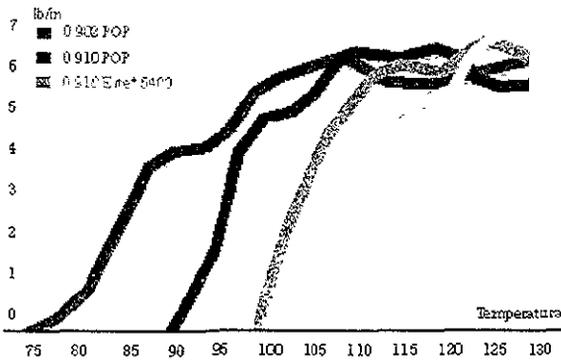


Figura 32.

Fuente: Manual de Plásticos de The Dow Chemical Company

Los productos que se obtienen de la tecnología INSITE* presentan densidades más bajas, por eso se usan para dar más resistencia a la soldadura en caliente y mayor capacidad de sellado, como se puede apreciar en los gráficos a continuación.

Temperatura de inicio de sellado vs densidad.

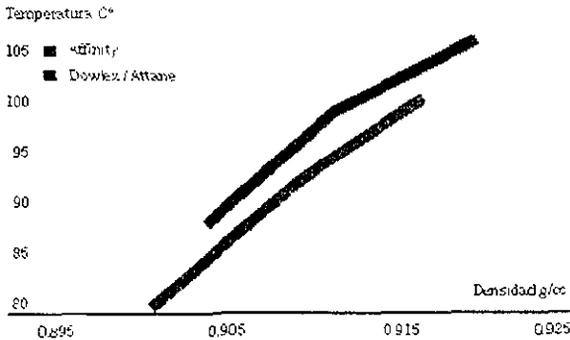


Figura 33

Fuente: Manual de Plásticos de The Dow Chemical Company

Resistencia de soldadura en caliente - Mezcla PEBDL / PEBD

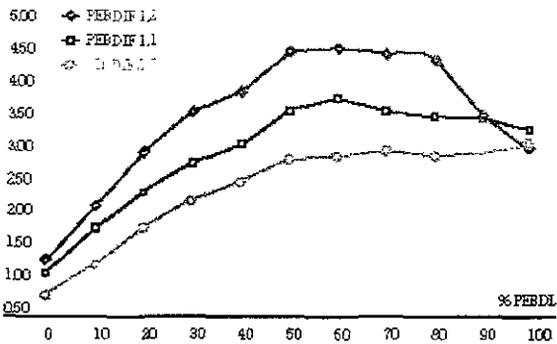


Figura 34.

Fuente: Manual de Plásticos de The Dow Chemical Company

Resistencia de sellado @ 140 C - Mezcla PEBD / PEBDL

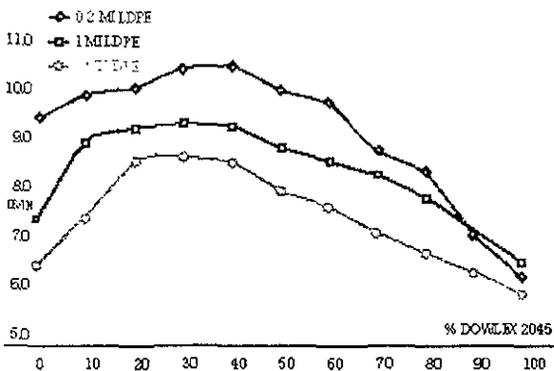


Figura 35

Fuente: Manual de Plásticos de The Dow Chemical Company

Sellado por impulso:

Para el sellado por impulso, una de las barras va cubierta con una goma sobre la cual se tiende un cable eléctrico recubierto con Teflón. La barra opuesta normalmente es del mismo material, pero no lleva cable conductor. Cuando las abrazaderas horizontales se cierran sobre el tubo de película, el cable despidе una carga eléctrica. Gracias a la resistencia eléctrica y a la forma del cable, la película queda sellada y cortada a la vez. La composición de la película es fundamental para que ese tipo de sellado tenga un desempeño adecuado. Las películas con baja capacidad de fusión y con elevada elasticidad de fusión, como las fabricadas con resinas PEBDL, dan como resultado un sellado no uniforme o con fuerza deficiente. La causa de su desempeño deficiente se atribuye al proceso de sellado por impulso.

Cuando el cable se calienta y empieza a derretir la película, eventualmente el peso del envase lleno provoca fractura de la película cerca del área de sellado. Las películas con elasticidad elevada y baja resistencia de fusión causan fracturas en el sello. Por lo general esto trae como resultado un sellado no uniforme y con fuerza deficiente. Por eso la selección del material es importante para asegurar un sellado adecuado

Resinas de Dow para el Mercado de Envase Automático.

Dow dispone de gran variedad de productos que abarcan las más diversas aplicaciones de embalajes flexibles para envase automático (FFS).

Los Polietilenos de baja densidad lineal a base de comonomero octeno - Dowlex, además de proporcionar mejor resistencia mecánica que los lineales a base de butenos, tienen mejores propiedades de sellado.

Resistencia del sello en caliente "Hot Tack"

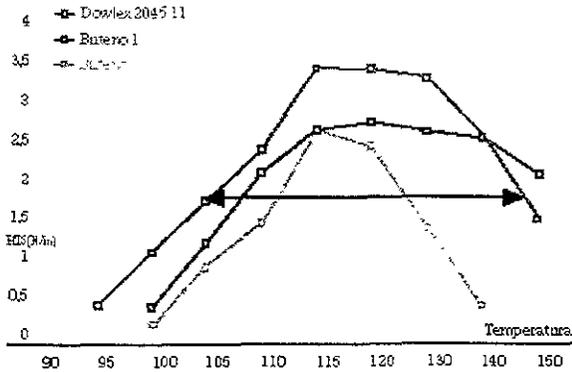


Figura 36.

PEBDL Buteno 1: Índice de fluidez=0,75 densidad = 0,918

PEBDL Buteno 2: Índice de fluidez=0,65 densidad = 0,919

Fuente: Manual de Plásticos de The Dow Chemical Company

Curvas de sellado

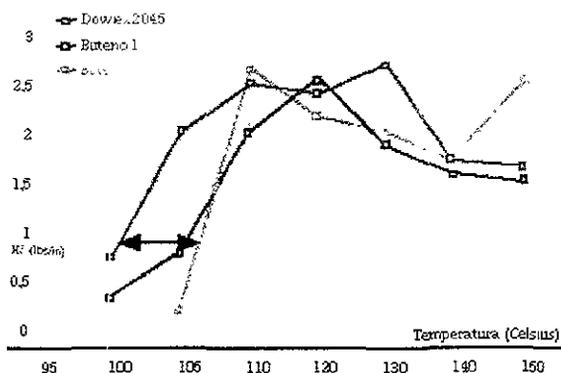


Figura 37.

PEBDL Buteno 1: Índice de fluidez=0,75 densidad = 0,918

PEBDL Buteno 2: Índice de fluidez=0,65 densidad = 0,919

Fuente: Manual de Plásticos de The Dow Chemical Company

Una curva de sellado más abierta y con más resistencia de soldadura proporciona al usuario final menos pérdidas por fallas y permiten que la máquina de envase tenga más variación de temperatura además de tener más productividad gracias a la posibilidad de acelerar la velocidad de envasado.

Las resinas Affinity, por sus propiedades de sellado (Gráfico 7) son las mejores alternativas para una capa selladora de una coextrusión, puesto que presentan valores de resistencia de soldadura y velocidad de envasado que no se alcanzan con los PEBDL convencionales.

Resistencia de soldadura en caliente

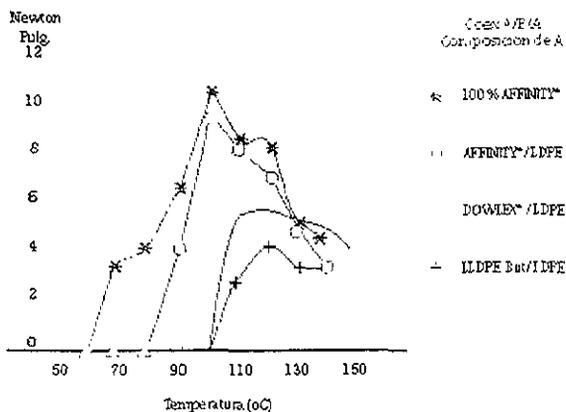


Figura 38.

Fuente: Manual de Plásticos de The Dow Chemical Company

El más reciente producto desarrollado con tecnología los Polietilenos optimizados Elite, proporcionan, además de una combinación única de propiedades mecánicas (rigidez, a la perforación, resistencia al impacto, etc.), características de sellado mejores que las de la serie Dowlex* y cercanas a las de la serie Affinity.

A continuación se presenta un cuadro acerca de las posibilidades de las resinas Dow con sus principales atributos para el sector de envase automático.

	Soldadura en caliente			Sellabilidad		Óptica	Prop. Mecánicas	Sabor y Olor
	Resist.	Temp. de Sellado	Marco	HS	Inicio			
1 MEZCLAS								
Dowlex 204511 + PEED	◊	◊	◊	→	◊	◊	◊	→
PEED + ATTANE 4201	◊	◊	◊	→	◊	◊	◊	→
PEED + Elite 5401	◊	◊	◊	→	◊	◊	◊	→
Dowlex + AFFINITY PL1880	◊	◊	◊	→	◊	◊	◊	→
Elite 5101 + PEED	◊	◊	◊	→	◊	◊	◊	→
2 COEXTRUSION - A/E, A= Sellador, B= DOWLEX*LLDPE								
ATTANE 4201	◊	→	→	→	→	◊	→	◊
ATTANE 4203	◊	→	→	→	→	◊	→	◊
Elite 5400	◊	→	→	→	→	◊	→	◊
AFFINITY PL1880	→	→	→	→	→	◊	→	→
3 COEXTRUSION - A/B/C, A= Sellador, B= DOWLEXLLDPE, C=DOWLEX LLDPE								
Elite 5100	◊	→	→	◊	→	◊	→	◊
Elite 5400	◊	→	→	→	→	◊	→	◊
AFFINITY FMI 570	→	→	→	→	→	◊	→	→
AFFINITY PL1880	→	→	→	→	→	◊	→	→
3 COEXTRUSION - A/B/C, A= Sellador, B= DOWLEXLLDPE, C=Sellador								
ATTANE 4201	→	→	→	→	→	◊	→	◊
ATTANE 4203	→	→	→	→	→	◊	→	◊
AFFINITY FMI 570	→	→	→	→	→	◊	→	→
AFFINITY PL1880	→	→	→	→	→	◊	→	→

* Trademark of The Dow Chemical Company ◊ Bueno → Mejor

Fuente Artículo de empaque y envasado automático y estructura de películas de The Dow Chemical Company

VIII. MANEJO Y RECICLADO DEL POLIETILENO

La contaminación ambiental es un fenómeno que se define como la acumulación de un material y/o residuo en una cantidad y en un lugar diferente a la condición natural en el medio ambiente. Este fenómeno puede ser causado por sustancias peligrosas y no peligrosas en cualquier estado físico, impactando a la naturaleza; agua, aire y suelo.

En el caso de la contaminación del suelo específicamente, es importante establecer que es provocada por residuos tanto de origen doméstico y municipal, como industrial.

Para prevenir y controlar la contaminación provocada por residuos industriales, existe una gran diversidad de alternativas tecnológicas que incluyen la disposición final controlada, como en el caso de rellenos sanitarios, tratamiento físico y químico, rehuso, incineración y reciclaje.

En México, los productos plásticos representan sólo el 3% en peso del total de la basura, mientras que en otros países. Esta proporción es mayor al 7%. En comparación, el papel y cartón representan el 36% de la basura. Este hecho, demuestra que la idea que se tiene de que el plástico contribuye en mayor medida a la basura, es errónea y ocasionada porque el plástico se presenta en formas más visibles. Desafortunadamente esto no nos salva ya que se generan más de un millón de toneladas de residuos plásticos en todo el país, y su volumen ha crecido a ritmos mayores que los del consumo total de resinas.

La propiedad de que un material se descomponga y desaparezca bajo la acción de bacterias en ciertas condiciones de aire, humedad y luz, se denomina biodegradabilidad. Por muchos años, esta propiedad fue la característica principal para desarrollar productos y materiales que no causaran problemas al medio ambiente. Hoy, con el creciente problema de la generación de desechos sólidos, la demanda de productos biodegradables, particularmente plásticos, se ha incrementado dramáticamente. Sin embargo, la biodegradabilidad no es una solución para el problema de la basura, ya que se ha demostrado que el enterrar la basura en rellenos sanitarios o basureros, tampoco resuelve el problema.

Después de algunos años de enterrados se han encontrado intactos objetos como alimentos y periódicos, que supuestamente se degradan más fácilmente que los plásticos. Lo anterior se comprobó mediante excavaciones que revelan que aunque ocurre alguna degradación de los desechos, ésta no es lo bastante rápida como para extender la vida útil del terreno. Además esta degradación puede producir gas metano, que es peligroso. Así mismo puede contribuir con sustancias peligrosas que contaminan el agua y la tierra, si no se tiene un control adecuado del terreno.

A diferencia de los basureros, los rellenos sanitarios han sido diseñados para momificar los desechos, de tal forma que no se degraden y generen gas metano y subproductos peligrosos que pudieran contaminar los mantos freáticos. En el caso de México los sistemas para el manejo de los residuos sólidos municipales no reúnen condiciones favorables para la separación y el reciclaje

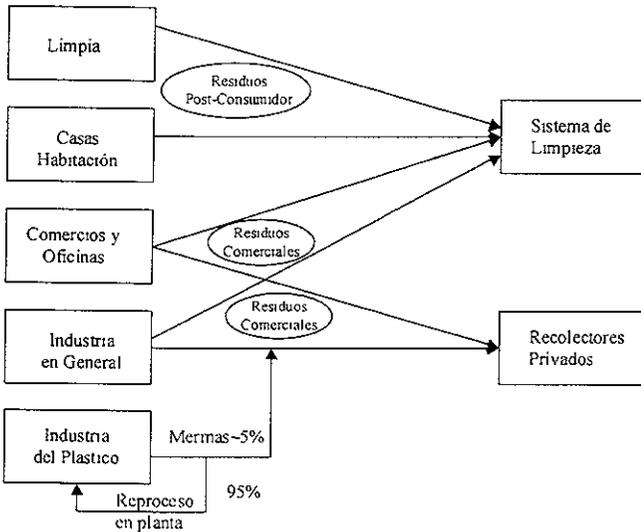
La biodegradación no es la solución para los problemas de volumen en los rellenos sanitarios. Los materiales que se biodegradan no desaparecen para crear mas espacio, toman otras formas y pudieran crear contaminantes.

El Polietileno no es biodegradable, por lo que es un material estable en los rellenos sanitarios y en basureros.

Otra alternativa para eliminar la basura, que ya esta siendo aplicada en países desarrollados, es la incineración, en la que por su poder calorífico, los plásticos representan una ventaja con respecto a otros materiales como el hule e incluso la madera. El Polietileno está constituido por Carbono e Hidrógeno Cuando se quema completamente, se transforma en vapor de agua, dióxido de carbono y trazas de cenizas no tóxicas. De hecho, por ser un hidrocarburo, el polietileno es benéfico para el proceso de combustión, por su alto poder calorífico (más de 17,800 BTU/lb), puede ayudar a quemar otros desechos y a mantener temperaturas de combustión altas, necesarias para una incineración adecuada.

Cabe mencionar que en México, la disposición de desechos mediante la incineración es prácticamente nula.

Los residuos plásticos tienen orígenes muy diversos, aunque su recolección se realiza por unos cuantos canales. Esto se indica en el siguiente diagrama:



Fuente. El Reciclaje de Plásticos en México Realizado por Texene para ANIQ-CIPRES

Los tres factores más importantes en el análisis de la generación y disposición de los residuos plásticos son:

1. Volumen. Esto incluye resinas transformadas y consumidas en México como manufacturas de plástico importadas (envases y embalajes) y envases y empaques de plástico que se importan con los productos importados finales.
2. Composición. Es la proporción de cada una de las manufacturas en el total de la corriente de residuos generados
3. Características. Esto se refiere al tipo de residuos generados por consumidor final, de industrias y comercios y aplicaciones que no generan residuos inmediatos (durables).

El consumo doméstico de resinas termoplásticas es un buen primer indicador del mayor volumen de residuos plásticos generados, pero las manufacturas importadas son otra fuente potencial de residuos plásticos pero en cantidades menores. Los residuos post - consumidor son más abundantes que los residuos industriales - comerciales y las aplicaciones duraderas, juntos. Las botellas y bolsas fueron los residuos post - consumidor más abundantes durante 1998 y 1999. Junto con los sacos, los envases y las películas también son los principales residuos industriales y comerciales. Cerca de la mitad de los residuos del Polietileno de alta Densidad son botellas y envases, mientras que solo una sexta parte son cajas y cubetas.

En los últimos años, el reciclado ha surgido como la mejor alternativa para resolver el problema de la basura, en parte por la falta de espacios para rellenos sanitarios o basureros. El reciclado da mejor resultado cuando es uno de los componentes de un sistema de manejo de recursos, que incluye también la reducción en la fuente, la reutilización, la recuperación de energía y el desecho de la basura. Como la mayoría de los otros materiales, los plásticos deben clasificarse por separado antes de reciclarse. En los países industrializados los nuevos sistemas automatizados pueden identificar los artículos por el tipo y el color de la resina para clasificarlos por separado en cubos que contienen plásticos similares. Además de ser útil, el reciclado ha creado una nueva actividad comercial. Pero la medida más importante en el reciclado es la adquisición de productos que contienen material reciclado. Esta acción cierra el ciclo de vida del producto y hace del reciclado un valioso instrumento de conservación.

Sin embargo, para que el reciclado se convierta en una acción significativa, primero se deben resolver ciertos problemas de costos, recolección de material, de una forma económica y eficiente, así como el contar con una demanda adecuada de los productos reciclados.

Seamos o no conscientes de ello, consumimos ya varios artículos reutilizables hechos de Polietileno como son cepillos de dientes, envases para guardar alimentos, cantimploras, artículos escolares y de oficina, *materiales de construcción, cajas, sillas y mesas etc.* Por ejemplo, muchas marcas de detergentes líquidos y suavizantes para ropa se venden ahora en envases de plástico duraderos que se pueden rellenar y reutilizar.

La capacidad para el procesamiento completo de los residuos plásticos en México es limitada y solo permite procesar una tercera parte de los residuos colectados. La mayor parte de los recicladores se dedican solo a recolectas y a prensar (empacar) residuos plásticos, que luego venden, en su mayor parte, a transformadores y, en menor proporción, a recicladores - procesadores.

La mayoría de las empresas transformadoras cuentan con alguna capacidad de molienda que les permite procesar residuos plásticos limpios. Existen transformadores, sobre todo de polietileno, que consumen residuos plásticos de hasta en un 10 por ciento de su consumo total de resina virgen.

En una encuesta realizada en 1998 encargada por el APC(Consejo de Plásticos de Estados Unidos), según la cual las actitudes del consumidor hacia los plásticos son mucho más favorable desde 1992, las personas interrogadas se sienten menos preocupadas por el daño que pueden causar los plásticos al medio ambiente: 78% en 1992 contra 62% en 1998. A pesar de estos resultados, los plásticos siguen siendo motivo de preocupación entre el público, en particular con respecto al medio ambiente. Sin embargo hay que resaltar que la industria de los plásticos está respondiendo a estas preocupaciones mediante un enfoque integrado hacia los desechos plásticos que abarca la prevención, así como el reciclado y la reutilización.

IX. CONCLUSIONES

En este mundo de exigencias en constante cambio para la industria del envase de alimentos y especialidades se debe considerar una inversión en tecnología que atienda o resuelva directamente a las necesidades del cliente y de la sociedad, ya que actualmente se deben diseñar empaques, considerando tener un buen manejo del producto en espacios y vida en anaqueles en los puntos de venta y en los hogares de los clientes; además de considerar este buen manejo en el destino final del empaque, ya sea para el reciclaje o la recuperación.

Definitivamente se tiene que seguir trabajando para desarrollar maneras de mejorar la calidad y reducir al mismo tiempo la cantidad de plástico necesaria para obtener el producto deseado. De esta manera se logrará utilizar más eficazmente los recursos al inicio de la vida del producto y reducir los desechos finales, lo cuál significa que habrá menos *materiales que desechar, reciclar o convertir en energía*. Además debido a la menor cantidad de material, peso o volumen del producto, se reduce la energía requerida para fabricarlo y transformarlo, cumpliendo los objetivos ambientales de:

- Reducción de costos: al facilitar las operaciones de carga y disminuir la mano de obra necesaria.
- Ahorro de combustible: *debido al mayor volumen de las cargas, a la reducción del empaque total requerido.*
- Prevención de daños
- Disminución de desechos: debido a la reducción del empaque total requerido.

Son interesantes todas estas innovaciones, *sin embargo es importante considerar que la capacidad de producción de resinas a nivel nacional es insuficiente; mientras que las importaciones crecen en un 93% en los últimos cinco años, la producción nacional creció en el mismo periodo solo un 44%, lo cuál pone en peligro el desarrollo de la industria nacional*

En el caso específico de las resinas de Polietileno, *la importación en 1999 fue un 42% superior a la producción nacional, lo que significa que se requeriría por lo menos duplicar la planta productiva de resinas de polietileno para lograr satisfacer la demanda nacional actual de generalidades y especialidades.*

Por lo anterior, México tiene el reto de encontrar socios comerciales que ayuden a satisfacer, el crecimiento de la demanda nacional así como el de la industria maquiladora de exportación para lograr una integración de la cadena productiva y así poder competir con los países pertenecientes a los diferentes tratados comerciales firmados en los que México participa y brindar la posibilidad de encontrar, bajo economías de escala, oportunidades de GANAR-GANAR.

X. BIBLIOGRAFIA

1. Enciclopedia del Plástico - Instituto Mexicano del Plásticos Industrial, S.C. (IMPI), 1999.
2. *El Reciclaje de Plásticos en México*. Realizado por Texene para ANIQ-CIPRES 1999.
3. *Anuario Estadístico de la Industria Mexicana*, ANIQ, 1999.
4. *Anuario Estadístico del Plástico*, Instituto Mexicano del Plástico Industrial, S.C., México 1999
5. *Aprovechamiento y Recuperación de los Materiales Plásticos*, Central Española de Plásticos, España, 1998
6. *Manual Práctico para la Industria del Polietileno*, Tecnología y procesos, PEMEX, 1995
7. *Memoria de Labores*, PEMEX, 1997-1999.
8. *Anuario Estadístico*, PEMEX, 1997-1999.
9. Beddus D. / Machado A., *Control del Procesos de Extrusión*, Killion, USA, 1995
10. *El Petróleo, 50 Aniversario*, PEMEX, 1988.
11. *Polymer Processing Principles and Modeling*, Carl Hanser Verlag, 2da. Edición 1998.
12. Aseeva / Zaikov, *Combustion of Polymer Materials*, Carl Hanser Verlag, Alemania, 1986
13. Beck Ronald D., *Plastic Product Design*, Van Nostrand Reinhold Co, 2da Edition, USA. 1980.
14. Biessenberger A. Joseph, *Devolatilization of Polymers Fundamentals-Equipment-Applications*, Carl Hanser Verlag, Alemania, 1983.
15. Tony Whelan and David Dunning,, *The Dynisco Extrusion Processors Handbook*, London, 1989.
16. *Polyethylene Film Markets, Substitution, Value-in-Use and Technologies 1992-1997* United Sates & Canada, Mastio & Company, 1998.
17. Brydson J.A., *Plastics Materials*, Butterworths, 5a, edition, Great Britain, 1989.
18. Charrier Jean Michel, *Polymeric Materials and Processing Plastics, Elastomers and Composites*, Carl Hanser Verlag, Alemania, 1991.
19. *Digest, Plastics Materials Digest International Plastics Selector Plastics*, Data Ips, 10a Edition, California, 1989.
20. Fiberloc / Goodrich, *World Plastics and Rubber Technology*, Cornhill Publications, LTD, Gran Bretaña, 1990.
21. Frados Joel, *The Story of the Plastics Industry*, The Society of the Plastics Industry, 3a Edition, USA, 1985.
22. *Fundamentals of Plastics*, Penton Education Division, USA, 1983.
23. Isayev, *Modeling of Polymer Processing Recent Developments*, , Carl Hanser Verlag, Alemania, 1991.

24. Legge, H. Thermoplastic Elastomers, Carla Carl Hanser Verlag, Alemania, 1987.
25. Step-by-step procedures for extending the shelf-life of fresh-cut produce / Jeffrey J. Wooster- Dow Chemical, 1997.
26. Fresh cut produce / Growing business for polyolefin resins in packaging / Gina Young – Dow Chemical, 1999
27. The preservation of perishables by modified atmosphere packaging. / Chaim Mannheim- Israel Institute of technology, 1990.
28. Coextruded PE blown film structures for fresh cut produce packaging / Technical bulletin- Dow Plastics, 1999.

REVISTAS

29. Modern Plastics International, Mc Graw-Hill, USA.
30. Packaging Digest, Cahners Publishing, USA.
31. Packaging World, SUMMIT, USA.
32. Plastics Technology, Bill Communication, USA.
33. Empaque Performance, Corso S.A. de C.V., México
34. Alimentos Procesados, Cahners Publishing, USA.
35. European Plastics News, EMAP, Maclaren, Gran Bretaña.