

300618

12  
29



# UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE QUIMICA  
Incorporada a la U. N. A. M.

**"ESTUDIO TECNICO ECONOMICO PARA LA  
COMPARACION DE PRODUCCION DE  
POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD  
CONVENCIONAL Y DE BAJA DENSIDAD LINEAL"**

**TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A:  
JUAN FELIPE GARCIA MORANT**

DIRECTOR DE TESIS  
ING. FERNANDO GARCIA MATA

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

México, D. F.

1993.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

# I N D I C E

|  | Página |
|--|--------|
| INTRODUCCION .....   | 1      |
| CAPITULO I GENERALIDADES .....   | 6      |
| 1.1 Definición de polímero .....   | 7      |
| 1.2 Definición y reacción básica de formación<br>del polietileno .....   | 7      |
| 1.3 Desarrollo histórico del polietileno .....   | 8      |
| 1.4 Caracterización y clasificación de los<br>polietilenos .....   | 12     |
| 1.5 Comparación de materiales .....  | 18     |
| 1.6 Aplicaciones de los polietilenos .....   | 23     |
| CAPITULO II ESTUDIO DE MERCADO DEL POLIETILENO DE<br>BAJA DENSIDAD LINEAL Y CONVENCIONAL .....   | 26     |
| 2.1 Mercado internacional .....  | 29     |
| 2.1.1 Mercado en los Estados Unidos .....  | 31     |
| 2.1.2 Mercado en Europa Occidental .....   | 35     |
| 2.1.3 Mercado en Japón .....   | 38     |
| 2.2 Mercado nacional .....   | 41     |
| 2.2.1 Proyección de la demanda .....   | 49     |
| CAPITULO III ANALISIS DE LOS PROCESOS DE FABRICACION<br>DE POLIETILENO ASI COMO DE LOS PRODUCTOS<br>QUE SE PUEDEN LLEGAR A PRODUCIR CON CADA<br>UNA DE LAS TECNOLOGIAS DISPONIBLES ..... | 52     |
| 3.1 Comparación y análisis de los procesos .....   | 53     |
| 3.2 Análisis de los productos y rango factible<br>de producción de cada uno de los procesos<br>de fabricación de PELBD .....   | 61     |
| CAPITULO IV DESCRIPCION Y BALANCE DE MATERIA DEL<br>PROCESO UNIPOL .....   | 63     |
| 4.1 Descripción del desarrollo y aceptación que<br>ha tenido el proceso UNIPOL a nivel mundial.  | 64     |
| 4.2 Descripción del proceso UNIPOL .....   | 66     |
| 4.3 Diagrama de flujo y balance de materia del<br>proceso .....  | 72     |
| 4.4 Análisis de posibles costos para la<br>instalación de una planta de polietileno<br>de baja densidad .....  | 83     |

|  | Página     |
|--|------------|
| 4.4.1 Costos unitarios de materias primas<br>y servicios auxiliares .....  | 83         |
| 4.4.2 Comparación de inversión y costos<br>estimados del polietileno .....   | 84         |
| <b>CAPITULO V DESCRIPCION Y COMPARACION, DESDE EL PUNTO<br/>DE VISTA DE PRODUCTO TERMINADO ENTRE EL<br/>POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD CONVENCIONAL<br/>Y LINEAL .....</b> | <b>89</b>  |
| 5.1 Comportamiento del mercado de polietileno<br>de baja densidad en los Estados Unidos .....  | 90         |
| 5.2 Aplicación de película .....   | 93         |
| 5.3 Aplicación de inyección .....  | 97         |
| <b>CONCLUSIONES .....</b>  | <b>99</b>  |
| <b>BIBLIOGRAFIA .....</b>  | <b>103</b> |

## INTRODUCCION

## I N T R O D U C C I O N

El objetivo de este trabajo es el de hacer un planteamiento técnico - práctico para la elaboración del polietileno de baja densidad.

Los objetivos específicos del presente trabajo serán:

- Estimar la demanda de polietileno en los próximos años, para de esta manera determinar la capacidad probable de una futura planta de polietileno.
- Escoger una tecnología que se pueda utilizar para la instalación de una planta de PELBD.
- Estimar la inversión total así como la utilidad neta para la planta de PELBD.
- Determinar las ventajas del polietileno lineal contra el PEBD convencional.

Comenzará por hacer un planteamiento histórico del desarrollo del polietileno de baja densidad en todos sus tipos convencional y lineal, así como caracterizaciones de

los diferentes tipos de polietilenos de acuerdo con las propiedades más importantes, es decir; densidad, índice de fluidez y distribución de pesos moleculares.

A continuación hago un estudio del mercado de polietileno de baja densidad, tanto convencional como lineal en México y hago un planteamiento de la situación de mercado que existe en Estados Unidos, Europa y Japón con el objetivo de analizar la situación actual del desarrollo de este producto en dichos mercados y con esto, poder predecir o anticipar cual será el futuro del polietileno en México. Finalmente, hago una proyección de la demanda de polietileno de baja densidad en México con el objeto de determinar cual podría ser la capacidad de la planta que sería factible instalar.

Después analizaré las tecnologías disponibles desde un punto de vista económico, de versatilidad y de seguridad al estar operando.

Al final, seleccionaré uno de dichos procesos, haré su balance de materia y calcularé un costo del producto terminado considerando todos los costos de producción de acuerdo a los costos de materia prima y servicios en México, para compararlo con los precios actuales del polietileno de baja densidad en México.

Por último haré una comparación de las propiedades del producto determinado utilizando un polietileno de baja densidad convencional y lineal.

El polietileno de baja densidad convencional se caracteriza por obtenerse en procesos a altas presiones, presentar una densidad de 0.915 a 0.930 g/cc y contener sustituyentes alquilos.

Una de las innovaciones que le han dado al producto una mejor funcionalidad y una mayor penetración en los mercados de consumo a nivel mundial, fué la introducción del polietileno lineal de baja densidad.

El polietileno lineal de baja densidad se obtiene en procesos a bajas presiones y presenta densidades desde 0.90 hasta 0.94 g/cc y generalmente contiene comonomeros (1-buteno, 1-hexeno y 1-octeno).

El éxito del polietileno lineal radica en que presenta muchas mejoras en las propiedades físicas en comparación con el polietileno de baja densidad convencional.

En lo que respecta a las aplicaciones, podemos mencionar que la más importante es la de película en donde, gracias al



polietileno lineal se pueden obtener películas o bolsas de menor calibre con mejores propiedades físicas que con el polietileno convencional aún en mezclas de ambos.

Actualmente, el único productor de polietileno de baja densidad en México es Pemex, el cual sólo se puede comentar que existen perspectivas por parte de empresas transnacionales para la instalación de una planta de polietileno de baja densidad lineal dado a que este producto se está importando actualmente. Hasta el momento, existen dos compañías que han recibido el permiso para la construcción de dicha planta, Union Carbide y Dow Chemical. El objetivo que se está buscando actualmente al construir una planta de polietileno lineal, es el de frenar las importaciones, poder abastecer un mercado que está en crecimiento así como el de exportar producto a los Estados Unidos y algunos países de Centro y Sudamérica.

## CAPITULO I

## CAPITULO 1 GENERALIDADES

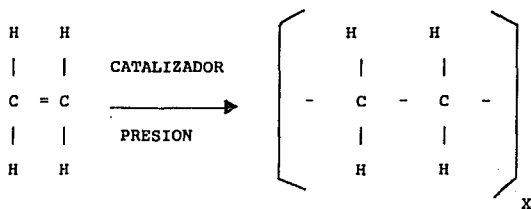
### 1.1 DEFINICION DE POLIMERO.

La polimerización involucra la combinación de unidades pequeñas simples denominadas monómeros (del griego, mono-uno y meros-parte; es decir una parte) a fin de formar grandes moléculas llamadas polímeros de (poly-muchas; es decir muchas partes). En el caso del polietileno, el monómero que se utiliza es el etileno.

### 1.2 DEFINICION Y REACCION BASICA DE FORMACION DEL POLIETILENO

El polietileno es un sólido parcialmente cristalino y de alguna manera flexible.

La reacción básica para la obtención del polietileno es como sigue:



### 1.3 DESARROLLO HISTORICO DEL POLIETILENO.

Pechman fué el primero quien en 1898, reportó la formación de un polímero a partir de diazometano en éter; él también observó que este polímero, definido tentativamente como polimetileno, se podía recristalizar a partir del cloroformo. En 1900, Bamberger y Tschirner, observaron que este polímero se podía precipitar a partir de una solución de isopropilbenceno por medio de la adición de éter de petróleo. El producto seco, exhibió un punto de fusión de 128°C y además, se encontró que consistía de unidades recurrentes de metilenos. Los investigadores, en ese momento, no dieron mucha importancia a esta nueva poliolefina. Los materiales termoplásticos se conocían ya desde mediados del siglo XIX y durante la segunda mitad del mismo siglo, se dispusieron de algunos métodos de fabricación de partes plásticas a partir del nitrato de celulosa.

Sin embargo, la estructura de tales polímeros termoplásticos no se reconoció sino hasta 1920 cuando Staudinger propuso por primera vez un concepto de polímero y subsecuentemente, se atribuyeron estos, a enlaces de valencia de una parte simple con otra, para formar dicho polímero.

En la misma época, Buckley, Cross y Ray reportaron sobre la fabricación de polímeros preparados a partir de varios compuestos diazo alifáticos en éter, obteniendo cadenas lineales y polímeros altamente cristalinos de alto peso

molecular los cuales fueron materiales duros y frágiles. De esta manera, el diazometano, dió lugar a polimetileno, el diazoetano a polietildienos y así sucesivamente. Posteriormente, se encontró que los materiales mencionados anteriormente tenían pesos moleculares que iban desde 200 hasta 14,000. Sin embargo dado a su alto costo, tales poliolefinas, no se les encontró ningún interés comercial.

Durante los años veintes, Carothers, empleó un mecanismo de reacción diferente para producir poliolefinas, para tal efecto, hizo reaccionar bromuro de decametileno con sodio, seguido por una destilación y una cristalización fraccional. De esta manera, él obtuvo cadenas de hidrocarburos de hasta 100 átomos de carbono. Estas poliolefinas, tenían un costo tan alto de fabricación que no fueron de interés comercial.

Durante la misma década, otro método de producción de poliolefinas ganó considerable interés, la reducción Fischer-Tropsch de monóxido de carbono con hidrógeno, la cual obtuvo, en sus inicios un producto de bajo peso molecular pero se mejoró de manera que se pudieran obtener parafinas cristalinas lineales. En este proceso, por medio del uso de condiciones de reacción controladas y el desarrollo de catalizadores eficientes, tales como compuestos de tungsteno, se produjeron polietileno de alto peso molecular que tenían un temperatura de fusión de 133°C.

La síntesis del polietileno a partir del cloruro de polivinilo se puede lograr haciéndolo raccionar en un exceso de hidruro de litio y aluminio a presión y temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$ , se obtuvo un polietileno que probó tener las mismas propiedades del polietileno comercial lineal que está disponible hoy en día.

La nueva técnica de producción de poliolefinas, polimerización viz de monómeros olefínicos, pudo ser posible después de que Michels de la Univesidad de Amsterdam desarrolló una bomba que fuera capaz de producir una presión de 3,000 atmósferas.

En 1933, los laboratorios ICI, descubrieron que el etileno en presencia de oxígeno, podía polimerizarse obteniendo una estructura parecida al polimetileno ramificado y este proceso se hace actualmente vía radicales libres a presiones tan altas como de 2,800 atm. Dupont, fabricó el primer polietileno lineal por medio de una reacción por radicales libres a una presión de 7,000 atm y temperatura de  $50^{\circ}\text{C}$  a  $80^{\circ}\text{C}$ , este producto tenía una densidad de  $0.955\text{ g/cm}^3$ .

En los principios de los años cincuentas, Ziegler descubrió accidentalmente que los polietilenos de una densidad relativamente alta,  $0.945 - 0.960\text{ g/cm}^3$  y una cristalinidad alta, se pueden preparar a presiones atmosféricas y una temperatura de  $50^{\circ}\text{C}$  a  $100^{\circ}\text{C}$  en presencia de un catalizador basado en haluros de Titanio y compuestos

de alquilaluminio (catalizadores Ziegler). En tales sistemas, los polímeros contenían ramificaciones de cadena corta, principalmente grupos etilo. Phillips Petroleum Co, desarrolló, un catalizador de trióxido de cromo soportado en sílica, para la preparación de polímeros con una densidad de 0.96 - 0.97 g/cm<sup>3</sup> a presiones moderadas.

Con estos sistemas catalizadores, se pueden preparar copolímeros de etileno y alfa-olefinas que contienen de 3 a 12 o más átomos de carbono. En 1962, Dupont de Canadá produjo un copolímero con una densidad de 0.925 g/cm<sup>3</sup>, el cual se preparó con un catalizador tipo Ziegler y un copolímero 1-Octeno.

En 1977, Union Carbide Co. anunció una amplia familia de copolímeros de 1-buteno con densidades de 0.915 - 0.950 g/cm<sup>3</sup>, fabricados en un proceso llamado Unipol el cual emplea una tecnología en fase gas de lecho fluidizado para la fabricación de homopolímeros y copolímeros de alta densidad y baja densidad. De igual manera, se pueden fabricar, polietilenos con distribuciones de pesos moleculares ancha y estrecha así como altos o bajos pesos moleculares. De manera reciente, se ha utilizado un copolímero de 1-hexeno para obtener propiedades comparativas con los copolímeros de 1-octeno que se fabrican en el proceso en solución de Dow Chemical Co.

#### 1.4 CARACTERIZACION Y CLASIFICACION DE LOS POLIETILENOS.

Existen varios tipos de polimerización para la fabricación de polietileno, los cuales tienen como resultado materiales con diferentes características de unos con respecto a otros. En este sentido, hablaremos a continuación sobre la manera en que se pueden clasificar cada uno de ellos de acuerdo a sus propiedades y de acuerdo con esto también a sus aplicaciones.

Las propiedades con las que se caracteriza un polietileno son:

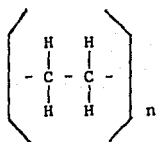
|                        |   |               |
|------------------------|---|---------------|
| Contenido de monómeros | } | Homopolímeros |
|                        |   | Copolímeros   |

De manera que se habla de polietileno homopolímero cuando para su fabricación, se utiliza un monómero único y el polietileno es copolímero cuando se utilizan dos o más monómeros. En el caso del polietileno homopolímero el monómero que se utiliza es el etileno y para los copolímeros se utiliza este mismo en un alto porcentaje y además algún tipo de otro monómero como buteno, hexeno u octeno.

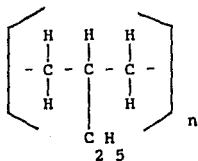
Las fórmulas químicas de estos materiales son como sigue:



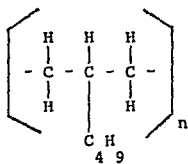
### HOMOPOLIMEROS DE ETILENO



### COPOLIMEROS DE ETILENO (Buteno)



### COPOLIMERO DE ETILENO (Hexeno)



Densidad

Alta densidad  
Media densidad  
Baja densidad  
Muy baja densidad

Según ASTM D-1248 los polietilenos se clasifican en este sentido como sigue:

| TIPO |                                      | DENSIDAD, g/cm <sup>3</sup> |
|------|--------------------------------------|-----------------------------|
| I    | Baja densidad y<br>Muy baja densidad | 0.910 - 0.925               |
| II   | Media densidad                       | 0.926 - 0.940               |
| III  | Alta densidad                        | 0.941 - 0.960               |
| IV   | Muy alta densidad                    | Mayor a 0.960               |

Otra variable que se utiliza para la caracterización de polietileno es el Peso Molecular el cual está íntimamente relacionado con una característica que se maneja en la industria del plástico, es decir, el índice de fluidez, del cual depende el proceso de transformación en el que se puede utilizar el polietileno del que se hable.

El peso molecular nos define el tamaño de la cadena que predomina en el material. Entre más alto sea este valor, el polímero funde más lentamente.

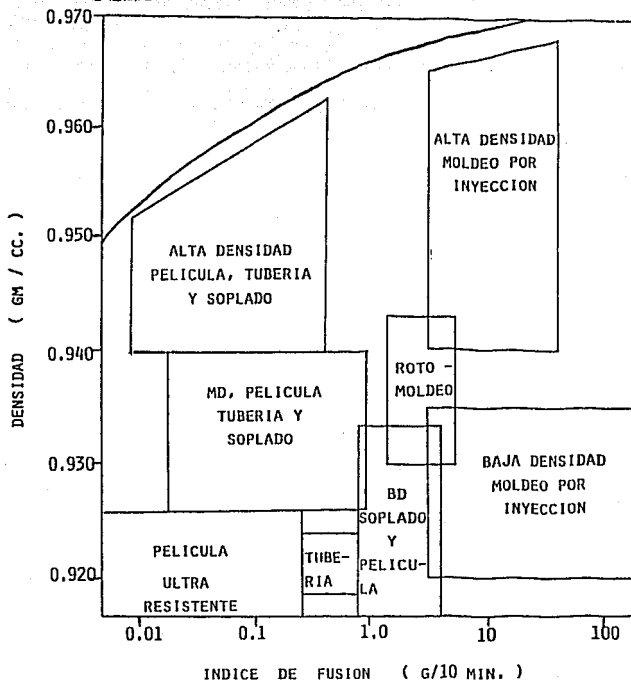
Los rangos de peso molecular para cada tipo de polietileno son :

|                           |           |   |           |
|---------------------------|-----------|---|-----------|
| Baja densidad             | 100,000   | - | 300,000   |
| Lineal de baja densidad   | 200,000   | - | 500,000   |
| Alta densidad             | 300,000   | - | 800,000   |
| Ultra alto peso molecular | 1'500,000 | - | 6'000,000 |

La manera comercial con la que se clasifica a los polietilenos, es por medio del índice de fluidez, el cual lo podemos definir como la facilidad con la que fluye un plástico al aplicarle una temperatura o una presión. Este valor está normalizado por ASTM D 1238.

En la gráfica 1.1 se puede observar el tipo de proceso que se utiliza para transformar cada uno de los tipos comerciales de polietileno. Esta gráfica esta hecha en base a la densidad y al índice de fluidez, dado a que son dos de los factores más importantes para la caracterización del polietileno.

GRAFICA 1.1



RANGO DE PRODUCTOS UNIPOL

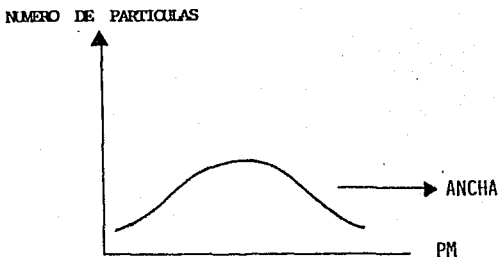
FUENTE: ENCYCLOPEDIA OF POLYMER SCIENCE AND ENGINEERING

Otro factor importante, es la distribución de pesos moleculares, la cual puede ser ancha o angosta.

Como se mencionó anteriormente, el valor que se reporta de peso molecular, representa el valor promedio de dicha característica del polímero, pero esto no significa que todas las cadenas del polímero tengan el mismo tamaño o número de átomos de carbono, sino que hay una determinada cantidad de material que tiene un peso molecular y otras que tienen otro de lo cual se desprende un nuevo concepto que es la distribución de pesos moleculares.

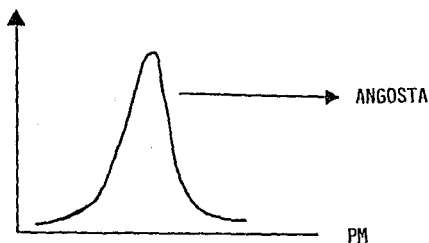
La distribución de pesos moleculares ancha es cuando las moléculas presentes en el polímero son de diferentes pesos moleculares, por lo que no hay un valor predominante y esto hace que su comportamiento en el moldeo sea variable y difícil de controlar.

GRAFICA 1.2



La distribución de pesos moleculares angosta aunque hay moléculas de diferente peso molecular existe un valor que predomina por lo que al graficar la curva se angosta y eleva. Cuando se presentan materiales de este tipo su comportamiento en el moldeo es más uniforme.

NUMERO DE PARTIQULAS  
GRAFICA 1.3



### 1.5 COMPARACION DE MATERIALES.

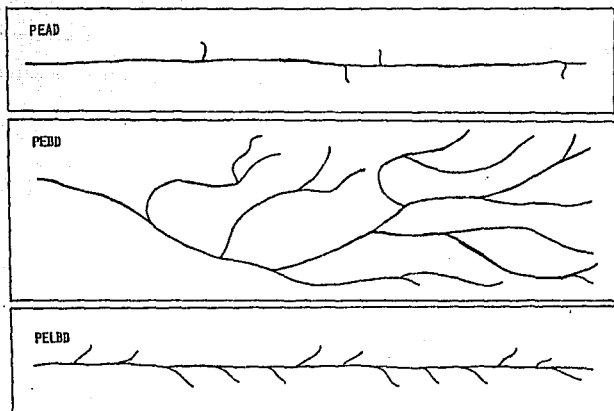
Aunque, las propiedades anteriores tienen efectos importantes sobre las propiedades del material, actualmente se ha descubierto que existe otra variable más que puede hacer cambiar estos conceptos y esta variable es el Grado de Ramificación del Polímero.

Todos los polímeros presentan un grado de ramificación que depende del tipo de polimerización por el que haya sido obtenido, esta cualidad también define el tipo de producto y modifica algunas propiedades.

A continuación se presentan las estructuras típicas que presentan cada uno de los tipos de polietilenos.

GRAFICA 1.4

ESTRUCTURA DE CADENA  
DE PEAD, PEBD Y PELBD

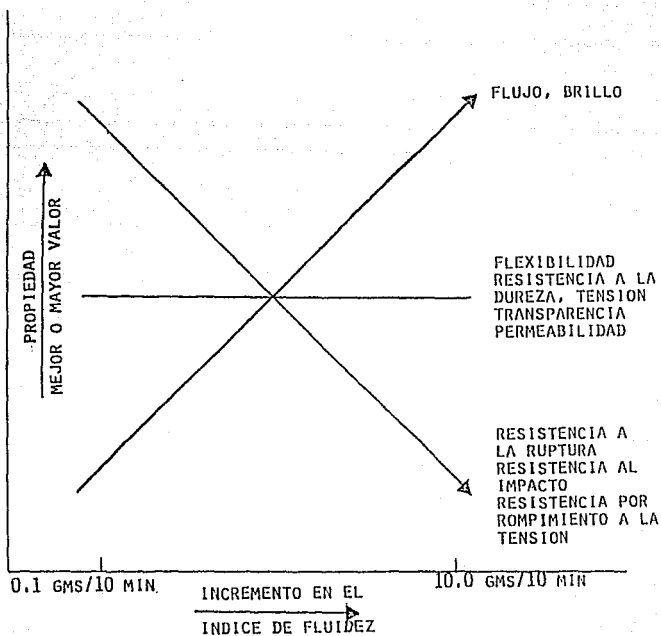


FUENTE: ENCYCLOPEDIA OF POLYMER SCIENCE & ENGINEERING VOL. 6

Las propiedades que se mencionaron anteriormente son un factor importante para poder detectar algunas diferencias en otras propiedades físicas y mecánicas como flujo, brillo, flexibilidad, resistencia a la tensión, dureza, transparencia, permeabilidad, resistencia, resistencia al impacto, resistencia al calor, etc.

GRAFICA 1.5

PROPIEDADES vs. INDICE DE FLUIDEZ

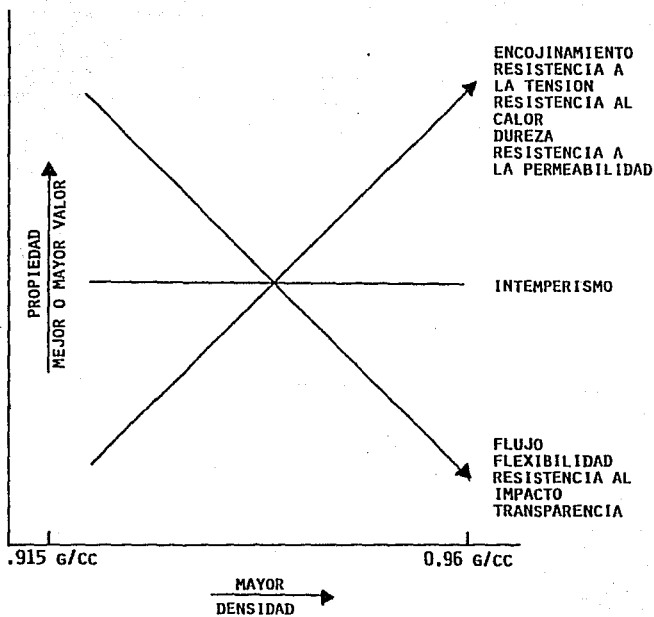


FUENTE: UNION CARBIDE



GRAFICA 1.6

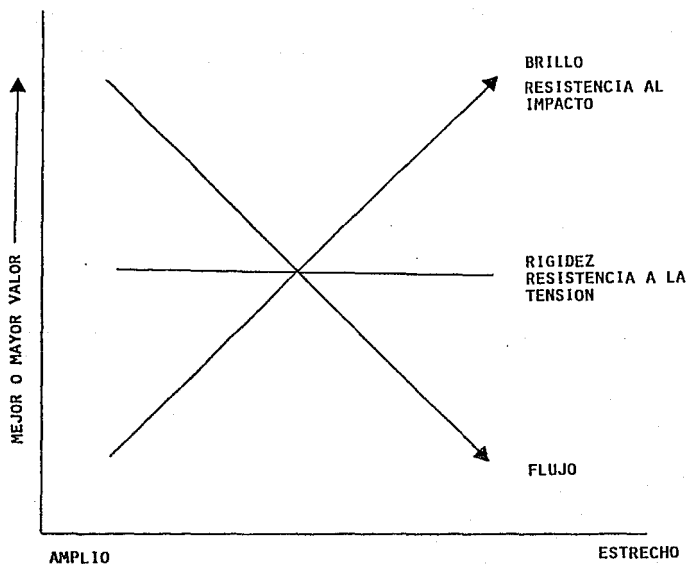
PROPIEDADES vs. DENSIDAD



FUENTE: UNION CARBIDE

GRAFICA 1.7

PROPIEDADES vs. DISTRIBUCION DE PESOS MOLECULARES



FUENTE: UNION CARBIDE

## 1.6 APLICACIONES DE LOS POLIETILENOS.

Las aplicaciones que podemos mencionar en las que se usa el polietileno son película, moldeo por inyección, soplado, cable y alambre, moldeo rotacional y extrusión.

### PELICULA

Este mercado representa uno de los de mayor participación en resinas de polietileno.

La industria de película representa tanto en México como en Estados Unidos el mayor segmento del mercado para el polietileno de baja densidad.

Las películas hechas con PEBD ofrecen altos valores de resistencia a la tensión, resistencia a la punzión y mayor elongación. Los mercados en los cuales ha logrado una rápida aceptación han sido bolsas de supermercado, basura, hielo y casi todas aquellas aplicaciones de empaque.

### MOLDEO POR INYECCION.

El moldeo por inyección ocupa otro de los segmentos de mercado del PEBD convencional por su excelente rigidez y altos valores de resistencia al rompimiento por fatiga, su excelente procesabilidad y durabilidad a altas y bajas temperaturas. Sus aplicaciones van desde botes de basura, contenedores industriales, etc.

## SOPLADO

Una de las características importantes en esta aplicación son la calidad y uniformidad. Dentro de estas se incluye la fabricación de tambores de 200 lts., tanques grandes, garrafas, botellas para blanqueadores y botellas pequeñas y grandes para jugos o leche.

## MOLDEO ROTACIONAL

Para partes moldeadas muy grandes, el moldeo rotacional es frecuentemente la única técnica práctica. Los moldeadores rotacionales han seleccionado a las resinas de polietileno lineal de baja densidad dado a su alta resistencia al impacto y a su óptima resistencia al rompimiento por fatiga, permitiéndole una alternativa más económica a la de otros materiales. Además estas resinas pueden reducir, en un rotomoldeador, el ciclo de producción por más de un 25% y aún así mantener su rigidez. Las aplicaciones de rotomoldeo van desde tanques para productos agroquímicos de 9000 gal. de capacidad hasta pequeños juguetes.

### EXTRUSION DE TUBERIA.

Las resinas de polietileno que se usan para esta aplicación son realmente plásticos de ingeniería los cuales estan diseñados para tener una vida útil de hasta 50 años. Estos productos, están sujetos frecuentemente a condiciones bastante severas de temperatura y esfuerzo. La resina debe tener excelentes características de resistencia, altos valores de resistencia al rompimiento por fatiga, rigidez a bajas temperaturas y en general una muy buena estabilidad térmica. Las anteriores son algunas razones por las que el polietileno tiene cada vez más aceptación en el mercado.

### CABLE Y ALAMBRE.

Esta es otra de las aplicaciones en las que el polietileno que se utiliza podría considerarse como un plástico de ingeniería. En este caso el polietileno lineal de baja densidad posee propiedades eléctricas excelentes acompañado con una mejor resistencia a la abrasión. De igual manera, el polietileno posee una baja pérdida dieléctrica lo que lo apoya mucho en esta aplicación. Estos polietilenos se utilizan en el aislamiento de cables de potencia y telefónicos así como en las cubiertas finales de esta aplicación.

## CAPITULO II

## CAPITULO 2. ESTUDIO DE MERCADO DEL POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD LINEAL Y CONVENCIONAL.

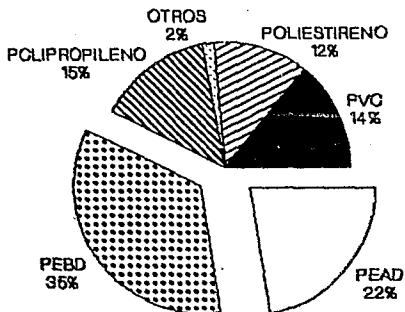
El polietileno es, en general, un plástico de una alta demanda tanto en el mercado nacional como en el mercado internacional. Dado a lo anterior este polímero se considera como un material commodity, es decir un material de altas ventas en volumen pero de un valor relativamente bajo. Aunque el polietileno en general se considera como un material commodity, existen algunos tipos para algunas aplicaciones muy específicas en las que se podría decir que es un material de especialidad dado a que requiere de una alta tecnología, tanto para su fabricación como para su procesamiento.

Para dar una mejor idea de lo que es el mercado de plásticos, podemos mencionar que el comportamiento en el consumo de plásticos por habitante en los países altamente industrializados ha mostrado un importante crecimiento. En Europa Occidental, si consideramos que se incluyen algunos países con bajos índices de natalidad, el consumo per capita de plásticos se incrementó en un 48% en el período 1981-1987 Alemania, por ejemplo, tiene un consumo actual de 112 Kg por habitante / año. En segundo lugar está Estados Unidos con un incremento en su consumo en un 37.2% con un consumo actual de 93 Kg por habitante / año. México en este sentido ocupa el lugar número 30 con un consumo por habitante / año de 12.7 Kg. Dado a lo anterior podemos deducir el extraordinario

potencial de crecimiento en el mercado de plásticos en nuestro país en el futuro próximo. Como se puede observar en la gráfica 2.1, el mercado de polietileno en México representa el 57% del mercado total de resinas termoplásticas y en el cual el polietileno de baja densidad representa el 35%.

GRAFICA 2.1

## DISTRIBUCION DE CONSUMOS RESINAS TERMOPLASTICAS 1992



MERCADO TOTAL 1195.3 TONS.

FUENTE: ANUARIO ANIQ 1993



A continuación daremos una descripción del mercado total de polietileno de baja densidad tanto lineal como convencional así como la distribución de consumo de estos materiales de acuerdo a su aplicación, tanto en el mercado nacional como en el internacional y de igual manera mencionaremos cuales son los principales clientes consumidores de estos productos en el mercado nacional.

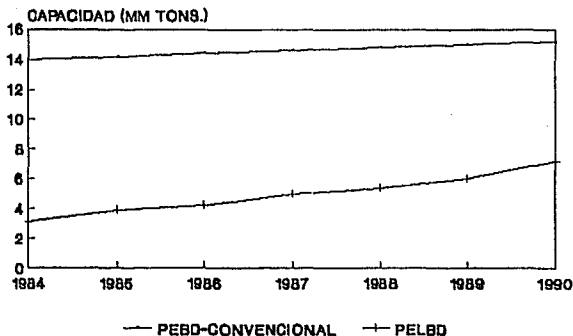
## 2.1 MERCADO INTERNACIONAL.

La introducción del polietileno lineal de baja densidad, con su singular combinación de economías de proceso y propiedades únicas, ha tenido un impacto importante en el desarrollo del mercado de polietileno en el mundo. El polietileno lineal de baja densidad, no sólo reemplazó al polietileno de baja densidad de alta presión y al polietileno de alta densidad en muchos mercados, sino también encontró aplicaciones nuevas para el polietileno. Por ejemplo, en el mercado de bolsa de supermercado, el polietileno tiene una participación de más del 50% en donde antiguamente el papel era el material dominante.

En la gráfica 2.2 se puede observar cual ha sido el comportamiento de la capacidad instalada del polietileno de baja densidad lineal y de alta presión en el período 1984-1990.

GRAFICA 2.2

## CAPACIDAD MUNDIAL POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD



FUENTE : UNION CARBIDE

Algo importante a resaltar de la gráfica 2.2, es el hecho de que la capacidad de polietileno de baja densidad de alta presión ha tenido un crecimiento muy bajo durante los últimos seis años, mientras que el polietileno lineal de baja densidad ha tenido un crecimiento importante de 3 millones de toneladas / año en 1984 a 7 millones de toneladas en 1990.

### 2.1.1 MERCADO EN LOS ESTADOS UNIDOS.

El mercado de polietileno en los Estados Unidos ha representado un porcentaje importante en el mercado total de ventas de plástico cuyo volumen total en 1991 fué de 27.7 millones de toneladas y en 1992 de 29.7 millones. En este sector en 1991, el polietileno tuvo una participación del 34% y en 1992 del 35%. En lo que respecta al polietileno de baja densidad únicamente, la participación fué, en 1991 y 1992 del 19%, con respecto al mercado total de ventas de plásticos.

En los Estados Unidos, el polietileno lineal de baja densidad ha tenido una importante participación en lo que respecta al mercado total de polietileno de baja densidad. En 1991 el PELBD tuvo una participación del 42% mientras que en 1992 de un 44% dejando al polietileno de baja densidad de alta presión una participación de 58% y 56% en 1991 y 1992 respectivamente. El mercado doméstico de estas resinas en los Estados Unidos durante los años 1991 y 1992 fué como sigue :

| RESINA        | AÑO  |      | % CRECIMIENTO |
|---------------|------|------|---------------|
|               | 1991 | 1992 |               |
| PEBD-AP       | 2774 | 2926 | 5.5           |
| PELBD         | 2024 | 2250 | 11.1          |
| MERCADO TOTAL | 4798 | 5176 | 7.9           |

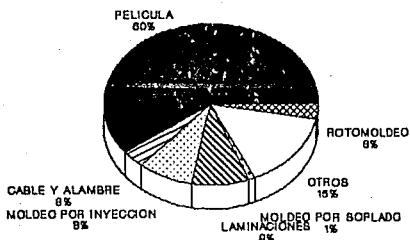
MODERN PLASTICS ENERO 1993 \* DATOS EN MILES DE TONELADAS

Como se puede observar, es un mercado que tuvo un importante crecimiento en este periodo de tiempo y además se puede ver que dentro de estas dos resinas, el polietileno lineal de baja densidad es el que está creciendo de manera más importante. Cabe mencionar que en los Estados Unidos y en el mundo ya no se está planeando la construcción de ninguna planta de polietileno de baja densidad de alta presión sino que las que están en planeación son plantas de polietileno lineal de baja presión.

En los Estados Unidos la distribución de los consumos de estas resinas según su aplicación en el año de 1992 se muestra en la gráfica 2.3.

GRAFICA 2.3

### DISTRIBUCION DE CONSUMOS PEBD 1992 APLICACION / ESTADOS UNIDOS



CONSUMO TOTAL 5.18 MM TONS

FUENTE: MODERN PLASTICS ENERO 1993

Como se puede observar el mercado más importante de polietileno de baja densidad es el de película, en este se incluyen las bolsas de supermercado, película de invernadero y agrícola, película para paletizado, etc.

Las capacidades de las empresas productoras de polietileno en los Estados Unidos se muestran en la tabla 2.4

Como se puede observar el mercado más importante de polietileno de baja densidad es el de película, en este se incluyen las bolsas de supermercado, película de invernadero y agrícola, película para paletizado, etc.

Las capacidades de las empresas productoras de polietileno en los Estados Unidos se muestran en la tabla 2.4

TABLA 2.4

| PRODUCTOR        | CAPACIDAD EN 1000 TONELADAS |             |             |             |
|------------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                  | OPERANDO AL 1-ENE-1993      |             |             |             |
|                  | TOTAL                       | PEBD        | PEAD        | PELBD/PEAD  |
| QUANTUM          | 1803                        | 739         | 753         | 311         |
| DOW<br>CHEMICAL  | 1433                        | 499         | 304         | 630         |
| UNION<br>CARBIDE | 1361                        | 227         |             | 1134        |
| EXXON            | 1102                        | 284         | 150         | 669         |
| CHEVRON          | 1043                        | 417         | 513         | 113         |
| MOBIL            | 771                         | 227         |             | 544         |
| SOLVAY           | 694                         |             | 671         | 23          |
| OXICHEM          | 680                         |             | 680         |             |
| PHILLIPS         | 680                         |             | 680         |             |
| PAXON            | 546                         | 546         |             |             |
| DUPONT           | 367                         | 367         |             |             |
| WESTLAKE         | 340                         | 340         |             |             |
| EASTMAN          | 296                         | 296         |             |             |
| REXENE           | 186                         | 186         |             |             |
| FINA             | 182                         |             | 182         |             |
| LYONDELL         | 57                          | 57          |             |             |
| <u>TOTAL</u>     | <u>11676</u>                | <u>3638</u> | <u>4477</u> | <u>3561</u> |

FUENTE: MODERN PLASTICS INTERNATIONAL ENERO 1993

### 2.1.2 MERCADO EN EUROPA OCCIDENTAL.

En Europa el desarrollo del mercado de polietileno de baja densidad lineal ha sido más lento que en los Estados Unidos y esto ha sido primordialmente debido a la carencia durante algunos años de empresas que puedan abastecer esos mercados localmente y que han tenido que recurrir a las importaciones provenientes de Canadá y Estados Unidos.

El consumo total de resinas de polietileno durante los años 1989 y 1990 se muestran en la tabla 2.5.

TABLA 2.5

| MATERIAL          | AÑO  |      | % CRECIMIENTO |
|-------------------|------|------|---------------|
|                   | 1989 | 1990 |               |
| PEBD Y PELBD      | 5056 | 5425 | 7.3           |
| PEAD              | 2679 | 2937 | 9.6           |
| TOTAL POLIETILENO | 7735 | 8362 | 8.1           |

FUENTE: MODERN PLASTICS INTERNATIONAL ENERO 1991

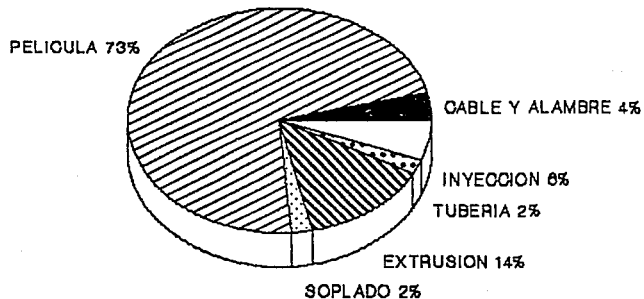
Los datos anteriores son considerando la comunidad económica europea más Austria, Finlandia, Noruega, Suecia y Suiza.

En la gráfica 2.6 se muestra la distribución de consumos de acuerdo a su aplicación en Europa Occidental en el año de 1990.



# DISTRIBUCION DE CONSUMOS PEBD 1990 APLICACION / EUROPA OCCIDENTAL

GRAFICA 2.6



CONSUMO TOTAL 5.24 MM TONS

Como se puede observar en la gráfica 2.6, al igual que en los Estados Unidos, la principal aplicación del polietileno de baja densidad es la de película con aproximadamente un 75% de participación.

La capacidad instalada en la comunidad económica europea para 1988 era de 4,870 toneladas de polietileno de baja densidad, de las cuales, 320 toneladas correspondieron a producción de polietileno lineal de baja densidad y el resto, 4,550 toneladas a polietileno de baja densidad convencional de alta presión.

Los principales productores de polietileno en 1988 en Europa se muestran en la tabla 2.7.

TABLA 2.7

| PRODUCTOR         | CAPACIDAD<br>(MIL. TONS) |
|-------------------|--------------------------|
| ENICHEM           | 710                      |
| EXXON             | 510                      |
| DSM               | 410                      |
| RHEINISCHE OLEFIN | 400                      |
| ATOCHM            | 355                      |
| BP CHEMICALS      | 330                      |

FUENTE : ESTUDIO SOBRE RESINAS TERMOPLASTICAS INFOTEC

### 2.1.3 MERCADO EN JAPON.

La situación del mercado en Japón, en lo que respecta al desarrollo del polietileno de baja densidad lineal, es muy semejante a la del mercado europeo y esto es debido a que la mayor parte de la tecnología con la que cuentan actualmente es la de alta presión, es decir polietileno de baja densidad convencional.

En Japón existen aproximadamente 500,000 toneladas de capacidad ociosa. Para fines de 1988 o principios de 1989 se esperaba que al menos 7 empresas con una capacidad de 120,300 toneladas hubieran reabierto sus plantas, de las cuales el 68% estaba destinado a polietileno de baja densidad lineal. Lo anterior es resultado de un programa japonés para elevar la producción de polietileno.

El consumo doméstico de resinas de polietileno en Japón en los últimos dos años se muestra en la tabla 2.8

TABLA 2.8

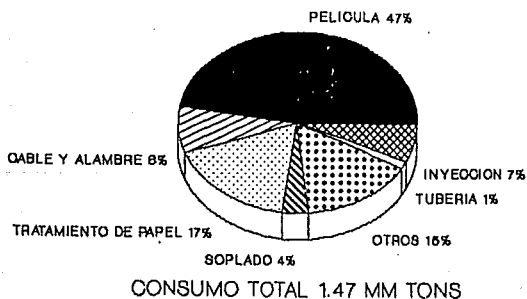
| MATERIAL          | AÑO  |      | % CRECIMIENTO |
|-------------------|------|------|---------------|
|                   | 1989 | 1990 |               |
| PEBD Y PELBD      | 1313 | 1472 | 12.1          |
| PEAD              | 905  | 948  | 4.8           |
| TOTAL POLIETILENO | 2218 | 2420 | 9.1           |

FUENTE : MODERN PLASTICS INTERNATIONAL ENERO 1991

En la gráfica 2.9 se muestra la distribución del consumo de polietileno de baja densidad de acuerdo a su aplicación en Japón en 1990.

GRAFICA 2.9

## DISTRIBUCION DE CONSUMOS PEBD 1990 APLICACION / JAPON



FUENTE: MODERN PLASTICS INTERNATIONAL ENERO 1991

La capacidad instalada de producción de polietileno de baja densidad en Japón en 1985 fué de 1,422 toneladas de las cuáles solo 311 toneladas son de polietileno de baja densidad lineal y el resto 1,111 toneladas fueron de polietileno de baja densidad convencional.

En la tabla 2.10 aparecen las empresas con mayor capacidad instalada y que representaron el 70% de la capacidad total en Japón en 1985.

TABLA 2.10

| PRODUCTOR     | CAPACIDAD<br>(MIL. TONS) |
|---------------|--------------------------|
| MITSUBISHI    | 265                      |
| NIPPON-UNICAR | 213                      |
| SUMITOMO      | 190                      |
| DUPONT-MITSUI | 112                      |
| TOYO-SODA     | 104                      |
| UBE IND       | 101                      |

FUENTE: ESTUDIO DE RESINAS TERMOPLASTICAS INFOTEC

## 2.2 MERCADO NACIONAL.

El polietileno es una poliolefina dentro del grupo de las resinas termoplásticas que ha sido considerada como la resina de mayor importancia en el mercado nacional.

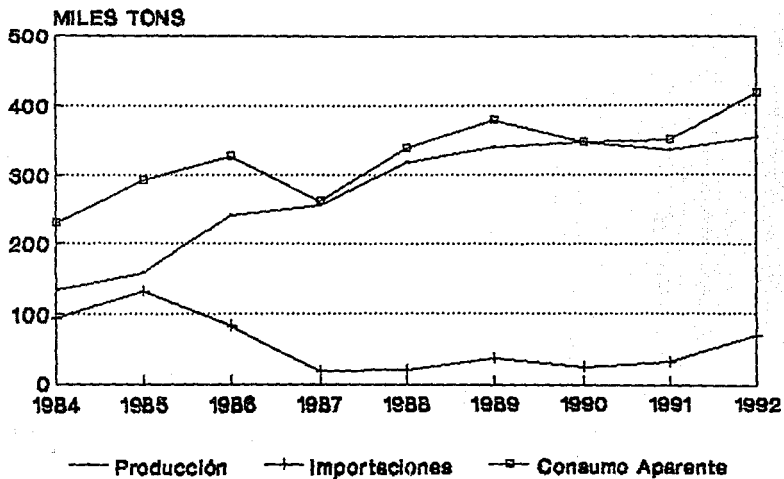
El consumo aparente del total de resinas sintéticas en México en 1992 fué de 1'496,069 toneladas y la producción nacional de estas resinas fué de 1'561,261 toneladas lo que implica que el superávit de estas resinas en el mercado nacional fué de 65,192 toneladas lo cual representa un 4.4% del consumo total aparente nacional.

En lo que respecta a las resinas de polietileno, el consumo total aparente en 1992 fué de 685,347 toneladas, lo que representa un 46% del total de consumo de resinas sintéticas. El consumo de resina de polietileno de baja densidad, incluyendo convencional y lineal, fué de 416,479 toneladas en el mismo año.

El comportamiento de los consumos de resinas de polietileno de baja densidad en los últimos años se muestra en la gráficas 2.11 y 2.12.

# CONSUMO DE RESINAS POLIETILENO BAJA DENSIDAD

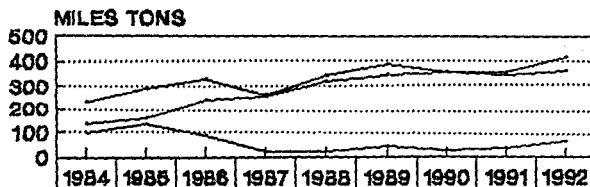
GRAFICA 2.11



FUENTE: ANUARIO ANIG 1993

# CONSUMO DE RESINAS POLIETILENO BAJA DENSIDAD

GRAFICA 2.12



|                  | 1984  | 1985  | 1986  | 1987  | 1988  | 1989  | 1990  | 1991  | 1992  |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Producción       | 135.5 | 159.9 | 242.1 | 258.8 | 317.1 | 340.1 | 347.8 | 337.2 | 354.8 |
| Importaciones    | 95.1  | 132.4 | 84.2  | 20.5  | 21.3  | 39.3  | 26.4  | 33.5  | 68.8  |
| Exportaciones    | 0     | 0     | 0     | 15.2  | 0.1   | 0.5   | 27.1  | 18.8  | 7.2   |
| Consumo Aparente | 230.7 | 292.4 | 326.4 | 262.1 | 338.4 | 379.4 | 347.2 | 352   | 416.5 |
| Incremento C/A % | -15.2 | 26.8  | 11.6  | -19.7 | 29.1  | 12.1  | -8.5  | 1.9   | 18.3  |
| Capacidad Inst.  | 179   | 259   | 309   | 309   | 309   | 309   | 309   | 309   | 309   |

— Producción                      — Importaciones  
— Consumo Aparente

FUENTE: ANUARIO ANIO 1993



Cabe mencionar que los datos que se reportan de importaciones incluyen tanto el polietileno de baja densidad convencional como el polietileno lineal ya que aunque existen dos fracciones arancelarias, una para cada tipo de resina, las compañías importadoras de estas no han clasificado bien sus compras. En 1990 las importaciones registradas en SECOFI de polietileno de baja densidad lineal fueron de 3,827 toneladas y de baja densidad convencional fué de 20,978 toneladas lo cual no puede corresponder a la realidad del mercado y se puede deducir que hay importaciones de polietileno lineal incluidas en los números de polietileno de baja densidad convencional.

En la actualidad PEMEX es el único productor de resinas de polietileno de baja densidad con una capacidad instalada de 309,000 toneladas. La ubicación de la producción de polietileno de baja densidad de PEMEX aparece en la tabla 2.13.

TABLA 2.13

| PLANTA     | CAPACIDAD<br>(TONS / AÑO) | AÑO DE INICIO |
|------------|---------------------------|---------------|
| REYNOSA    | 18,000                    | 1966          |
| POZA RICA  | 51,000                    | 1971          |
| CANGREJERA | 240,000                   | 1984-1986     |
| TOTAL      | 309,000                   |               |

FUENTE : MEMORIA DE LABORES DE PEMEX 1991

En la actualidad PEMEX no produce polietileno lineal de baja densidad por lo que esta resina se ha tenido que estar importando en su totalidad.

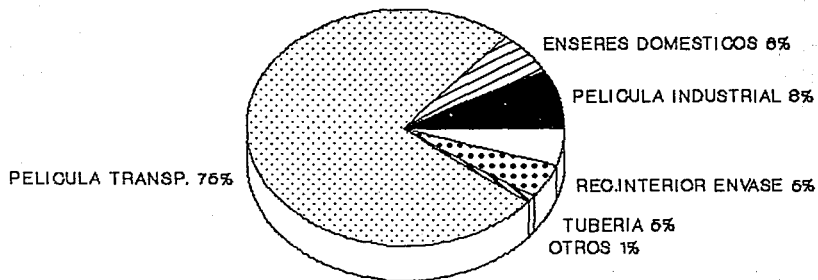
En Agosto de 1989 la lista de productos petroquímicos básicos fué modificada, siendo el polietileno uno de los productos que dejaron de ser considerados como productos petroquímicos básicos. Fué que a partir de esa fecha el polietileno se clasificó como petroquímico secundario, y con esto, la industria privada tendría la posibilidad de intervenir en la fabricación de este material previa autorización de la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal y previa opinión de la Comisión Petroquímica Mexicana.

Actualmente existen dos permisos para la construcción de plantas de polietileno pero por falta de etileno para la fabricación de esta resina es que estas dos compañías no han podido comenzar la construcción de las plantas.

La estructura del consumo del polietileno de baja densidad convencional y lineal se muestra en la gráfica 2.14.

# DISTRIBUCION DE CONSUMOS PEBD / PELBD MEXICO 1992

GRAFICA 2.14



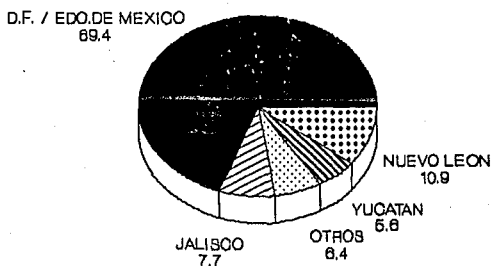
CONSUMO TOTAL 0.42 MM TONS

FUENTE: ANUARIO ANIO 1993

La distribución geográfica de los consumos de polietileno de baja densidad y lineal en México se muestran en la grafica 2.15.

GRAFICA 2.15

### DISTRIBUCION GEOGRAFICA EN MEXICO DE LA DEMANDA ACTUAL DE ALTA DENSIDAD



FUENTE : IMPI

En la tabla 2.16 muestra los principales importadores de resina de polietileno de baja densidad durante 1989.

TABLA 2.16

| EMPRESA             | VOLUMEN<br>(TONS) |
|---------------------|-------------------|
| TETRAMEX            | 1750              |
| RAFYTEK             | 615               |
| DART                | 610               |
| POLIENVASES DE MEX. | 430               |
| GRAFO REGIA         | 320               |
| CELLOPRINT          | 300               |
| NOVACEL             | 185               |
| FOLMEX              | 150               |

FUENTE: SECOFI, ESTADISTICAS DE IMPORTACION

En la tabla 2.17 aparecen los principales importadores de resina de polietileno de baja densidad lineal durante 1989.

TABLA 2.17

| EMPRESA   | VOLUMEN<br>(TONS) |
|-----------|-------------------|
| DART      | 480               |
| PONAMESA  | 478               |
| PLASTHERM | 200               |

FUENTE: SECOFI, ESTADISTICAS DE IMPORTACION

En la actualidad las importaciones provienen en su gran mayoría de los Estados Unidos y otra pequeña parte de Argentina.

### 2.2.1 PROYECCION DE LA DEMANDA.

La proyección de la demanda a que haremos mención será la del polietileno de baja densidad incluyendo el polietileno lineal de baja densidad. El crecimiento promedio de estos polietilenos durante los últimos ocho años ha sido del 5.2% por lo que para el estimado haremos la suposición de que el crecimiento en la demanda de esta resina continuará de la siguiente manera, por lo que tendríamos para los próximos años la proyección de consumos de la tabla 2.18

TABLA 2.18

| AÑO  | CONSUMO APARENTE | CAPACIDAD PEMEX | DEFICIT  |
|------|------------------|-----------------|----------|
| 1985 | 292,417          | 259,000         | - 33,417 |
| 1986 | 326,417          | 309,000         | - 17,417 |
| 1987 | 262,104          | 309,000         | 46,896   |
| 1988 | 338,403          | 309,000         | - 29,403 |
| 1989 | 379,435          | 309,000         | - 70,435 |
| 1990 | 347,201          | 309,000         | - 38,201 |
| 1991 | 352,000          | 309,000         | - 43,000 |
| 1992 | 416,500          | 309,000         | -107,500 |

FUENTE: ANUARIO ANIQ 1993

- Calculo de la tasa de crecimiento.

$$TC = ((CA\ 1992 / CA\ 1985)^{(1/7)} - 1) * 100$$

$$TC = 5.2\%$$

TABLA 2.19

| AÑO  | CONSUMO APARENTE | CAPACIDAD PEMEX | DEFICIT  |
|------|------------------|-----------------|----------|
| 1993 | 438,158          | 309,000         | -107,500 |
| 1994 | 460,942          | 309,000         | -129,158 |
| 1995 | 484,911          | 309,000         | -151,942 |
| 1996 | 510,127          | 309,000         | -175,911 |
| 1997 | 536,653          | 309,000         | -201,127 |

FUENTE: VALORES ESTIMADOS

Algo importante a resaltar en este punto es el hecho de que PEMEX no tiene ningún proyecto para la instalación de alguna planta de polietileno, ni polietileno de baja ni de alta densidad y el último proyecto que tuvo en este sentido fué el de la planta de Morelos, arrancando el año de 1990 el último tren de producción de 50,000 toneladas de polietileno de alta densidad.

Otro punto que es digno de mencionarse es el hecho de que las cantidades que harán falta de acuerdo al pronóstico

serán mayores, debido a que las plantas de PEMEX no han trabajado, ni trabajarán al 100% de capacidad, por lo que si suponemos que trabajen al 90% que sería un porcentaje bastante alto, el déficit crecería en 30,000 toneladas más al año.

Dado a los números que se obtuvieron, se puede concluir que habrá una carencia de polietileno en los próximos años por lo que sería factible la construcción de una planta de polietileno con una capacidad de 240,000 toneladas por año para la fabricación de varios grados de polietileno tanto de baja como de alta densidad si fuera necesario.



### **CAPITULO III**

### CAPITULO 3 ANALISIS DE LOS PROCESOS DE FABRICACION DE POLIETILENO ASI COMO DE LOS PRODUCTOS QUE SE PUEDEN LLEGAR A PRODUCIR CON CADA UNA DE LAS TECNOLOGIAS DISPONIBLES.

En el capítulo anterior, se analizó la situación del mercado del polietileno de baja densidad y en el presente capítulo, se analizará las tecnologías existentes para la fabricación de dicho polietileno, incluyendo por supuesto la fabricación del polietileno lineal. Dicho análisis lo haremos desde un punto de vista técnico-económico.

#### 3.1 COMPARACION Y ANALISIS DE LOS PROCESOS.

El polietileno de baja densidad hecho a una presión media o baja es un copolímero aleatorio y lineal de etileno según los procesos de Dow, Du Pont, Union Carbide y Stamicarbon y en el proceso de Mitsui Toatsu, se supone que es un copolímero en bloques lineal. Por conveniencia los copolímeros que se fabrican mediante los procesos mencionados anteriormente, se les llaman polietilenos de baja densidad lineal (PELBD) en contraste con los que se fabrican mediante los procesos de alta presión a los que se les conoce como polietileno de baja densidad convencional o de alta presión y se les designa simplemente como PEBD.

En la tabla 3.1 se muestra una comparación económica de los procesos mencionados de fabricación de polietileno.

En la tabla 3.2 se compara la producción de copolímeros de alfa-olefinas / etileno con una densidad de  $0.915 \text{ g/cm}^3$ . Los productos de cada proceso pueden no ser, sin embargo, equivalentes debido a que las calidades varían con los catalizadores y condiciones de proceso usadas así como de la naturaleza de los comonomeros de alfa-olefinas. Los costos de producción en función del precio del comonomero se muestran en la tabla 3.1 para uno de los procesos. De esta manera el costo de producción no es el único factor a considerar en la comparación de los procesos. Las características de proceso en las que se basa esta evaluación se encuentran en la tabla 3.2.

En la descripción inicial de Stamicarbon del proceso Compact para PEBD/PEAD, la capacidad de producir un rango completo de densidades se cita como una ventaja.

El proceso Stamicarbon se reporta como capaz de producir algunos tipos de PEBD por medio del uso del mismo sistema de catalizadores y equipo de fabricación del PEAD. Aunque la producción de los tipos de media densidad es ya comercial, la producción de los grados de baja densidad no es aún comercial, de manera que los costos económicos que se presentan para el PEBD mediante este proceso, se puede considerar que son de alguna manera especulativos.

TABLA 3.1

## POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD

## COMPARACION ECONOMICA DE LOS DIFERENTES PROCESOS

| TECNOLOGIA                            | ALTA PRESION      |       | FASE GAS         |               | solucion, |            | Fase Liquida |         | Fase Liquida, |         |         |         |
|---------------------------------------|-------------------|-------|------------------|---------------|-----------|------------|--------------|---------|---------------|---------|---------|---------|
|                                       | Autoclave Tubular | USI   | LECHO FLUIDIZADO | Union Carbide | BAJA      | BAJA       | BAJA         | BAJA    | MEDIA         | MEDIA   | Lechada | Lechada |
|                                       |                   |       |                  |               | Presion   | Presion    | Presion      | Presion | Presion       | Presion | 25 %    | 35 %    |
|                                       |                   |       |                  |               | DCW       | Stamcarbon | Dupont       |         |               |         | Mitsui  | Toatsu  |
| COSTOS DE CAPITAL ( MILL USD)         |                   |       |                  |               |           |            |              |         |               |         |         |         |
| Catalizador/Prep. Alm.                | ---               | ---   | 1.3              | 1.3           | 1.8       | ---        | 3.6          | ---     | ---           | ---     | ---     | ---     |
| Polimerizacion                        | 34.9              | 30.3  | 11.2             | 11.3          | 3.6       | 5.4        | 4.4          | 9.3     | 8.6           | 9.3     | 8.6     |         |
| Recuperacion del solvente             | ---               | ---   | ---              | ---           | 4.2       | 1.1        | 3.7          | 6.0     | 4.0           | 6.0     | 4.0     |         |
| Terminado                             | 11.1              | 11.1  | 16               | 7.7           | 13.1      | 13.3       | 12.9         | 15.8    | 16            | 15.8    | 16      |         |
| INVERSION EN EL LIMITE DE BATERIAS    |                   |       |                  |               |           |            |              |         |               |         |         |         |
| Servicios Auxiliares y Almacenas      | 8.1               | 6.4   | 7                | 6.8           | 6.7       | 12.1       | 8.1          | 0.5     | 8.1           | 0.5     | 8.1     |         |
| Equipo de servicios generales         | 10.4              | 9.6   | 7                | 5.4           | 5.9       | 8.4        | 6.5          | 7.9     | 7.3           | 7.9     | 7.3     |         |
| Tratamiento de desperdicios           | 0.9               | 0.9   | 0.9              | 0.9           | 0.9       | 0.9        | 0.9          | 0.9     | 0.9           | 0.9     | 0.9     |         |
| TOTAL CAPITAL FIJO                    | 63.4              | 59.3  | 43.4             | 33.4          | 36.2      | 39.2       | 40.1         | 46.4    | 44.9          | 46.4    | 44.9    |         |
| COSTOS DE PRODUCCION ( USC/LB )       |                   |       |                  |               |           |            |              |         |               |         |         |         |
| Trabajo de Operacion                  | 0.34              | 0.37  | 0.4              | 0.4           | 0.45      | 0.45       | 0.45         | 0.4     | 0.4           | 0.4     | 0.4     |         |
| Laboratorio                           | 0.1               | 0.1   | 0.12             | 0.12          | 0.13      | 0.14       | 0.13         | 0.12    | 0.12          | 0.12    | 0.12    |         |
| Materiales y trabajo de mantenimiento | 0.84              | 0.76  | 0.82             | 0.86          | 0.42      | 0.42       | 0.45         | 0.56    | 0.52          | 0.56    | 0.52    |         |
| Materias Primas                       |                   |       |                  |               |           |            |              |         |               |         |         |         |
| Monomero                              | 25.82             | 25.81 | 26.16            | 26.16         | 27.85     | 26.56      | 26.04        | 25.86   | 25.86         | 25.86   | 25.86   |         |
| Catalizador, Quimicos                 | 0.3               | 0.3   | 0.44             | 0.44          | 1.64      | 1.87       | 0.85         | 1.47    | 1.47          | 1.47    | 1.47    |         |
| Antioxidantes, aditivos               | 0.18              | 0.18  | 0.18             | 0.18          | 0.18      | 0.18       | 0.18         | 0.18    | 0.18          | 0.18    | 0.18    |         |
| Total Materias Primas                 | 26.3              | 26.29 | 26.78            | 26.78         | 29.67     | 28.61      | 27.07        | 27.51   | 27.51         | 27.51   | 27.51   |         |
| SERVICIOS AUXILIARES                  |                   |       |                  |               |           |            |              |         |               |         |         |         |
| Agua de enfriamiento                  | 0.07              | 0.07  | 0.01             | ---           | 0.09      | 0.14       | 0.08         | 0.07    | 0.06          | 0.07    | 0.06    |         |
| Vapor                                 | -0.59             | -0.21 | ---              | ---           | 0.15      | 0.41       | 0.22         | 0.35    | 0.19          | 0.35    | 0.19    |         |
| Agua de proceso                       | 0.01              | ---   | ---              | ---           | ---       | ---        | ---          | ---     | ---           | ---     | ---     |         |
| Electricidad                          | 1.34              | 1.29  | 0.62             | 0.33          | 0.26      | 1.07       | 0.3          | 0.65    | 0.6           | 0.65    | 0.6     |         |
| Gas natural e Inerte                  | ---               | ---   | 0.1              | 0.1           | 0.25      | 0.22       | 0.1          | 0.02    | 0.02          | 0.02    | 0.02    |         |
| Total Servicios Auxiliares            | 0.83              | 1.15  | 0.73             | 0.43          | 0.75      | 1.84       | 0.7          | 1.09    | 0.87          | 1.09    | 0.87    |         |
| COSTO DIRECTO DE OPERACION TOTAL      |                   |       |                  |               |           |            |              |         |               |         |         |         |
|                                       | 28.41             | 28.64 | 28.55            | 28.09         | 31.42     | 31.46      | 28.8         | 29.68   | 29.42         | 29.68   | 29.42   |         |
| Espaldos, impuestos, seguro           |                   |       |                  |               |           |            |              |         |               |         |         |         |
|                                       | 1.24              | 1.16  | 0.98             | 0.83          | 0.93      | 0.97       | 0.97         | 1.05    | 1             | 1.05    | 1       |         |
| Depreciacion                          |                   |       |                  |               |           |            |              |         |               |         |         |         |
|                                       | 2.88              | 2.65  | 1.97             | 1.52          | 1.65      | 1.78       | 1.82         | 2.2     | 2.04          | 2.2     | 2.04    |         |
| COSTOS DE PLANTA                      |                   |       |                  |               |           |            |              |         |               |         |         |         |
|                                       | 32.53             | 32.45 | 31.5             | 30.44         | 34        | 34.21      | 31.59        | 32.93   | 32.46         | 32.93   | 32.46   |         |
| ADMINISTRACION, VENTAS, INVESTIGACION |                   |       |                  |               |           |            |              |         |               |         |         |         |
|                                       | 6.75              | 6.75  | 6.75             | 6.75          | 6.75      | 6.75       | 6.75         | 6.75    | 6.75          | 6.75    | 6.75    |         |
| COSTO TOTAL DE PRODUCCION             |                   |       |                  |               |           |            |              |         |               |         |         |         |
|                                       | 39.28             | 39.2  | 38.25            | 37.19         | 40.75     | 40.96      | 38.34        | 39.68   | 39.21         | 39.68   | 39.21   |         |
| 25 % RETORNO DE LA INVERSION          |                   |       |                  |               |           |            |              |         |               |         |         |         |
|                                       | 7.22              | 6.62  | 4.93             | 3.8           | 4.11      | 4.45       | 4.56         | 5.5     | 5.11          | 5.5     | 5.11    |         |
| VALOR DEL PRODUCTO                    |                   |       |                  |               |           |            |              |         |               |         |         |         |
|                                       | 46.5              | 45.82 | 43.18            | 40.99         | 44.86     | 45.44      | 42.9         | 45.18   | 44.32         | 45.18   | 44.32   |         |

Tabla 3.2

## POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD

## COMPARACION DE LOS PROCESOS

Capacidad de la Planta: 100,000 tons/año  
con un factor de eficiencia de 0.9

|   | ALTA PRESION  |  | FASE GAS.   | SOLUCION. FASE LIQUIDA   |   |  | FASE LIQUIDA  |
|---|---|--|---|--|---|--|---|
|   | AUTOCLAVE   | TUBULAR  | LECHO FLUIDIZADO  | BAJA PRESION   | BAJA PRESION  | MEDIA PRESION  | LECHADA   |
| Tecnología  | USI (National Distillers)   | EXXON / Dart   | Union Cabide  | Dow Chemical   | Stamcarbon  | Du Pont  | Mitsui Toatsu   |
| Descripcion del reactor                               | Autoclave.<br>3 compartimentos.<br>agitado L/D:14.5.<br>o.i 20" x 24".  | tubo encaquetado<br>d.i 1.5 a 2" x 1740"<br>de longitud. | Sección de reacción<br>dia. 9' x 50' altura<br>Sección de separación<br>dia. 15" x 20' altura | Autoclave agitado<br>con condensador de<br>reflujo, 18000 gal.           | tanque agitado<br>dia 6' x 14' 6"<br>de altura.                           | Autoclave encaquetada<br>agitada de 2000 gal<br>continuada por un<br>pequeño reactor de<br>ajuste agitado. | Autoclave encaquetada<br>y agitada de 13500 gal.                  |
| Sistema iniciador/catalizador                         | Peroxidos iniciadores<br>de baja, media y alta<br>temperatura agregados<br>de manera sucesiva en<br>puntos flujo abajo del<br>reactor.                              | Sistema similar al<br>de autoclave.                      | Fluor que contiene<br>compuestos de titanio<br>y Cromo sostenidos en<br>partículas de Sílice  | TiCl3 1/3 AlCl3<br>disuelto en solvente<br>Isopar E; TiN2;<br>Al(n-ClO)3 | Catalizador en forma<br>de solución de com-<br>puestos de Ti, Mg<br>y Al. | TiCl4 + VCl3<br>disuelto en ciclo-<br>hexano; isoprenil-Al   | TiCl4, MgCl2,<br>dimetilpolisiloxano<br>disuelto en nC7 Al(ET)3   |
| Presion del reactor (psig)                            | 40000   | 40000  | 300   | 380 / 275  | 425   | 1500   | 355   |
| Temperatura del reactor (°F)                          | 330 a 530   | 300 a 600  | 185 - 210   | 320  | >265  | 392  | 185   |
| Rendimiento tiempo-volumen (lb/hr. pie <sup>3</sup> ) | 535   | 845  | 5.3   | 14 / 1   | 70  | 97 / 27  | 2.6   |
| Tiempo de residencia (seg)                            | 35  | 40   | 10800   | 1800   | 300   | 156  | 7200  |
| Produccion de polímero (lb/hr. reactor)               | 28185   | 28185  | 14078   | 26340 en el primario<br>1735 en el secundario                            | 28185   | 26000 en el primario<br>2185 en el ajustador   | 4694  |
| Volumen del reactor (pie <sup>3</sup> )               | 52.5  | 33   | 2660  | 3740   | 400   | 347  | 1805  |
| Conversion de etileno / paso (%)                      | 20  | 30   | 2.8   | 94   | 95  | 95   | 88  |
| Numero de reactores                                   | 1   | 1  | 2   | 2 en serie   | 1   | 2 en serie   | 6   |
| Productividad del catalizador                         |   |  |   |  |   |  |   |
| lb polímero/lb catalizador                            | N.A   | N.A  | 9000  | 415  | 80 a 500  | 3100   | 33600   |
| lb polímero/lb Cr o Ti                                | N.A   | N.A  | 2.25 x 10 <sup>6</sup> / lb Cr.<br>2 x 10 <sup>3</sup> / lb Ti.                               | 200000   | 100000 a 600000   |  |   |
| Comonero utilizado                                    | N.A   | N.A  | 1-Buteno  | 1-Octeno   | 1-buteno  | 1-buteno   | 1-buteno  |
| Solvente o liquido diluyente                          | Ninguno   | Ninguno  | Ninguno   | Isopar E   | n-Hexano  | Ciclohexano  | isobutano   |
| Metodo de recuperacion del polímero                   | Disminucion de la<br>presion del reactor en<br>dos pasos para liberar<br>el etileno no conver-<br>tido y el polímero fun-<br>dido se lleva al area<br>de terminado. | Sistema similar al<br>de autoclave                       | Por medio de des-<br>carga intermitente<br>y tanques de purga.                                | Vaporizacion flash;<br>el polímero fundido<br>al area de terminado       | Vaporizacion flash<br>polímero fundido al<br>area de terminado.           | Vaporizacion flash<br>seguido por una purga<br>de vapor; el polímero<br>fundido al area de<br>terminado.   | Vaporización flash; polvo<br>de polímero al area de<br>terminado. |

FUENTE: SRI

La tabla 3.1 muestra que de los tres procesos de polimerización en solución, el proceso Stamicarbon da los costos de producción más altos y esto es debido principalmente a los altos costos del sistema de refrigeración requerido para enfriar el flujo de alimentación al reactor para el control de la temperatura de polimerización. La inversión estimada para este sistema es de solo \$ 4'000,000 de dólares y los costos asociados al agua de enfriamiento y electricidad equivalen a 0.008 USD/lb de polietileno.

El proceso en solución de baja presión que se basa en la interpretación de las patentes de Dow tienen relativamente bajos costos de inversión y operación pero un alto costo neto del monómero. Esto resulta de nuestra suposición de que el 1-Octeno (precio de 45 c/lb) se requiere como comonómero con el etileno para este proceso, comparado con el 1-Buteno (a 30 c/lb) para todos los otros procesos evaluados. La ventaja de un comonómero octeno es que las impurezas en la alimentación del octeno no reactivo tienen puntos de ebullición cercanos a los del solvente y se pueden extraer en niveles relativamente altos en sistemas de reciclado. No sería factible usar 1-Buteno en este proceso sin un incremento significativo en la inversión para la recuperación del monómero y la purificación del reciclado.

El proceso en solución de media presión de Du Pont (1,500 psi) tiene un alto nivel de recuperación de calor y debido a

esto tiene bajos requerimientos de servicios auxiliares. Este proceso muestra ser competitivo con el proceso en fase gas de Union Carbide. El proceso de Union Carbide, sin embargo da los costos de producción más bajos de todos cuando la producción es granular.

Las ventajas en costo de producción de este producto granular se contrarrestan parcialmente por la resistencia a las ventas, asociada con la introducción de una presentación de producto marcadamente diferente en un mercado establecido. Los usuarios de este producto necesitarán modificar sus instalaciones para el manejo de resina y sus costos de producción se verán incrementados.

La evaluación de la tecnología en fase gas de Union Carbide está basada en una unidad de dos flujos. Esta configuración se seleccionó para dar flexibilidad de producción y no debido a limitaciones de diseño a esta capacidad de flujo. Se cree que, mediante este proceso, una línea de reacción sencilla hará factible cumplir con las capacidades de más de 220 millones lb. Se estima que la inversión fija para una unidad de alimentación sencilla sería de 40.8 millones de dólares para producto peletizado y 30.8 millones para producto granular. Los costos de producción serían 38.1 c/lb y 32 c/lb para productos peletizado y granular respectivamente y los valores del producto serían de 42.7 c/lb y 40.5 c/lb.

La primera evaluación de la polimerización por lechada es el proceso de Mitsui Toatsu que se basa en una concentración de sólidos del 25% en la salida del reactor. Mitsui Toatsu estableció que una concentración de sólidos del 35% es normal con lo que se estima que habría una reducción en el valor del producto por casi 1 c/lb.

Los aspectos económicos para la producción de polietileno de baja densidad convencional mediante los procesos de alta presión se dan en la tabla 3.1. Estos procesos muestran ser competitivos con los otros, en base a los costos de producción pero no en una base del valor del producto. Sin embargo, debido a que las calidades del producto de los dos tipos de procesos son muy diferentes, los procesos no deben compararse solamente en base a los costos.

Los costos de inversión que se muestran en la tabla 3.1 son la representación de los sitios ideales de la planta en la Costa del Golfo de Estados Unidos y se les ha preparado para todos los procesos en una base directamente comparable de producción y densidad del producto. Las inversiones necesarias para plantas reales empleando estos procesos variará con la localización de la planta y la factibilidad del rango de productos deseada.

En la tabla 3.3 se presentan datos sobre la inversión, utilidad neta y rentabilidad para la fabricación de PEBD tanto lineal como de alta presión, de acuerdo con el tipo de comonomero que se puede utilizar.



TABLA 3.3

CAPACIDAD 200,000 TONS  
75% DE CAPACIDAD

|             | INV. TOTAL | UTILIDAD NETA | UTILIDAD NETA/<br>INV. TOTAL |
|-------------|------------|---------------|------------------------------|
| PELBD       | MMUSD      | MMUSD         |                              |
| BASE BUTENO | 61.14      | 15.42         | 0.2522                       |
| BASE HEXENO | 61.14      | 21.49         | 0.3516                       |
| BASE OCTENO | 65.80      | 21.50         | 0.3270                       |
| * PEBD AP   | 152.70     | 9.42          | 0.0620                       |

\* A 100 % DE CAPACIDA

FUENTE : SRI E INV. PERSONAL

Por lo que se puede observar en la tabla 3.3 el tipo de comonomero que daría la mejor rentabilidad para la fabricación de PEBD ya sea lineal o de alta presión sería el hexeno, esto es gracias a que la inversión total estimada no es tan alta como lo es para la fabricación del PELBD octeno.

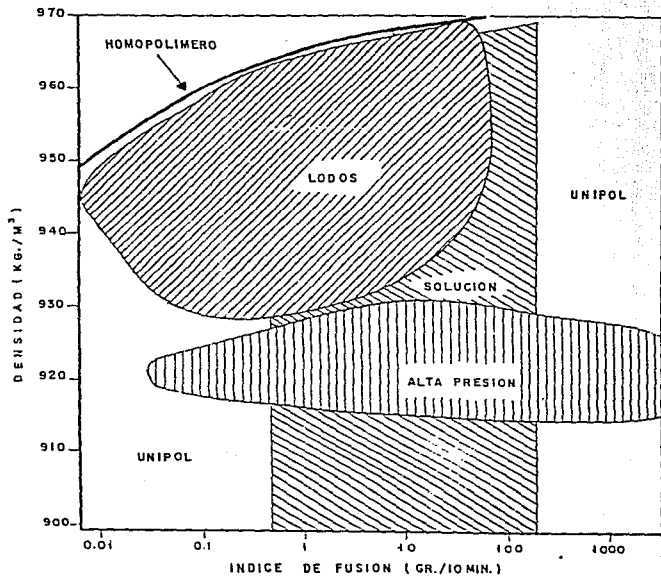
Actualmente, los precios de los PEBDs son muy bajos lo que daría como resultado una pérdida de 4 MMUSD/año si se operara una planta de PEBD AP a un 75 % de capacidad y en el caso de que se operara al 100 %, situación que es muy difícil y más

aún al arranque de una planta, la utilidad anual sería de apenas 9 MMUSD.

### 3.2 ANALISIS DE LOS PRODUCTOS Y RANGO FACTIBLE DE PRODUCCION DE CADA UNO DE LOS PROCESOS DE FABRICACION DE PELBD.

En la grafica 3.4 aparece el rango de indices de fluidez y densidades que es factible producir con cada uno de los procesos que mencionamos anteriormente.

Como se puede observar en la gráfica 3.3 el proceso más versátil es el de fase gas, ya que éste abarca todo el rango de densidades y de índices de fluidez. Los demás pueden ser capaces de producir resinas de polietileno solo en un determinado rango de densidades y de índices de fluidez.



POTENCIAL DE LOS PROCESOS DE P.E

#### CAPITULO IV

## CAPITULO 4 DESCRIPCION Y BALANCE DE MATERIA DEL PROCESO UNIPOL.

Dado a que según se observó en el capítulo anterior, el proceso que ofrece una mejor rentabilidad desde el punto de inversión y costos de fabricación y venta es el proceso UNIPOL en fase gas y si a esto le aunamos el echo de que dicho proceso es el más versátil para fabricación de resinas de polietileno; hemos decidido seleccionarlo para desarrollarlo y hacer el balance de materia.

### 4.1 DESCRIPCION DEL DESARROLLO Y ACEPTACION QUE HA TENIDO EL PROCESO UNIPOL A NIVEL MUNDIAL.

El 14 de Noviembre de 1977 Union Carbide anunció un nuevo proceso para la fabricación de polietileno de baja densidad que requiere únicamente la mitad del capital y una cuarta parte de la energía que utiliza el proceso de alta presión que en aquel entonces era el más popular para la fabricación del polietileno.

Union Carbide planeó, entonces para 1982, tener instalada una planta con una capacidad de fabricación de polietileno cercana a 450,000 toneladas. La fase inicial del programa de expansión, programado para terminarse en 1980, consistió en la construcción de una planta con una capacidad de 130,000 tons. en Seadrift, Texas. Esta construcción junto con una

nueva planta de 225,000 tons. en Taft, Louisiana y una expansión adicional de 68,000 tons / año en Seadrift, llevarían una capacidad de planta de 430,000 tons / año para 1982.

El nuevo proceso fué desarrollado en plantas piloto y semicomerciales durante varios años.

Debido al desarrollo de esta nueva tecnología, todos los proyectos que se tenían en aquel entonces para la instalación de plantas utilizando el proceso de alta presión, ya sea en autoclave o tubular, fueron primeramente postergados y después cancelados. Hoy en día en el mundo no existen proyectos para fabricación de polietileno de baja densidad con el proceso de alta presión y los que existen son principalmente con el proceso de baja presión en fase gas, Unipol.

Muchas otras compañías que fabrican y venden polietileno en el mundo, han decidido utilizar este proceso para la fabricación de PEBD y pagar regalías a Union Carbide para poder utilizar el proceso. Se han instalado cerca de 80 reactores Unipol, como se les suele denominar, en todo el mundo incluyendo países como la ex-Unión Soviética, Japón, Francia, Argentina, Canadá, Arabia Saudita, Kuwait, etc.

#### 4.2 DESCRIPCION DEL PROCESO UNIPOL

El diseño del proceso en fase gas de fabricación de polietileno que aquí describiremos está basado en las patentes de Union Carbide 372363 y 438006.

El catalizador que se describe en una de las patentes es en base a un óxido de cromo ( $\text{CrO}_3$ ) que se forma mediante el depósito de un compuesto de cromo, titanio y fluor en un soporte seco de sílice y posteriormente activado en aire a una temperatura de  $750^\circ\text{C}$  a  $850^\circ\text{C}$ . El catalizador activado es un material en polvo y seco. El contenido de cada uno de los componentes de cromo, titanio y fluor en el catalizador depende, por supuesto, de las concentraciones que se agreguen al prepararse el catalizador, de los compuestos que contienen estos elementos. Las concentraciones de cada uno de dichos elementos se hacen variar de acuerdo al producto que se vaya a fabricar. La productividad del catalizador es por lo general mayor a 9000 lb polímero/lb de catalizador y en función del contenido de Cr y Ti es de  $2.25\text{E}6$  lb de polímero/lb Cr y  $2\text{E}5$  lb polímero/ lb Ti.

En el diagrama de flujo que se utiliza durante el presente trabajo, se consideran dos reactores idénticos para que entre ambos se obtenga una capacidad de producción de 100,000 tons/año contribuyendo cada uno de ellos con el 50 % de la producción. El reactor tiene dos secciones, una de reacción y otra de separación, la primera tiene unas dimensiones de 9

pies de diámetro y 50 pies de alto, y la segunda de separación sus dimensiones son 15 pies de diámetro y 20 pies de alto. El rendimiento tiempo volumen que se tomó en cuenta para el diseño del reactor es de 5.3 lb/hr-pie<sup>3</sup> y una temperatura en el lecho de reacción de 185 a 200 °F la cual depende del producto que se planeé producir y una presión de 300 psig.

La reacción que se lleva a cabo es altamente exotérmica por lo que es muy importante tener un muy buen control de la temperatura de reacción el cual se logra mediante la alta recirculación de los gases que pasan a través de la cama de reacción y del área de separación. Para tal efecto, el diseño de la línea de recirculación se hace considerando una relación de 50 veces con respecto al flujo total de entrada de los gases reaccionantes, a saber etileno y comonomero o comonomeros. Lo anterior nos lleva a una velocidad de 737,000 lb/hr de la línea de recirculación por cada uno de los reactores, lo cual nos lleva a una velocidad del flujo másico en el area de reacción de 3.22 lb/seg-pie<sup>2</sup>.

La velocidad del gas que corresponde a una velocidad de flujo másico de 3.22 en el reactor resulta en 2.46 pie/seg. La fracción de reactor vacío se considera del 0.72 y un tiempo de residencia del polímero en el reactor de 3 horas.

La sección de separación del reactor tiene unas dimensiones de 15 pies de diámetro y la velocidad del gas en esa sección se ve reducida a un promedio de 0.89 pie/seg.



Después de pasar por la sección de separación del reactor la mezcla de gases se hace pasar por un enfriador de aire para eliminar el calor de reacción y después este flujo se mezcla con el que proviene del primer tanque de descarga de polímero y finalmente al flujo resultante se le aumenta la presión en 15 psig, la cual se considera que es la caída de presión que sufre la mezcla de gases al pasar por la cama del reactor, líneas y el enfriador de aire. Con este aumento se logra nuevamente que la línea de recirculación alcance una presión 300-305 psig que es la presión a la que se efectúa la reacción.

A continuación se resumen las bases que se consideran de diseño del reactor Unipol.

|   |          |
|---|----------|
| Presión (psig)  | 300      |
| Temperatura (°F)  | 200      |
| Conversión de etileno (% paso)                                | 98.4     |
| Comonómero utilizado  | 1-buteno |
| Comonómero en el polímero (% peso)                            | 9.5      |
| Conversión del comonómero (% paso)                            | 93.8     |
| Relación mol de H / C H en la alimentación                    | 0.011    |
| $\frac{2}{2} \frac{2}{4}$                                     |          |
| Rendimiento volumen-tiempo (lb/hr-pie <sup>3</sup> )          | 5.3      |
| Producción de polímero/reactor                                | 14,078   |
| Volumen de reacción (pie <sup>3</sup> )                       | 2,660    |
| Tiempo de residencia (hr)                                     | 3        |
| Velocidad del flujo másico del gas (lb/seg-pie <sup>2</sup> ) | 3.22     |
| Velocidad del gas (pie/seg)                                   | 2.46     |

Productividad del catalizador (lbpolímero/lbcatalizador) 9000

Dimensiones del reactor

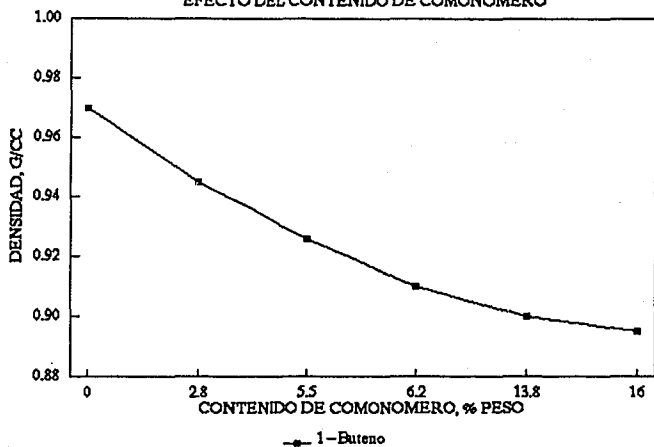
Sección de reacción 9 pie dia X 50 pie altura

Sección de separación 15 pie dia X 20 pie altura

Los comonomeros que se pueden utilizar en el proceso en fase gas Unipol de Union Carbide pueden ser, como se describe en la patente 438006, alfa-olefinas de propileno a hexeno. La densidad del polímero a un determinado índice de fluidez se regula mediante la cantidad de comonomero que se agregue a la mezcla en reacción. Si no se agrega ningún otro monómero (comonomero) a la mezcla reaccionante, el resultado es un polietileno homopolímero. La adición de cantidades mayores de comonomero al polímero resulta en una disminución de la densidad con un comportamiento más o menos lineal como se muestra en la gráfica 4.1.

GRAFICA 4.1

## POLIETILENO LINEAL DE BAJA DENSIDAD EFECTO DEL CONTENIDO DE COMONÓMERO



Para la fabricación de un polímero con una determinada densidad e índice de fluidez y condiciones de operación semejante, el número de moles de comonomero que se necesitan varían en el siguiente orden  $C3 > C4 > C5 > C6$ . La cantidad de comonomero, en % mol que se necesita en el copolímero comparada con la concentración en el flujo de gas de alimentación para varios comonomeros es como sigue:

| Comonómero | %Mol en el Copolímero | %Peso equiv. en copolímero | %Mol en el flujo de gas |
|------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------|
| Propileno  | 3.0 - 15              | (4.4 - 21)                 | 6 - 30                  |
| 1-Buteno   | 2.5 - 12              | (4.9 - 21)                 | 6 - 25                  |
| 1-Penteno  | 2.0 - 9               | (4.8 - 20)                 | 4 - 18                  |
| 1-Hexeno   | 1.0 - 7.5             | (2.9 - 20)                 | 3 - 15                  |

En el caso que aquí se desarrolla se utiliza el 1-buteno como comonómero con una concentración en el copolímero del 5 % mol o su equivalente de 9.5 % peso.

El índice de fluidez de un polímero es una función de su peso molecular, en el que un índice de fluidez relativamente bajo representa un peso molecular alto y viceversa, a un mayor índice de fluidez, el peso molecular es menor. En el proceso Unipol, el índice de fluidez de los polímeros, está en función de la temperatura de la reacción de polimerización, la densidad del polímero y el contenido de Titanio en el catalizador. El índice de fluidez se incrementa, al incrementar la temperatura de polimerización y/o al disminuir la densidad del polímero ( por medio de incrementar la relación comonómero/etileno en el reactor) y/o al incrementar el contenido de titanio en el catalizador.

Los copolímeros que se fabrican mediante el proceso Unipol contienen residuos de catalizador, en términos de ppm de Cr, de menos de 10 ppm y lo que se prefiere es que este valor tienda lo más posible a ser de 3 ppm. El residuo de

catalizador es, en esencia, una función de la productividad de dicho catalizador.

El polímero que se obtiene es en forma granular y es sacado del reactor con un contenido de gases de aproximadamente 0.2 % del gas de alimentación al reactor y mandado a un tanque de descarga de polímero, donde se separa todo el polímero de la mayor parte de la mezcla de gases que salieron del reactor. Las condiciones de presión y temperatura en este tanque son de 48 psig y 195°F. Posteriormente, el polímero se hace pasar por un tanque de purga donde se separa de los gases que quedaron aún en la línea después del tanque de descarga de polímero y se alimenta, a este tanque, una corriente de nitrógeno para dar la separación de todo el etileno del polímero formado. La presión en este tanque es de 15 psig.

Una vez separado el polímero de todos los gases, se transporta neumáticamente, por medio de aire, al área de terminado en donde, se le agregan, al polímero en polvo, los aditivos y estabilizadores y finalmente se peletiza y se empaca.

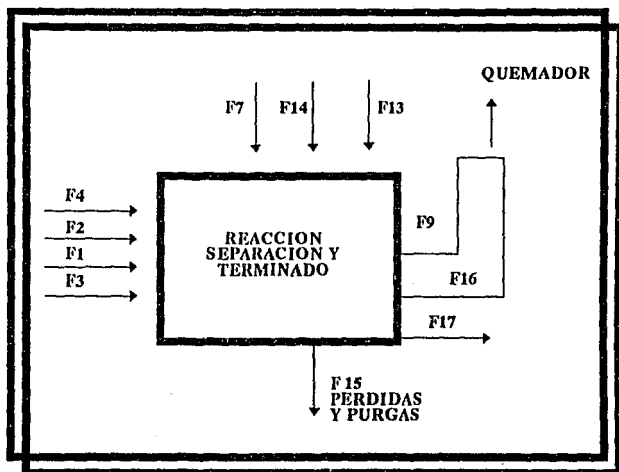
#### 4.3 DIAGRAMA DE FLUJO Y BALANCE DE MATERIA DEL PROCESO.

A continuación, se presentan en las gráficas 4.2, 4.3 y 4.4, el diagrama de flujo del proceso así como el balance de materia, de manera global y el balance en el reactor.

Dado a que estamos considerando que la planta completa, estaría formada por dos reactores y por lo tanto dos líneas, la mayor parte de los equipos se han denominado como su identificación y se han agregado después las letras A y B que indican que para el balance de materia se está incluyendo la suma de los dos equipos, aunque se este representando únicamente uno. Un ejemplo de esto es el reactor, el cual tiene una identificación de R-201 A y B, para este, todos los flujos de entrada y de salida son considerando alimentaciones y salidas a los dos reactores gemelos. Esto se hace únicamente para fines del balance total del diagrama de flujo, aunque en realidad, los flujos de alimentación y salida del reactor, para cada uno de los reactores, es exactamente la mitad. Por ejemplo, la línea número uno de alimentación de etileno fresco al reactor, se considera con un flujo total de 25,872 lb/hr, en realidad cada uno de los reactores estará recibiendo 12,936 lb/hr.



# BALANCE DE MATERIA GLOBAL



FLUJOS EN Kg/hr

|               | F1           | F2          | F3        | F4       | F7          | F13        | F14       | F9          | F16        | F15        | F17          |
|---------------|--------------|-------------|-----------|----------|-------------|------------|-----------|-------------|------------|------------|--------------|
| ETILENO       | 23447        | -           | -         | -        | -           | -          | -         | 330         | 16         | -          | -            |
| ETANO         | 24           | -           | -         | -        | -           | -          | -         | 24          | -          | -          | -            |
| 1-BUTENO      | -            | 2590        | -         | -        | -           | -          | -         | 70          | 4          | -          | -            |
| IMPUREZAS C4  | -            | 25          | -         | -        | -           | -          | -         | 14          | 1          | -          | -            |
| HIDROGENO     | -            | -           | 18        | -        | -           | -          | -         | 2           | -          | -          | -            |
| CAATALIZADOR  | -            | -           | -         | 3        | -           | -          | -         | -           | -          | -          | 3            |
| POLIMERO      | -            | -           | -         | -        | -           | -          | -         | -           | -          | 257        | 25206        |
| NITROGENO     | -            | -           | -         | -        | 2463        | 120        | -         | 2340        | 252        | -          | -            |
| ESTABILIZADOR | -            | -           | -         | -        | -           | -          | 25        | -           | -          | -          | 25           |
| <b>TOTAL</b>  | <b>23471</b> | <b>2515</b> | <b>18</b> | <b>3</b> | <b>2463</b> | <b>120</b> | <b>25</b> | <b>3700</b> | <b>273</b> | <b>257</b> | <b>25314</b> |

FUENTE: SRI Y CALCULO PERSONAL



CALCULO DE LA CONVERSION GLOBAL

$$g_F \frac{1}{C^2} = \frac{F}{9 C^2} + \frac{F}{16 C^2} + \frac{X}{C^2} + \frac{F}{1 C^2}$$

$$X \frac{g}{C^2} = \frac{\frac{F}{1 C^2} - \frac{F}{9 C^2} - \frac{F}{16 C^2}}{\frac{F}{1 C^2}}$$

$$g_{C^2} = 1 - \left( \frac{\frac{F}{9 C^2} + \frac{F}{16 C^2}}{\frac{F}{1 C^2}} \right)$$

$$X \frac{g}{C^2} = 1 - \frac{330 + 16}{23447}$$

$$X \frac{g}{C^2} = 0.9852$$

PRODUCTIVIDAD DEL CATALIZADOR

$$P_{\text{cat}} = \frac{F_{17 \text{ polímero}} + F_{15 \text{ polímero}}}{F_{17 \text{ cat}}}$$

$$P_{\text{cat}} = \frac{(25286 + 257) \text{ lb polímero/hr}}{F_{17 \text{ cat}}}$$

$$P_{\text{cat}} = 8514 \text{ lb polímero / lb catalizador}$$

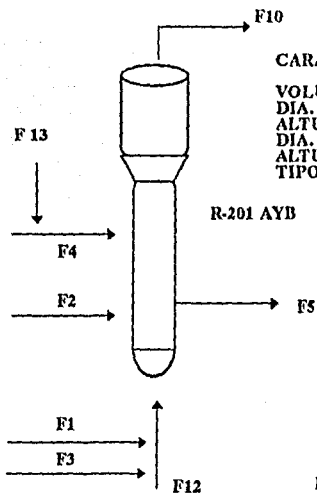
CONVERSION GLOBAL DE BUTILENO

$$X_{C_4}^g = 1 - \left( \frac{F_{9 C_4} + F_{19 C_4}}{F_{2 C_4}} \right)$$

$$X_{C_4}^g = 1 - \left( \frac{70 + 4}{2500} \right)$$

$$X_{C_4}^g = 0.9704$$

# BALANCE DE MATERIA EN EL REACTOR



## CARACTERISTICAS DEL REACTOR

VOLUMEN = 52000 gal  
 DIA. SEC. REAC. = 9 PIES  
 ALTURA SEC. REAC. = 50 PIES  
 DIA. AREA. DE SEP = 15 PIES  
 ALTURA AREA. SEP = 20 PIES  
 TIPO LECHO FLUIDIZADO

## FLUJOS EN Kg/hr

|              | F1    | F2   | F3 | F4 | F12     | F13 | F5    | F10     |
|--------------|-------|------|----|----|---------|-----|-------|---------|
| ETILENO      | 23447 |      |    |    | 788560  |     | 1735  | 787173  |
| ETANO        | 24    |      |    |    | 54096   |     | 119   | 54001   |
| I-BUTENO     |       | 2500 |    |    | 166451  |     | 367   | 166158  |
| IMPUREZAS C4 |       | 15   |    |    | 33290   |     | 73    | 33232   |
| HIDROGENO    |       |      | 18 |    | 4161    |     | 9     | 4154    |
| CATALIZADOR  |       |      |    | 3  |         |     | 3     |         |
| POLIMERO     |       |      |    |    |         |     | 25541 |         |
| NITROGENO    |       |      |    |    | 293369  | 129 | 645   | 292853  |
| TOTAL        | 23471 | 2515 | 18 | 3  | 1339927 | 129 | 28492 | 1337571 |

FUENTE: SRI Y CALCULO PERSONAL

CALCULO DE LA CONVERSION DE ETILENO POR PASO

$$X_{C_2} = 1 - \frac{\frac{F}{2} 10 C_2 + \frac{F}{2} 5 C_2}{\frac{F}{2} 1 C_2 + \frac{F}{2} 12 C_2}$$

$$X_{C_2} = 1 - \frac{787173 + 1735}{23447 + 780560}$$

CONVERSION DE 1-BUTENO

$$X_{1-C_4} = 1 - \frac{\frac{F}{4} 10 C_4 + \frac{F}{4} 5 C_4}{\frac{F}{4} 2 C_4 + \frac{F}{4} 12 C_4}$$

$$X_{1-C_4} = 1 - \frac{16658 + 367}{2500 + 166451}$$

$$X_{1-C_4} = 0.0144$$

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

**CALCULO DE LOS PORCENTAJES DE CADA MONOMERO EN EL POLIMERO**

$$\begin{aligned} \text{ETILENO TOTAL} &= X_{\text{C}=\text{C}_2} * ( F_{12 \text{ C}=\text{C}_2} + F_{1 \text{ C}=\text{C}_2} ) \\ &= 0.0284 (788560 + 23447) = 23,061 \text{ Kg C}=\text{C}_2 / \text{hr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{1-BUTENO TOTAL} &= X_{\text{C}=\text{C}_4} * ( F_{12 \text{ C}=\text{C}_4} + F_{2 \text{ C}=\text{C}_4} ) \\ &= 0.0144 (166451 + 2500) = 2,433 \text{ Kg C}=\text{C}_4 / \text{hr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{HIDROGENO QUE REACCIONA} &= F_{3 \text{ H}_2} - ( F_{10 \text{ H}_2} + F_{5 \text{ H}_2} - F_{12 \text{ H}_2} ) \\ &= 16 \text{ kg/hr} \end{aligned}$$

**PRODUCCION DE POLIMERO = 25,541 kg polímero / hr**

$$\% \text{ 1-C}=\text{C}_4 = 9.53$$

$$\% \text{ C}=\text{C}_2 = 90.29$$

RELACION DE RECIRCULACION DE ETILENO

$$\text{RECIRCULACION} = \frac{F_{12} C_2}{F_1 C_2}$$

$$\text{RECIR} = \frac{788,560}{23,447} = 33.6 \quad \frac{\text{Lb } C_2 \text{ reciclado}}{\text{Lb } C_2 \text{ alim. fresca}}$$

RECIRCULACION GENERAL

$$\text{R. GraI} = \frac{F_{12}}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_{13}}$$

$$= \frac{1339927}{23471 + 2515 + 18 + 3 + 129} = 51.3 \frac{\text{Lb reciclado}}{\text{Lb alim. fresca}}$$

De manera que el balance general de todos los flujos queda como sigue :

GRAFICA 4.5

Poliuretano lineal de baja densidad  
Capacidad 200 mil tons/año  
Flujos por producto

| PESO MOLECULAR  | F1 | F2    | F3   | F4 | F5    | F6    | F7    | F8     | F9    |      |
|-----------------|----|-------|------|----|-------|-------|-------|--------|-------|------|
| Etileno         | 28 | 23447 |      |    | 1735  | 348   |       | 18     | 330   |      |
| Etano           | 30 | 24    |      |    | 119   | 24    |       | trazas | 24    |      |
| 1-Buteno        | 56 |       | 2500 |    | 367   | 74    |       | 4      | 70    |      |
| Impurezas de C4 | 56 |       | 15   |    | 75    | 15    |       | 1      | 14    |      |
| Hidrogeno       | 2  |       |      | 18 | 9     | 2     |       | trazas | 2     |      |
| Catalizador     |    |       |      |    | 3     | 3     |       |        | 3     |      |
| Polimerio       |    |       |      |    | 25541 | 25541 |       | 25541  |       |      |
| Nitrogeno       | 28 |       |      |    | 645   | 129   | 2463  | 252    | 2340  |      |
| Estabilizador   |    |       |      |    |       |       |       |        |       |      |
| TOTAL, Kg/hr    |    | 23471 | 2515 | 18 | 3     | 28492 | 26136 | 2463   | 25819 | 2780 |

| PESO MOLECULAR  | F10 | F11     | F12  | F13     | F14 | F15 | F16 | F17   |       |
|-----------------|-----|---------|------|---------|-----|-----|-----|-------|-------|
| Etileno         | 28  | 787173  | 1587 | 788560  |     |     | 16  |       |       |
| Etano           | 30  | 54001   | 95   | 54096   |     |     |     |       |       |
| 1-Buteno        | 56  | 166158  | 293  | 166451  |     |     | 4   |       |       |
| Impurezas de C4 | 56  | 33232   | 58   | 33290   |     |     | 1   |       |       |
| Hidrogeno       | 2   | 4154    | 7    | 4161    |     |     |     | 3     |       |
| Catalizador     |     |         |      |         |     | 257 |     | 25286 |       |
| Polimerio       |     |         |      |         |     |     | 252 |       |       |
| Nitrogeno       | 28  | 292853  | 516  | 293369  | 129 |     |     | 25    |       |
| Estabilizador   |     |         |      |         |     | 25  |     |       |       |
| TOTAL, Kg/hr    |     | 1337571 | 2356 | 1339927 | 129 | 25  | 257 | 273   | 25314 |

FUENTE: SRI Y CALCULO PERSONAL

#### 4.4 ANALISIS DE POSIBLES COSTOS PARA LA INSTALACION DE UNA PLANTA DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD.

Se consideran tres capacidades de producción diferentes en la inversión y costos que se podrían estimar para el polietileno de baja densidad fabricado con el proceso Unipol

##### 4.4.1 COSTOS UNITARIOS DE MATERIAS PRIMAS Y SERVICIOS AUXILIARES.

Los precios actuales y proporciones de cada una de los materiales que se necesitan para la fabricación del polietileno lineal de baja densidad copolímero de buteno son como sigue.

|                                    | Costo Unitario<br>USD/Kg | Consumo<br>(kg)/Kg polímero |
|------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Etileno                            | 0.298                    | 0.9428                      |
| 1-Buteno                           | 0.706                    | 0.0896                      |
| Hidrógeno                          | 1.48                     | 0.0005                      |
| Catalizador y<br>aditivos químicos | 55.8                     | 0.0001                      |
|                                    | 5.1                      | 0.001                       |



| Servicios auxiliares | Costo Unitario<br>USC/Kg | Consumo<br>(kg)/Kg polímero |
|----------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Agua de enfriamiento | 1.64/m <sup>3</sup>      | 0.052 m <sup>3</sup>        |
| Electricidad         | 3.6 /KWH                 | 0.381 KWH                   |
| Gas inerte           | 1.72 /NM <sup>3</sup>    | 0.035 NM <sup>3</sup>       |

#### 4.4.2 COMPARATIVO DE INVERSION Y COSTOS ESTIMADOS DEL POLIETILENO

El comparativo en costos que se presenta en las tabla 4.6 está basado en las siguientes consideraciones:

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| Materiales de mantenimiento    | 1% de la inversión en el límite de baterías. |
| Abastos de operación           | 10 % del total del trabajo de operación.     |
| Trabajo de operación           | Considerando turnos de 7 horas.              |
| Trabajo de mantenimiento       | 1% de la inversión en el límite de baterías. |
| Trabajo laboratorio de control | 20 % del trabajo de operación.               |
| Personal de planta             | 80 % de los costos de trabajo.               |
| Depreciación                   | 10 % anual de la inversión total.            |

TABLA 4.6

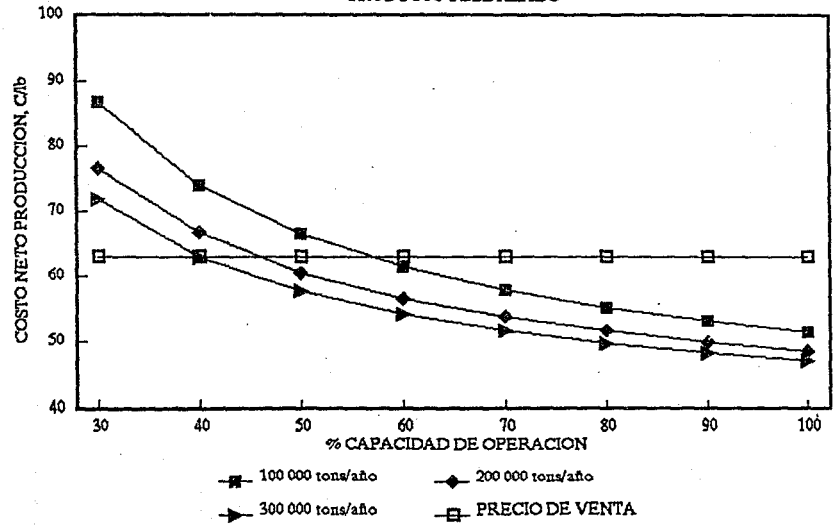
| POLIETILENO LINEAL DE BAJA DENSIDAD<br>PRODUCTO PELETIZADO UNIPOL |                       |                      |       | PRECIO DEL PRODUCTO 63 C/Kg  | POLIETILENO LINEAL DE BAJA DENSIDAD<br>MILES DE TONELADAS / AÑO |       |       |
|---|-----------------------|----------------------|-------|--|---|-------|-------|
|   |                       |                      |       |  | 100   | 200   | 300   |
| RAW MATERIAL  | *COSTO<br>UNITARIO    | CONSUMO<br>POR TON.  | C/Kg  | INVERSION MILLONES USD   |   |       |       |
| EPILENO   | 29.80 C/Kg            | 0.9428               | 28.10 | *LIMITE DE BATERIAS  | 23.76   | 39.74 | 50.84 |
| 1-BUTEENO   | 70.60 C/Kg            | 0.0896               | 6.33  | *INSTALACIONES EXTERIORES  | 12.51   | 21.40 | 27.37 |
| HIDROGENO   | 1.48 USD/Aq           | 0.0005               | 0.07  |  |   |       |       |
| CATALIZADOR Y<br>ADITIVOS QUIMICOS                                | 60.00 USD/Aq          | 0.0001               | 0.60  | TOTAL DE CAPITAL FIJO  | 36.27   | 61.14 | 78.21 |
|   | 5.10 USD/Aq           | 0.001                | 0.51  |  |   |       |       |
| COSTO MATERIA PRIMA   |                       |                      | 35.61 | COSTOS DE PRODUCCION C/Kg.   |   |       |       |
| SERVICIOS AUXILIARES  |                       |                      |       | MATERIAS PRIMAS  | 35.61   | 35.61 | 35.61 |
|   |                       |                      |       | SERVICIOS AUXILIARES   | 1.52  | 1.52  | 1.52  |
| AGUA DE ENFRIAMIENTO  | 1.64 C/M <sup>3</sup> | 0.052 M <sup>3</sup> | 0.09  | COSTOS VARIABLES   |   |       |       |
| ELECTRICIDAD  | 3.6 C/KWH             | 0.381 KWH            | 1.37  |  | 37.12   | 37.12 | 37.12 |
| GAS INERTE  | 1.72 C/M <sup>3</sup> | 0.035 M <sup>3</sup> | 0.06  |  |   |       |       |
| TOTAL   |                       |                      | 1.52  | MATLS. DE MANTENIMIENTO  | 0.24  | 0.20  | 0.17  |
|   |                       |                      |       | ABASIOS DE OPERACION   | 0.15  | 0.08  | 0.05  |
| SALARIO OPERARIOS   |                       |                      |       | TRABAJO DE OPERACION (TURNO 7 h)   | 1.53  | 0.77  | 0.51  |
|   |                       |                      |       | TRABAJO DE MANTENIMIENTO   | 0.24  | 0.20  | 0.17  |
|   |                       |                      |       | LABORATORIO DE CONTROL   | 0.31  | 0.15  | 0.10  |
|   |                       |                      |       | COSTOS TOTALES DIRECTOS  |   |       |       |
|   |                       |                      |       |  | 39.59   | 38.52 | 38.13 |
|   |                       |                      |       | TRABAJADORES DE PLANTA   | 1.66  | 0.89  | 0.63  |
|   |                       |                      |       | IMPUESTO Y SEGUROS   | 0.73  | 0.61  | 0.52  |
|   |                       |                      |       | DEPRECIACION   | 3.63  | 3.06  | 2.61  |
|   |                       |                      |       | COSTO POLIMERO EN PLANTA   | 45.60   | 43.08 | 41.88 |
|   |                       |                      |       | GVA, VENTAS, INVESTIGACION, ION  | 6.07  | 5.64  | 5.38  |
|   |                       |                      |       | COSTO DE PRODUCCION  |   |       |       |
|   |                       |                      |       | A 100% DE CAPACIDAD  | 51.68   | 48.72 | 47.26 |
|   |                       |                      |       | A 75% DE CAPACIDAD   | 56.68   | 52.72 | 50.70 |
|   |                       |                      |       | A 50% DE CAPACIDAD   | 66.69   | 60.74 | 57.81 |
|   |                       |                      |       | VALOR DE LA PRODUCCION (COSTO + 25% DE RETORNO DE LA INVERSION ANTES DE IMPUESTOS), USC/Kg |   |       |       |
|   |                       |                      |       | A 100% DE CAPACIDAD  | 60.75   | 56.36 | 53.78 |
|   |                       |                      |       | A 75% DE CAPACIDAD   | 68.77   | 62.91 | 59.47 |
|   |                       |                      |       | A 50% DE CAPACIDAD   | 84.83   | 76.02 | 70.85 |

\* INCLUYE 25% DE CONTINGENCIAS

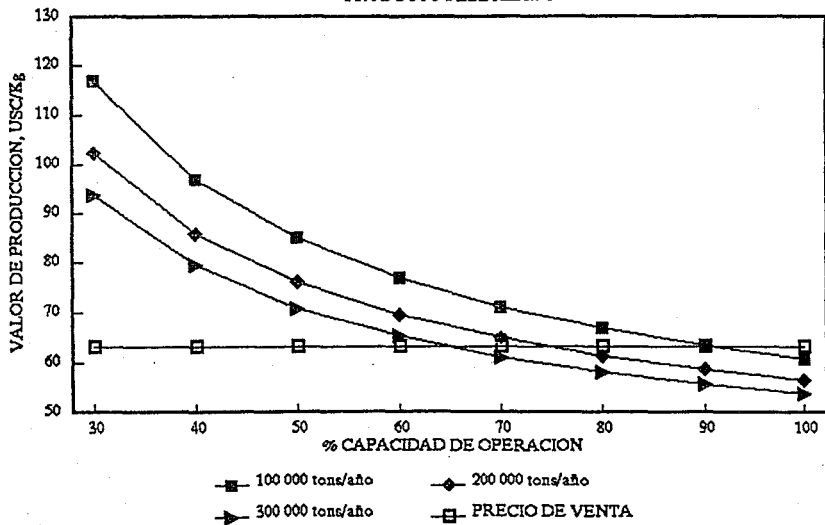
FUENTE: SRI Y CALCULO PERSONAL

A continuación se presenta, de acuerdo con los resultados de la tabla 4.6, las gráficas 4.7 y 4.8 del costo neto de producción y del valor de producción contra el nivel de operación.

# PELBD PROCESO EN FASE GAS UNIPOL PRODUCTO PELETIZADO



FUENTE: CALCULO PERSONAL.

PELBD PROCESO EN FASE GAS UNIPOL  
PRODUCTO PELETIZADO

## CAPITULO V

## CAPITULO 5 DESCRIPCION Y COMPARACION DESDE EL PUNTO DE VISTA DE PRODUCTO TERMINADO ENTRE EL POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD CONVENCIONAL Y LINEAL.

En los capítulos anteriores se han descrito las ventajas desde el punto de vista de fabricación del polietileno lineal con el proceso unipol. Sin embargo, se considera importante hacer una descripción de las ventajas que puede tener un procesador al utilizar uno u otro tipo de polietileno de baja densidad ya sea lineal o convencional.

Asimismo se hace una comparación de las diferencias que existen desde el punto de vista del usuario de la resina, así como del usuario final, haciendo mención de lo que ha pasado en el mercado de polietileno en los Estados Unidos.

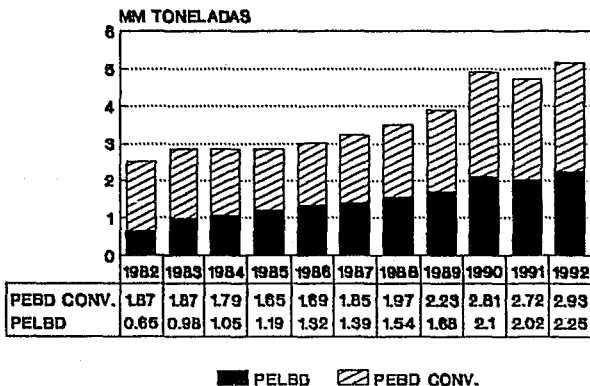
### 5.1 COMPORTAMIENTO DEL MERCADO DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD EN LOS ESTADOS UNIDOS.

En menos de una década, ha habido un cambio bastante importante en los Estados Unidos en relación al porcentaje del consumo total de polietileno lineal de baja densidad en comparación con el consumo total del polietileno de baja densidad incluyendo convencional y lineal, el cual era del 3% en 1979 y fué ya más del 40% en 1990, es decir, en 1990 se consumió el 60% de PEBD convencional y el 40% de PELBD en

relación al consumo total de resinas de polietileno de baja densidad en los Estados Unidos. En la gráfica 5.1 se muestra cual ha sido este comportamiento desde 1980 hasta 1990.

GRAFICA 5.1

### CRECIMIENTO DEL PELBD EN EL MERCADO DE PEBD TOTAL EN LOS EEUU



FUENTE: SOCIETY OF THE PLASTICS INDUSTRY (SPI)



En la actualidad existen más de 50 productores de polietileno lineal en el mundo y con respecto al proceso Unipol para fabricación de polietileno, existen ya 63 reactores en todo el mundo.

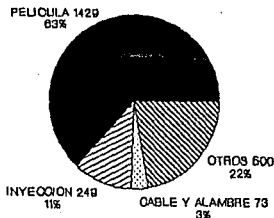
El crecimiento en el consumo del PELBD en los Estados Unidos se ha alentado gracias a los convertidores de la resina quienes han reducido costos de producción y han incrementado sus utilidades gracias a las características de extrusión y excelentes propiedades mecánicas del PELBD.

El crecimiento del mercado de PELBD ha sido captado por el PELBD y en algunas aplicaciones, el PELBD ha ido desplazando al PEBD convencional.

La gráfica 5.2 muestra la distribución del mercado por aplicaciones del PELBD.

GRAFICA 5.2

### MERCADO PELBD EEUU 1992 2250 MTONS



FUENTE: MODERN PLASTICS INTERNACIONAL ENERO 1993

En la gráfica 5.2 se puede observar que los mercados donde se utiliza más el PELBD es en película y en inyección por lo que a continuación se describen las ventajas que tiene este material en estas aplicaciones.

## 5.2 APLICACION EN PELICULA.

En los Estados Unidos el crecimiento de los consumos de PELBD ha estado basado de una manera bastante importante en todas las aplicaciones de película para empaque y no empaque alcanzando un nivel del 62 %, que es muy cercano a lo que representa la aplicación de película en el mercado total de polietileno de baja densidad, el cual es del 68 %.

El crecimiento en la aplicación de película se debe principalmente a las excelentes propiedades mecánicas del PELBD con el resultado de un producto de mayor calidad.

En la tabla 5.3 se muestra una comparación, según datos típicos, de las principales propiedades que caracterizan a los polietilenos, para diferentes tipos de polietilenos lineales y de alta presión. En la misma tabla, al final, se menciona cual es el mejor y el peor.

Muchos convertidores de resina quienes no son capaces de extruir el PELBD en un 100 %, han logrado mejorar las propiedades mecánicas de sus películas mediante la mezcla de PELBD y PEBD convencional.

TABLA 5.3

COMPARACION DE PROPIEDADES EN PELICULA POR SOPLADO

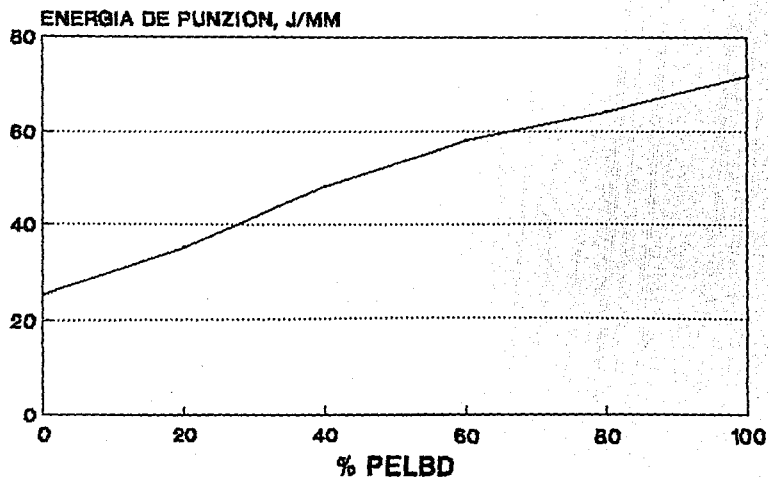
|                                      | METODO  | PEBD AP  |          | PELBD     | OCTENO      | PEAD APM |
|--------------------------------------|---------|----------|----------|-----------|-------------|----------|
|                                      |         | BUTENO   | HEXENO   | UCC       | UCC         | UCC      |
|                                      |         | UCC 0115 | UCC 7087 | UCC 7028  | DOWLEX 2045 | UCC-6188 |
| DENSIDAD, G/CC                       | D 1505  | 0.922    | 0.918    | 0.918     | 0.920       | 0.948    |
| INDICE DE FLUIDEZ, G/10 min.         | D 1238  | 2.5      | 1.0      | 1.0       | 1.0         | 0.06     |
| RESIS. TENSION, N/mm <sup>2</sup> DM | D 882   | 19       | 40       | 50        | 39          | 66       |
|                                      |         | 18       | 32       | 37 *      | 35          | 50       |
| RESIS. RASGADO, G/mil DM             | D 1922  | 200      | 70       | 310       | 280         | 52       |
|                                      |         | 150      | 500      | 800       | 700         | 150      |
| % ELONGACION DM                      | D 882   | 250      | 600      | 500       | 990         | 310      |
|                                      | DT      | 509      | 760      | 700       | 1100        | 380      |
| PUNCIÓN J/mm                         |         | 25       | 53       | 89        | 61          |          |
| RANGO DE SELLADO, °C                 |         | --       | --       | 110 - 120 | 125 - 150   | --       |
| IMPACTO AL DARDO, G                  | D 1709  | 80       | 100      | 200       | 120         | 340      |
| BRILLO 45 % DULL                     | D 523   | 60       | 65       | 67        | 48          | --       |
| NEBULOSIDAD                          | D 1003  | 7        | 11       | 7         | 16          |          |
| CALIBRES DE FABRICACION. MICRAS      |         | 25       | 25       | 25        | 25          | 12       |
|                                      | MEJOR   | PEBR     |          |           |             |          |
| RESIS. TENSION, N/mm <sup>2</sup> DM | PEAD    | PEBD AP  |          |           |             |          |
| N/mm <sup>2</sup> DT                 | PEAD    | PEBD AP  |          |           |             |          |
| RESIS. RASGADO, G/mil DM             | HEXENO  | PEAD     |          |           |             |          |
| G/mil DT                             | HEXENO  | PEAD     |          |           |             |          |
| % ELONGACION DM                      | OCTENO  | PEBD AP  |          |           |             |          |
| DT                                   | OCTENO  | PEAD     |          |           |             |          |
| PUNCIÓN J/mm                         | HEXENO  | PEBD AP  |          |           |             |          |
| IMPACTO AL DARDO, G                  | PEAD    | PEBD AP  |          |           |             |          |
| BRILLO 45 % DULL                     | HEXENO  | OCTENO   |          |           |             |          |
| NEBULOSIDAD                          | PEBD AP | OCTENO   |          |           |             |          |

FUENTE: INV. PERSONAL Y HOJAS DE ESPEC. DE LOS PROVEEDORES

# EFFECTO DEL MEZCLADO RESISTENCIA A LA PUNZION

GRAFICA 5.4

FUENTE: UNION CARBIDE



En la gráfica 5.4 se muestra el comportamiento que sigue una de las principales pruebas de resistencia de las películas, la energía de punzión, al mezclar en diferentes porcentajes el PELBD y PEBD convencional.

La tabla 5.5 es otro ejemplo de lo que se pueden mejorar algunas de las propiedades de las películas al mezclar el PELBD y PEBD convencional. La comparación está hecha mezclando únicamente el 25 % de PELBD y el resto de PEBD.

TABLA 5.5

Propiedades de la película por Soplado  
de mezclas de PELBD / PEBD

Composición %

|              |     |    |
|--------------|-----|----|
| PELBD (IF=1) | 0   | 25 |
| PEBD (IF=2)  | 100 | 75 |

Propiedades de la película

|                       |          |    |     |
|-----------------------|----------|----|-----|
| Impacto al dardo      | (g)      | 75 | 100 |
| Punzión               | (J/mm)   | 42 | 75  |
| Esfuerzo a al tensión | (MPa) DM | 20 | 25  |
|                       | DT       | 15 | 19  |

Resinas de densidad 0.920 g/cm<sup>3</sup> y Películas de 25 micras.

FUENTE: UNION CARBIDE

En la mayor parte de los casos, se han logrado reducciones de más del 30 % en los espesores de las películas finales, trayendo consigo, mayor rentabilidad para aquellos fabricantes de película quienes venden dichos materiales por pieza más bien que por peso.

Algunas de las aplicaciones donde se ha visto un creciente auge por el uso del polietileno lineal, incluye, bolsas para supermercado, bolsa para basura, película agrícola, bolsa para hielo, película para invernadero, película stretch, etc.

En las aplicaciones mencionadas, se utiliza el PELBD ya sea en un 100 % o, en el caso de equipos en donde no se han podido procesar el PELBD en un 100 %, se hacen mezclas con el PEBD.

### 5.3 APLICACION EN INYECCION.

El polietileno lineal ha demostrado tener gran aplicación en el mercado de inyección y ha logrado sustituir al polietileno de baja densidad convencional de una manera más fácil que en la aplicación de película. Los equipos de inyección necesitan muy pocos cambios tanto en adaptaciones a los mismos como en condiciones de operación y si a esto le aunamos el hecho de que los ciclos de operación son más rápidos trayendo consigo una reducción en costos de operación para las empresas moldeadoras. Dentro de las propiedades que se pueden obtener con los polietilenos lineales destacan la

excelente resistencia al rompimiento, excelentes características a bajas temperaturas y excelente rigidez lo que ha permitido una reducción en los espesores de las piezas moldeadas, lo que también ha significado una reducción en costos para las empresas inyectoras.

En el mercado de artículos para el hogar en el cual se incluye la fabricación de botes de basura, cubetas, tinas y tapas, el PELBD ha logrado gran aceptación y sustituir, principalmente, al polietileno de baja densidad convencional.

## CONCLUSIONES



## C O N C L U S I O N E S

Después de desarrollar el presente trabajo podemos llegar a las siguientes conclusiones:

- Existe en la actualidad un déficit en lo que respecta a la producción del PEBD de Pemex, único productor, y el consumo aparente lo que hace factible la instalación de una planta con una capacidad de 200,000 toneladas al año.
  
- Dado la versatilidad del proceso UNIPOL, dicha podría utilizarse para la fabricación tanto de polietileno de baja densidad como de alta densidad y así tener los mayores porcentajes en capacidad de operación con la consiguiente reducción en costos.
  
- El proceso que ofrece los costos más bajos de producción de polietileno es el UNIPOL, patentado por Union Carbide. Este proceso aparte de ser el más atractivo desde el punto de vista económico, resulta ser el más seguro y el más versátil desde el punto de vista de los diferentes tipos de polietilenos que puede producir ya que se pueden fabricar polietilenos de baja densidad lineal y de alta densidad de índices de fluidez desde muy bajos hasta muy altos.

- La inversión total estimada para la instalación de una planta de PELBD es de 61 MMUSD.
  
- El polietileno lineal resulta superior en casi todas las aplicaciones al polietileno de baja densidad convencional excepto en aquellas donde se aprovechan las ramificaciones largas, características de este último.
  
- El polietileno de baja densidad es un polímero que resulta muy importante para el ser humano actualmente, ya que ha sustituido en gran medida a otros materiales, como el papel, vidrio, etc. Debido a esta sustitución de materiales es que el crecimiento de este producto ha sido bastante importante durante los últimos años.
  
- Existen tres características muy importantes que identifican las propiedades de los polietilenos de manera relativa que identifican a unos con respecto a otros, que son la densidad que está en función de la temperatura de reacción y de la estructura del polímero principalmente, el índice de fluidez, que es a nivel químico, una representación de la longitud de la cadena y ramificaciones de la molécula, es decir el peso molecular aunque lo que nos indican es cuantos materiales se puede fundir y comenzar a fluir bajo ciertas condiciones de presión y temperatura, y por

último la distribución de pesos moleculares que nos dirá qué tan fácil o difícil será de procesar un polietileno.

- Las aplicaciones son bastante variables dado a la gran versatilidad que existe de polietilenos variando algunas de las propiedades de caracterización que mencioné anteriormente. Dichas aplicaciones pueden ir desde polietilenos de alta tecnología como las que se utilizan en el recubrimiento de cables, como polietilenos commodities para la elaboración de bolsas de supermercado.
  
- En el mundo en general y principalmente en los E.E. U.U. ha existido una muy marcada tendencia a la sustitución del polietileno de baja densidad convencional por el polietileno lineal de baja densidad.

## BIBLIOGRAFIA

## BIBLIOGRAFIA

Anuario Estadístico de la Industria Química 1993. ANIQ 1992  
México D.F.

Anuario del Instituto Mexicano del Plástico Industrial IMPI.  
Editorial Marsa, S.A de C.V México D.F 1990.

Billmeyer Fred. "Textbook of Polymer Science", Ed. John  
Willey & Sons N.Y. 1984.

Boenig H. "Polyolefins: Structure and Properties"  
Ed.Elsevier Publishing Company, Holanda 1966.

Diario Oficial 15 de Agosto de 1989.

Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, Second  
Edition, John Wiley & Sons 1987-1990.

Goeke G.L. "LLDPE- Fact and Fiction" Specialties Plastics  
Conference 1985, Zurich, Suiza. Noviembre 1985.

Jacquelin I. Kroschwitz "Concise Encyclopedia of Polymer  
Science and Engineering". John Wiley & Sons 1990

Kirk Othmer, "Encyclopedia of Chemical Technology" Tomo 16.  
Third Edition, John Wiley & Sons 1981.

Memoria de Labores de Pemex 1991 y 1992.

Modern Plastics International. "Resin Report: How markets  
fared in 1992" Mac. Graw Hill  
Publication, January 1993.

PEP yearbook 1989. SRI international Petrochemical.

Relación de Importaciones 1990. Estadísticas Infotec.

Rundloff L.C. "Very Low Density Polyethylene". Modern  
Plastics. October 1991. Mac. Graw Hill.

SRI International. World Petrochemicals. Ethylene and  
Derivatives. Polyethylene Technologies. Stanford Research  
Institute 1991.