

19



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

ELEMENTOS PARA DETERMINAR LAS PERSPECTIVAS DEL POLIPROPILENO

T E S I S

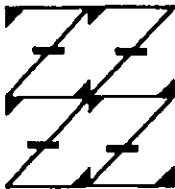
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

DANTE MAGDALENO TAPIA

UNAM FES ZARAGOZA



LO HUMANO EJE DE NUESTRA REFLEXIÓN

DIRECTOR DE TESIS: ING. ALEJANDRO ROGEL RAMIREZ

84445

MEXICO, D. F.

2000



Universidad Nacional  
Autónoma de México

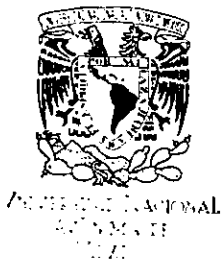


**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

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

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

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



**JEFATURA DE LA CARRERA  
DE INGENIERIA QUIMICA**

**OFICIO: FESZ/JCIQ/008/99**

**ASUNTO: Asignación de Jurado**

**C. DANTE MAGDALENO TAPIA**

**Presente**

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado para el Examen Profesional, le comunico que la Jefatura a mi cargo ha propuesto la siguiente designación:

**Presidente:** *I.Q. Alejandro Rogel Ramírez*  
**Vocal:** *Q. Francisco Silva Flores*  
**Secretario:** *I.Q. Raúl Ramón Mora Hernández*  
**Suplente:** *Q. José Nuñez Flores*  
**Suplente:** *M. en I. Néstor Noé López Castillo*

**Atentamente**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
**México, D.F., 15 de Febrero de 1999**

**EL JEFE DE LA CARRERA**

**I.Q. ARTURO E. MÉNDEZ GUTIÉRREZ**

**lrm**

*Dedicatorias:*

*Dedico el presente trabajo a los seres que más quiero y admiro, mis padres, quienes han dado gran parte de su vida para hacer de mi una persona responsable y profesionalista; por estas y muchas razones más les doy las gracias a mi mamá Lolita y mi papá Alfonso, y esto es una prueba de lo que ellos han sembrado en mi.*

*También con especial cariño para mi tía Elfega, por todas sus atenciones.*

*Dante*

CONTENIDO

	Pag.
RESUMEN	I
OBJETIVOS	II
INTRODUCCIÓN	1
	2
<b>CAPITULO I GENERALIDADES</b>	
1.1 DEFINICIÓN	2
1.2 CLASIFICACIÓN Y ESTRUCTURA DEL POLIPROPILENO	2
1.2.1 HOMOPOLÍMEROS	2
1.2.2 COPOLÍMEROS	4
1.2.3 GRADOS MODIFICADOS	5
1.3 PROPIEDADES GENERALES	5
1.3.1 PROPIEDADES FÍSICAS	5
1.3.2 PROPIEDADES MECÁNICAS	6
1.3.3 PROPIEDADES TÉRMICAS	7
1.3.4 PROPIEDADES ELÉCTRICAS	8
1.3.5 PROPIEDADES ÓPTICAS	9
1.3.6 PROPIEDADES QUÍMICAS	9
1.4 PROPIEDADES POR TIPO DE POLIPROPILENO	9
1.4.1 HOMOPOLÍMEROS DE POLIPROPILENO	9
1.4.2 COPOLÍMEROS AL AZAR DE POLIPROPILENO	11
1.4.3 COPOLÍMEROS DE BLOQUE DE POLIPROPILENO	11
<b>CAPITULO II TECNOLOGÍAS PARA LA PRODUCCIÓN DE POLIPROPILENO</b>	<b>13</b>
2.1 CATALIZADORES	13
2.2 PROCESOS EXISTENTES Y COMERCIALES	15
2.2.1 PROCESO DE SUSPENSIÓN	16
2.2.2 PROCESO EN MASA	17
2.2.3 PROCESO EN FASE GAS	18
2.2.4 PROCESO EN SOLUCIÓN	18
2.2.5 PROCESOS PARA COPOLÍMEROS	19
2.3 DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS COMPETITIVAS	19
2.3.1 TECNOLOGÍA EL PASO	19
2.3.2 TECNOLOGÍA DEL PROCESO SPHERIPOL DE HIMONT	22
2.3.3 TECNOLOGÍA U.C.C./SHELL	24
2.3.4 TECNOLOGÍA BASF	27
2.4 DESARROLLOS TECNOLÓGICOS	29

<b>CAPITULO III PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN</b>	<b>31</b>
3.1 ACONDICIONAMIENTO PREVIO	31
3.2 EXTRUSIÓN	36
3.2.1 DEFINICIÓN	36
3.2.2 PARTES IMPORTANTES DEL EQUIPO DE EXTRUSIÓN	36
3.2.3 CLASIFICACIÓN DE EXTRUSORES	40
3.2.4 PROCESO DE EXTRUSIÓN PARA EL POLIPROPILENO	41
3.3 INYECCIÓN	45
3.3.1 DEFINICIÓN	45
3.3.2 PARTES IMPORTANTES DEL EQUIPO DE INYECCIÓN	46
3.3.3 CLASIFICACIÓN DE INYECTORES	47
3.3.4 PROCESO DE INYECCIÓN PARA EL POLIPROPILENO	47
3.4 TERMOFORMADO	50
3.5 SOPLADO	51
3.6 ACABADO	53
3.7 DESARROLLOS TECNOLÓGICOS	54
<b>CAPITULO IV APLICACIONES DEL POLIPROPILENO</b>	<b>56</b>
4.1 ENVASE	56
4.1.1 PELÍCULA	57
4.1.2 BOTELLAS	61
4.1.3 RAFFIA	61
4.2 CONSUMO	61
4.3 MUEBLES	62
4.4 CONSTRUCCIÓN	62
4.5 ELÉCTRICO - ELECTRÓNICO	62
4.6 TRANSPORTACIÓN	62
4.7 MÉDICO	63
4.8 INDUSTRIAL	63
4.9 FIBRAS SINTÉTICAS	63
4.10 ESPECIALIDADES	63
<b>CAPITULO V ASPECTOS DE MERCADO DE POLIPROPILENO</b>	<b>65</b>
5.1 MERCADO INTERNACIONAL	65
5.1.1 CAPACIDAD INSTALADA	66
5.1.2 PRODUCCIÓN	66
5.1.3 CONSUMO	68
5.1.4 TENDENCIA DEL PRECIO DEL POLIPROPILENO	72
5.1.5 PARTICIPACIÓN Y TENDENCIA POR APLICACIÓN	73
5.1.6 PROYECTOS Y PERSPECTIVAS DE EXPANSIÓN A NIVEL MUNDIAL	73
5.1.7 EXPECTATIVAS	74
5.2 INDUSTRIA NACIONAL DE RESINAS Y PLÁSTICOS	76
5.2.1 INDUSTRIA DE RESINAS	76
5.2.2 INDUSTRIA DE PLÁSTICOS	79
5.3 INDUSTRIA NACIONAL DEL POLIPROPILENO	81
5.3.1 EMPRESAS PRODUCTORAS	81
5.3.2 SEGMENTACIÓN DEL MERCADO DEL POLIPROPILENO	82

---

---

<b>CAPITULO VI ANALISIS DE LAS PERSPECTIVAS</b>	<b>89</b>
6.1 GRADOS DE LIBERTAD	89
6.2 RIESGO DE LA INDUSTRIA	90
6.3 ATRACTIVO DEL MERCADO	91
6.4 FACTORES CLAVE DEL ÉXITO	93
6.5 OPORTUNIDADES DE LA INDUSTRIA	94
6.6 FORMULACIÓN DE LAS POSIBLES ESTRATEGIAS	94
6.7 IMPLICACIONES DE LAS ESTRATEGIAS	96
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>97</b>
GLOSARIO	99
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	101
ACRONIMOS	103

---

## RESUMEN

En este trabajo se estudia al polipropileno que, dentro de los plásticos ha sido de los de mayor crecimiento en los últimos años por las ventajas que representa en cuanto a costo y propiedades.

El trabajo está dividido en siete capítulos. En el primero se define al polipropileno, donde se muestra su clasificación, su estructura y se hace mención de sus propiedades físicas, químicas, mecánicas, térmicas, ópticas y eléctricas.

En el segundo capítulo se describen los procesos de producción más competitivos y comerciales existentes, destacando empresas como Himont (ahora Montell) y Basf, además se hace referencia a los tipos de sistemas de catalizadores de acuerdo a su generación.

En el tercer capítulo se describen los procesos de transformación para la obtención del producto final, que por sus características puede ser sometido el polipropileno, en donde se observa que los procesos de inyección y extrusión son los más utilizados.

En el capítulo cuatro se mencionan las aplicaciones del polipropileno, citando algunas propiedades comparativas con otros plásticos para determinar nuevos campos de aplicación, destacando el segmento de envase y de consumo como los más importantes.

En el capítulo cinco se hace referencia a los aspectos de mercado internacional y nacional del polipropileno, destacando datos sobre capacidad instalada, producción, consumo por segmentación, así como tendencias del polipropileno tanto a nivel nacional como mundial, observándose el aumento del consumo del polipropileno, y se destaca la industria automotriz como la de mayor proyección.

En el capítulo seis, con la ayuda de algunas herramientas de planeación estratégica se realiza un análisis de las perspectivas del polipropileno, de donde se generan estrategias que pueden ser adoptadas en un futuro desarrollo de la resina.

Por último, en las conclusiones se mencionan los aspectos más destacados de este estudio en cuanto a mercados, aplicaciones y tecnologías.



**OBJETIVO GENERAL**

Conocer las perspectivas técnicas y económicas del polipropileno

**OBJETIVOS PARTICULARES**

- a) Analizar las diferentes tecnologías de producción de las resinas de polipropileno
- b) Determinar nuevos campos de aplicación para el polipropileno
- c) Determinar tendencias y expectativas de las resinas de polipropileno tanto internacional como nacional.
- d) Analizar la situación del mercado nacional de las resinas de polipropileno.
- e) Establecer pautas de desarrollo para las resinas de polipropileno

**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La información que existe o se publica actualmente haciendo referencia a los plásticos es vasta, existen revistas de alto nivel científico, así como libros y manuales, en donde se puede encontrar información muy dispersa sobre propiedades, procesos de producción y transformación, mercados, así como campos de aplicación. Por lo que para la realización del estudio de un plástico, específicamente del polipropileno, donde se muestre la información descrita, es necesario hacer acopio de información contenida en las diversas fuentes publicadas. En este trabajo se pretende recabar esta información y organizarla de forma tal que sea posible obtener los elementos necesarios que nos permitan llevar a cabo un análisis sobre las perspectivas del polipropileno.

## INTRODUCCIÓN

Aunque desde los años 30's se habían sintetizado polímeros de bajo peso molecular sin interés comercial, es en 1954 cuando G. Natta, basado en los trabajos de K. Ziegler, consiguió aislar polipropileno isotáctico del polímero obtenido a partir de propileno con el sistema catalítico  $TiCl_3 + AlCl_3$ .

El polipropileno ha recorrido un largo camino desde que su producción comercial se iniciara en Ferrara (Italia) en 1957. Este polímero cristalino, ha ido aumentando desde entonces su presencia en el mercado hasta llegar a ser uno de los polímeros de mayor producción y consumo, gracias a su versatilidad en el proceso de transformación su amplia gama de aplicaciones y sus costos competitivos.

Con una capacidad de producción global de 29 millones de toneladas en 1998 es también uno de los materiales con mayor proyección futura, con un excelente nivel de crecimiento. Actualmente duplica el volumen generado a principios de la década, como consecuencia de que su demanda se muestra ascendente por su diversificación a nuevos campos de utilización y por sustitución de otros polímeros.

Entre las resinas sintéticas que se producen en el país se encuentra el polipropileno, que es un producto relativamente nuevo en cuanto a producción nacional pero que debido a su versatilidad y combinación de propiedades cada día es más utilizado en la fabricación de diversos productos de consumo.

La capacidad instalada actual ha sido superada por el consumo aparente y por la misma razón cada vez es menos suficiente para satisfacer la demanda interna sin embargo es uno de los productos con posibilidades de aumentar su producción y exportación, por contar con producción de materia prima y tecnología competitiva internacionalmente. Evidencias como estas son las que se establecen en este estudio partiendo del conocimiento de las características generales del producto, es decir estructura, propiedades, usos principales y procesos de producción, así también se analiza el panorama internacional relativo al mercado y tecnologías disponibles en donde se destacan principalmente las tendencias, los países y empresas que han marcado la pauta en los últimos años. Posteriormente se estudia la industria nacional en donde se generan los elementos complementarios para la realización de un análisis local bajo 4 aspectos fundamentales: tecnología, producto, manufactura y mercado mediante la aplicación de herramientas elementales de "planeación estratégica". Finalmente se proponen algunas opciones derivadas del análisis, que podrían ser adoptadas para el futuro desarrollo de la industria nacional del polipropileno.

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES

### 1.1 DEFINICIÓN

El polipropileno (PP) es un termoplástico que pertenece a la familia de las poliolefinas y se obtiene a través de la polimerización del gas propileno.

El polipropileno forma parte de los plásticos conocidos como "comodities", es decir plásticos de alto consumo. Dentro de este grupo se encuentran también el polietileno con sus tipos baja y alta densidad, policloruro de vinilo, politereftalato de etileno y el poliestireno en sus grados cristal, medio y alto impacto.

Este polímero fue descubierto en 1950 y comercializado en 1957 en Europa y Norteamérica. El polipropileno por espacio de 40 años se desarrolló de tal manera que ha ganado una posición de liderazgo en el mundo como comoditie y actualmente en campos de ingeniería, ya que después del polietileno y PVC, es el tercer material plástico más consumido a nivel mundial.

### 1.2 CLASIFICACIÓN Y ESTRUCTURA DEL POLIPROPILENO

En la actualidad hay tres tipos de polipropileno que se producen industrialmente

- *Homopolímeros*: estas resinas, obtenidas por polimerización de propileno, son utilizadas principalmente por su rigidez.

- *Copolímeros estadísticos*: se obtienen por copolimerización de propileno y otra olefina, generalmente etileno. La configuración de las cadenas macromoleculares obedece a las leyes del azar con lo que el material tiene mayor flexibilidad, mas transparencia y una temperatura de fusión más baja que los homopolímeros.

- *Copolímeros de bloque*: se obtienen por polimerización, en varias etapas, de bloques macromoleculares de naturaleza o estructura diferente. El comonomero más usado es el etileno. Esta copolimerización permite la obtención de resinas con resistencia al impacto netamente superior a la de los homopolímeros, aunque con merma de la rigidez y la transparencia.

#### 1.2.1 HOMOPOLÍMEROS

El polipropileno homopolímero puede presentar tres formas distintas dependiendo de la manera en que se ordenen los grupos metilo a lo largo de la cadena polimérica

La estereo-regularidad en las cadenas lineales, depende del orden en que estén colocados los grupos metilos colgantes, lo cual es una propiedad denominada Tacticidad Clasificándose en:

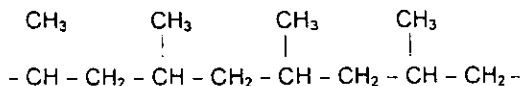
- a) *Polipropileno isotáctico*
- b) *Polipropileno sindiotáctico*
- c) *Polipropileno atáctico*

En toda la polimerización, se obtiene una mezcla de ellos y se busca alcanzar los mayores porcentajes del tipo isotáctico, que es la estructura obtenida en el nuevo sistema de polimerización "Esferipol".

#### *Polipropileno isotáctico*

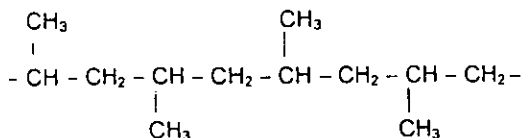
Se caracteriza, por una sola posición estereoquímica de los radicales metilo a lo largo de la cadena, por lo que al alinearse con la siguiente cadena no quedan huecos que le resten estabilidad al polímero. Esta estructura le confiere el carácter cristalino, así como valores altos de las propiedades mecánicas y térmicas.

La estructura es la siguiente.



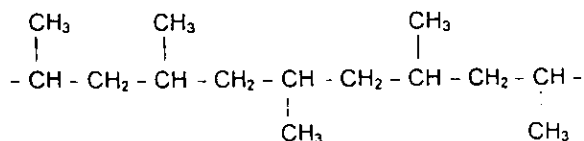
#### *Polipropileno sindiotáctico*

En esta estructura, los radicales metilos están alternados a todo lo largo de la cadena, de manera ordenada estereoquímicamente, pero el que estén alternados es una desventaja, porque en cuanto la siguiente cadena se alinie se forman pequeños huecos en la estructura, que es lo que le resta estabilidad al polímero. La dificultad de síntesis de esta estructura no ha permitido su comercialización hasta ahora, si bien las últimas noticias apuntan a su aparición en el mercado con mejores propiedades en cuanto a resistencia al impacto, flexibilidad y claridad que las de PP isotáctico. La forma de la estructura es la siguiente.



*Polipropileno atáctico*

En el polipropileno atáctico, los radicales metilo se encuentran al azar, a lo largo de toda la cadena, por lo que al alinearse todas las cadenas forman demasiados huecos en la estructura. Por el contrario una estructura no estereoregular conduce a un polipropileno amorfo y más pegajoso. Comercialmente este producto es conocido como atáctico y posee algunas propiedades específicas explotables desde el punto de vista industrial como componente de adhesivos y sellantes y mezclas con bitúmenes. Aunque siempre se ha obtenido como subproducto no deseado en la producción de isotáctico, su importancia ha aumentado en los últimos años a causa de su escasez debida a la mejora de estereoregularidad con los nuevos catalizadores. La estructura es la siguiente.



El polipropileno isotáctico es, por el momento, la única forma verdaderamente interesante industrialmente, aunque el índice de isotacticidad de las resinas comerciales es siempre inferior al 100% (normalmente en el intervalo de 95 a 99%) ya que el polímero nunca es perfectamente estereoregular.

**1.2.2 COPOLÍMEROS**

La polimerización de propileno con cantidades bajas de etileno u otra alfaolefina es ampliamente practicada en la industria.

El objetivo de la copolimerización es aumentar la fase amorfa del sólido para mejorar las propiedades de impacto a baja temperatura. Los copolímeros son de dos tipos: *copolímeros al azar* donde las moléculas formadas son copolímeros estadísticos formados por polimerización en presencia de ambos monómeros, y *copolímeros bloque* en los cuales las moléculas son heterogéneas y están constituidas por bloques de PP homopolímero y bloques de copolímero de EP o de polietileno.

**COPOLÍMEROS AL AZAR (RANDOM)**

La estructura polimérica es similar a la del homopolímero de polipropileno isotáctico con la adición de inserciones al azar de grupos etileno, estas adiciones rompen la naturaleza altamente cristalina del polipropileno isotáctico, lo que resulta en claridad y flexibilidad mejoradas y punto de fluidez más bajos.

Los copolímeros al azar tienen menor cristalinidad y mayor resistencia al impacto y flexibilidad que los homopolímeros, aunque su resistencia al impacto es aproximadamente un 50% menor que los copolímeros en bloque con el mismo contenido en etileno.

Este tipo de copolímeros se utiliza principalmente para la producción de películas (film) con propiedades ópticas mejoradas y de termosellado, artículos moldeados por inyección con buena resistencia al impacto a temperatura ambiente y botellas moldeadas por soplado. Los contenidos más usuales de etileno son del 2 al 4% en peso aunque ciertos grados para termosellado llegan al 8%.

### **COPOLÍMEROS DE BLOQUE O IMPACTO**

El método comúnmente utilizado para producir copolímeros bloque es la polimerización secuencial de segmentos moleculares de diferente composición. El principal objetivo es mantener las propiedades de rigidez y dureza propias de los homopolímeros junto con las propiedades mejoradas de impacto a bajas temperaturas de los copolímeros al azar.

Aunque el término "copolímero bloque" implica bloques químicamente enlazados, esto no es completamente cierto en la mayoría de los grados comerciales. Debido al desfase existente entre el tiempo medio de crecimiento de una cadena de polímero y el tiempo de residencia en el reactor, el producto final es una mezcla íntima de moléculas de polipropileno homopolímero, moléculas de copolímeros al azar de etileno propileno y unas pocas moléculas de copolímeros bloque.

Fuente 2,11,32

#### **1.2.3 GRADOS MODIFICADOS**

Las resinas de polipropileno pueden ser compuestas con cargas o reforzadores como carbonato de calcio, talco y fibra de vidrio para usos que requieren mayor rigidez particularmente a temperaturas elevadas.

Pueden ser mezclados con elastómeros o hules para formar aleaciones adecuadas para partes que requieren buena resistencia al impacto.

Al reforzar al polipropileno con cargas como: fibra de vidrio, carbonato de calcio y talco, se incrementan sus propiedades mecánicas, térmicas y físicas.

### **1.3 PROPIEDADES GENERALES<sup>2,10</sup>**

#### **1.3.1 PROPIEDADES FÍSICAS**

Las propiedades físicas del polipropileno dependen principalmente de la longitud y relación superficie volumen de la cadena molecular, así como la de cristalinidad de tal forma que si aumenta la cristalinidad, aumenta la densidad, la resistencia mecánica y rigidez, pero disminuyen la transparencia y la capacidad de deformación. Los fragmentos cristalinos son rígidos en el polipropileno, mientras que los amorfos son móviles y se conocen como "articulaciones amorfas".

El polietileno de alta densidad tiene hasta un 80% de cristalinidad, mientras que el polipropileno isotáctico se encuentra entre 60% y 70% debido al predominio del ordenamiento de los grupos metilos. Esto explica su menor densidad con relación al PEAD.

- DENSIDAD

Esta propiedad es útil para determinar la cantidad de materia prima que se utiliza en la fabricación de un determinado artículo.

El polipropileno es uno de los termoplásticos de menor densidad, lo cual hace que el rendimiento en producción sea mayor. Su intervalo de densidad es de 0.89 a 0.91 gr/cm<sup>3</sup>.

- ABSORCIÓN DE AGUA

El polipropileno, es un material que no absorbe humedad por lo que se evita el secado previo al procesamiento y mantiene una buena estabilidad dimensional, incluso en ambientes altamente húmedos.

- CONTRACCIÓN DE MOLDEO

El rango de contracción de moldeo es considerablemente alto (2%) por lo que debe de tomarse en cuenta durante el diseño de moldes, principalmente en el proceso de inyección

- ÍNDICE DE FLUIDEZ

Esta propiedad, es determinante para la elección del grado de material de acuerdo al proceso de transformación que se vaya a utilizar y a la vez es una medida directa del peso molecular del material. A medida que es más pequeño, la rigidez es alta y cuando el índice de fluidez es elevado la rigidez disminuye, el brillo aumenta y se facilita la inyección en piezas de diseños intrincados.

### 1.3.2 PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas del polipropileno están en función del peso molecular y del grado de cristalinidad.

- RESISTENCIA A LA TENSIÓN

La resistencia a la tensión del polipropileno está en término medio, en comparación con los demás termoplásticos; la ventaja es que su resistencia es incrementada considerablemente durante el proceso de fabricación de películas, raffia y cuerdas

- **ELONGACIÓN**

El polipropileno tiene un excelente rango de elongación, el cual fluctúa entre 400 y 430% utilizando cargas del orden de 300 - 400 kg/cm<sup>2</sup>, lo que justifica el amplio uso de este material en la fabricación de películas, haciendo posible el estiramiento en dirección máquina (MD) y transversal (TD). Para la raffia y cuerdas solo es en dirección máquina el estiramiento es de 6 a 8 veces del tamaño inicial, lo que se refleja en un mayor rendimiento del material y produciéndose materiales de alta resistencia a la tensión

- **RESISTENCIA AL IMPACTO**

La resistencia al impacto del polipropileno es de 6.8 a 8.16 cm-kg/cm, la cual es mayor a la de los plásticos comodities y a la del ABS, por lo que es utilizado en carcasas de electrodomésticos, gabinetes, cascos de seguridad, portafolios, aspas de lavadoras y botellas.

- **RESISTENCIA A LA FLEXIÓN**

El polipropileno, es un material semirígido; su resistencia es de 600 kg/cm<sup>2</sup>, debido a ello se emplea en la fabricación de cuerdas, cajas y contenedores de alimentos

- **MODULO DE FLEXIÓN**

El módulo de flexión, es una medida de la rigidez del material. El polipropileno presenta una rigidez alta, la cual es mayor a la del polietileno de alta densidad, por lo que se utiliza en la manufactura de popotes, cerdas para escoba y tapas con bisagra integrada

- **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

Esta propiedad, nos indica la carga que soporta un plástico, antes de deformarse. el polipropileno presenta un valor de 500 kg/cm<sup>2</sup>, debido a ello se utiliza en la inyección de sillas y soportes para muebles.

### 1.3.3 PROPIEDADES TÉRMICAS

Las propiedades térmicas están determinadas por su estructura y composición de los polímeros



- TEMPERATURA DE ABLANDAMIENTO VICAT.

El polipropileno, presenta resistencia a la temperatura sin deformarse por arriba de los 85°C, por lo que puede ser esterilizado con rayos gamma y óxido de etileno. Por otro lado, en el proceso de metalizado se manejan elevadas temperaturas, que este material soporta sin deformarse.

- TEMPERATURA DE DEFLEXIÓN

A 4.5 kg/cm<sup>2</sup> soporta 110°C, por lo que es utilizado en la fabricación de piezas mecánicas como engranes, cafeteras eléctricas y freidoras de papas. Con una carga de 18.5 kg/cm<sup>2</sup>, soporta 55°C, pero si se refuerza, con cargas como la fibra de vidrio, talco y carbonato de calcio la temperatura aumenta considerablemente hasta 150°C, por lo que se emplea, en la fabricación de tableros automotrices, parrillas para auto y piezas mecánicas.

- CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

El polipropileno, presenta un valor muy pequeño de conductividad, por lo que el calor que absorbe, lo transmite muy lentamente, lo que se refleja en ciclos más largos de enfriamiento, durante su transformación.

- RESISTENCIA AL CALOR CONTÍNUO

Es la capacidad que presentan los plásticos de soportar elevadas temperaturas libres de esfuerzos mecánicos. De los plásticos commodities y el ABS, el polipropileno es el que más resistencia presenta, por lo que se utiliza en la inyección de acumuladores para automóvil.

- CALOR ESPECIFICO

Es la cantidad de calor, que se necesita para elevar en un grado centígrado, su temperatura por unidad de peso, y el polipropileno, es uno de los materiales que más energía requiere, para su transformación.

### 1.3.4 PROPIEDADES ELÉCTRICAS

El polipropileno es uno de los materiales que acumulan muy poca energía, por lo cual puede ser utilizado en circuitos eléctricos y electrónicos. En cuanto a la resistividad volumétrica, se requieren valores altos, para lograr mayor aislamiento eléctrico y es la razón de que éste material se emplee en el recubrimiento de alambre y cable, su desventaja es ser más rígido que el polietileno de alta densidad y el PVC.

### 1.3.5 PROPIEDADES ÓPTICAS

El polipropileno por naturaleza es translúcido, o sea que su transmitancia es el orden de un 70 a 75%. Actualmente, con la adición de agentes clarificantes se logran transparencias aproximadamente de un 85 a 90%, por lo que su campo de aplicación se ha extendido a cubrir otros mercados, como es la fabricación de botellas, contenedores de alimentos y en las películas se ha logrado mayor brillantez y transparencia.

### 1.3.6 PROPIEDADES QUÍMICAS

Este material, presenta muy buena resistencia a los ácidos y bases, tanto fuertes como débiles; solo lo ataca el ácido nítrico concentrado por arriba de los 80 C. No hay ningún solvente orgánico que lo pueda disolver a temperatura ambiente y a bajas temperaturas se vuelve frágil y quebradizo.

#### PRODUCTO QUIMICO

#### CAMBIO

Acetona	Ninguno
Acido Acético (5%)	Ligeramente decolorado
Acido Fosfórico (conc)	Ninguno
Acido Sulfúrico (30%)	Ninguno
Cloruro Férrico (10%)	Ninguno
Etanol	Ninguno
Formaldehído	Ligeramente amarillento
Gasolina	Se hincha
Hidróxido de Sodio	Ninguno
Tolueno	Ligeramente decolorado

## 1.4 PROPIEDADES POR TIPOS DE POLIPROPILENO

### 1.4.1 HOMOPOLÍMEROS DE POLIPROPILENO

El polipropileno, es el más largo de los termoplásticos, con gravedad específica de 0.90 a 0.91 es el más ligero de los principales plásticos. Por ser lineal y estereorregular el polipropileno isotáctico es capaz de cristalizar cuando se enfría a partir de la masa fundida. El alto grado de cristalinidad es el que le imparte las útiles características de buena resistencia al calor, a ácidos, álcalis y solventes, alta rigidez, buena fuerza tensil y dureza entre su temperatura de transición vítrea (cerca de  $-10^{\circ}\text{C}$ ) y su punto de fluidez cristalino (cerca de  $170^{\circ}\text{C}$ ).

Su punto de fluidez varía de  $165 - 170^{\circ}\text{C}$  y es utilizable hasta  $120^{\circ}\text{C}$ . La tasa de flujo de la masa fundida (MFR) puede ir de 1 hasta 100g/10 minutos.

El polipropileno homopolimero presenta, alta resistencia a la temperatura por lo que puede esterilizarse por medio de rayos gamma y oxido de etileno, tiene muy buena resistencia a los ácidos y bases a temperaturas abajo de los 80°C, no hay ningún solvente orgánico que lo pueda disolver a temperatura ambiente. Tiene buenas propiedades dieléctricas, la resistencia a la tensión es muy buena en combinación con su elongación su resistencia al impacto es buena a temperatura ambiente, pero a temperaturas abajo del orden de 4°C se vuelve frágil y quebradizo.

Las propiedades del polipropileno están íntimamente ligadas a su estructura molecular y se identifican por ciertos parámetros fundamentales:

**- Estereorregularidad y cristalinidad:**

La estereorregularidad y la cristalinidad de un polipropileno homopolimero suelen expresarse como "índice de isotacticidad" y es el porcentaje de polimero insoluble en heptano hirviendo a presión atmosférica. La fracción insoluble es el polimero isotáctico cristalino con estructura regular mientras que la parte soluble es polipropileno atáctico amorfo con una estructura molecular irregular. Para la mayoría de las aplicaciones la presencia de esta fase atáctico es indeseable por su solubilidad en hidrocarburos (limita las aplicaciones en contacto con alimentos) y por su contribución negativa a propiedades físicas como la rigidez, resistencia a la tracción y resistencia al calor. La mayoría de los homopolímeros de polipropileno comerciales tienen un índice isotáctico entre 95% y 98%.

El porcentaje de cristalinidad tiene gran influencia sobre las propiedades físicas y mecánicas del polipropileno y puede medirse por difracción de rayos X o por análisis térmico diferencial.

**- Peso molecular:**

El peso molecular del material condiciona su comportamiento reológico, su facilidad de transformación, su resistencia al choque y su rigidez.

Los homopolímeros comerciales tienen un peso molecular (Mw) entre 200000 y 500000. Se caracteriza por la medida del índice de fluidez.

**- Distribución de pesos moleculares (DPM):**

La distribución de pesos moleculares está ligada al catalizador empleado y a las condiciones de polimerización. Influyen en la resistencia al impacto y en el comportamiento reológico del polimero. Los recientes desarrollos en catalizadores y procesos están permitiendo la obtención de resinas con distribución de pesos moleculares más anchas y más estrechas, dependiendo de la aplicación final. Así, mediante polimerización secuencial se han desarrollado polímeros con DPM anchas, particularmente adecuados para moldeo por soplado y para la producción de láminas termoconformadas. Las DPM estrechas son ventajosas en algunas aplicaciones de polipropileno tales como película y fibras, donde una DPM estrecha confiere menor hinchamiento en boquilla y mejora las características de estiramiento. En la actualidad estos grados de DPM estrecha se obtiene por degradación térmica y oxidativa controlada de polímeros con pesos moleculares más elevados. Este procedimiento se conoce como "reología controlada".

### 1.4.2 COPOLÍMEROS AL AZAR DE POLIPROPILENO (RANDOM)

Son un grupo de termoplásticos basados en olefinas, que presentan baja gravedad específica, dureza y flexibilidad.

Ofrecen la resistencia química y propiedades de barrera del homopolímero de polipropileno, además de claridad, resistencia al impacto y un punto de fluidez más bajo.

Los copolímeros típicamente contienen 1.5 a 7.0% en peso de etileno como comonomero. Otros comonomeros como buteno o hexeno han sido producidos pero no están disponibles comercialmente.

La gravedad específica del copolímero al azar es de 0.89 a 0.90 haciéndolo ligeramente más liviano que el homopolímero.

*Dureza:* Los copolímeros al azar ofrecen buena fuerza de impacto en partes moldeadas por inyección.

El impacto de dardo en la película puede ir de 100 a 270 g/mils. El impacto a baja temperatura se mejora enormemente sobre el homopolímero.

*Flexibilidad:* Las películas de copolímero al azar dan un módulo secante de 1% de 3,520 Kg/cm<sup>2</sup> a 63,000 Kg/cm<sup>2</sup> y tienen un palmo relativamente suave. Las partes moldeadas presentan un módulo flexural de 4,925 Kg/cm<sup>2</sup> a 12,660 Kg/cm<sup>2</sup>.

*Resistencia química:* Sobresaliente a sustancias como ácidos, álcalis, alcoholes, hidrocarburos de bajo punto de ebullición e inorgánicos no-oxidantes.

*Barrera:* Las propiedades de barrera a la humedad son excepcionales y la transmisión de oxígeno es también muy baja.

*Térmicas:* Las temperaturas de distorsión por calor a 4.6 Kg/cm<sup>2</sup> fluctúan de 63 a 96°C. El punto de fluidez puede variar de 121 a 152°C.

*Ópticas:* La claridad es mejorada grandemente con respecto al homopolímero y puede mejorarse aún más mediante aditivos clarificantes. Las propiedades ópticas de la película son bastante buenas con una bruma menor de 2% y un brillo mayor de 85% a 45 grados.

### 1.4.3 COPOLÍMEROS DE BLOQUE DE POLIPROPILENO

El polipropileno tiene muchas propiedades útiles, no obstante no es intrínsecamente duro, especialmente abajo de su temperatura de transición vítrea. Puede hacerse más resistente al impacto sin embargo, con la adición de elastómeros, generalmente hules etileno-propileno a niveles de 5-25%. Esta adición se hacía antiguamente mediante mezcla y recientemente se logra mediante la síntesis de la fracción elastomérica dentro del reactor de polimerización (in-situ).

El copolímero de bloque tiene una densidad menor de 1 y es generalmente procesado a temperaturas moderadas, en el orden de 176 a 287°C.

Son menos rígidos y menos transparentes que los homopolímeros pero ofrecen a cambio desempeño para choque netamente superior, con lo que puede lograrse el equilibrio óptimo en rigidez y propiedades de impacto.

Los copolímeros de polipropileno de bloque rellenos por refuerzos o cargas soportan temperaturas más altas sin deformarse. Los refuerzos o cargas generalmente incluyen a la fibra de vidrio, mica, talco y carbonato de calcio.

La fracción de hule que da al polipropileno su resistencia de impacto, hace sin embargo, decrecer rigidez y reduce la temperatura de distorsión por calor del polipropileno de bloque en relación al homopolimero.

En la tabla 1.1 se presenta en resumen las propiedades del polipropileno. <sup>2</sup>

Tabla 1.1 Propiedades del polipropileno

PROPIEDADES	UNIDADES	HOMOPOLIMERO	COPOLIMERO	TALCO %		FIBRA DE VIDRIO %		CO <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> %	
				20	40	20	40	20	40
<b>FISICAS</b>									
INDICE DE FLUIDEZ	gr/10 min	5	4	3.5	3	3.5	3.0	10.0	8.0
DENSIDAD	gr/cm <sup>3</sup>	0.905	0.897	1.03	1.22	1.04	1.22	1.04	1.23
ABSORCIÓN DE AGUA	%	0.05	0.05	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
CONTRACCIÓN DE MOLDEO	%	2	2.5	0.017	0.12	0.055	0.005	0.020	0.014
<b>MECÁNICAS</b>									
RESISTENCIA A LA TENSION	Kg/cm <sup>2</sup>	369	257	267	300	774	1055	240	268
ELONGACIÓN	%	600	700	40	20	9	5	50	40
RESISTENCIA AL IMPACTO CON MUESCA	cm-kg/cm	6.8	8.16	6	10	15	60	18	15
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	kg/cm <sup>2</sup>	492	457	490	565	1200	1490	500	560
MÓDULO DE FLEXIÓN	kg/cm <sup>2</sup>	17575	15115	28120	43900	52700	78000	23200	27900
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	kg/cm <sup>2</sup>	500	450	485	528	840	914	380	506
DUREZA ROCK WELL		R - 95	R - 70	A 85	D 74	D 75	D 84	A 96	A 94
<b>TÉRMICAS</b>									
TEMPERATURA DE FUSIÓN	°C	168	164	168	168	160	220	168	168
TEMPERATURA DE DEFLEXION	°C								
A 4.5 kg/cm <sup>2</sup>		114	95	132	140	158	167	110	121
A 18.5 kg/cm <sup>2</sup>		55	53	90	100	149	155	66	77
CONDUCTIVIDAD	$\frac{1 \cdot 10^8 \text{ cal cm}}{\text{seg cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$	2.415	6.9	6.55	7.6	7.25	8.8	4	6.9
<b>ELECTRICAS</b>									
CONSTANTE DIELECTRICA	10 <sup>6</sup> Hz	2.4	2.2	2.40	2.60	3	3.20	2.70	3.10
RESISTIVIDAD VOLUMETRICA	$\Omega \text{ cm}^2$	$1 \cdot 10^{16}$	$1 \cdot 10^{17}$	$1 \cdot 10^{16}$	$1 \cdot 10^{16}$	$1 \cdot 10^{16}$	$1 \cdot 10^{16}$	$1 \cdot 10^{16}$	$1 \cdot 10^{16}$
RESISTENCIA DIELECTRICA	V/mm	22600	22600	19685	19685	19685	20078	15748	19685
FACTOR DE DISIPACIÓN	10 <sup>6</sup> Hz	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-1}$
<b>QUÍMICAS</b>									
RESISTENCIA QUÍMICA									
ÁCIDOS FUERTES	EXCELENTE RESISTENCIA. LO ATACAN LOS ÁCIDOS OXIDATIVOS CONCENTRADOS								
BASES FUERTES	EXCELENTE RESISTENCIA								
DISOLVENTES ORGÁNICOS	BUENA RESISTENCIA. SOLO LO ATACAN LOS HIDROCARBUROS COMPLETAMENTE HALOGENADOS								

## CAPÍTULO II

### TECNOLOGÍAS PARA LA PRODUCCIÓN DEL POLIPROPILENO

En 1974 con la formación de la OPEC ( Organization of Petroleum Exporting Countries), se forzó a los productores de polímero a revalorar su tecnología, debido al aumento en los costos de material de alimentación y energía.

Desde la segunda mitad de los años 70's, las plantas de PP han aumentado significativamente en número, soportadas por la demanda creciente, gracias al surgimiento de nuevos catalizadores y nuevos procesos de producción.

Los productores de PP estimulados por la continua necesidad de conservar la alimentación (propileno) y reducir el capital y los costos de operación de las plantas han cambiado de las técnicas tradicionales de suspensión en diluyente, a los más nuevos procesos en masa y en fase gas. Al mismo tiempo, han estado usando catalizadores con mayores actividades y selectividades para minimizar y en forma última eliminar las operaciones de proceso necesarias para remover residuos de catalizador y polímero atáctico del producto de PP.

La producción basada en catalizadores tradicionales, implicaba la eliminación de residuos de catalizador (deashing) y separación del polipropileno isotáctico (producto deseado) del polipropileno atáctico (producto de bajo valor) después de la reacción de polimerización. La reacción de eliminación del catalizador envenenaba los monómeros que no reaccionaban y cualquier disolvente utilizado, requiriendo por ello la purificación de estos antes de reciclarlos a la reacción. También se necesitaba una sección de tratamiento de efluente.

#### 2.1 CATALIZADORES

Todos los procesos comerciales para la fabricación del polipropileno con alto índice de isotacticidad utilizan sistemas catalíticos Ziegler-Natta. La evolución de los catalizadores ha ido permitiendo la simplificación de los procesos junto con un mayor control del producto deseado, disminuyendo los costos de fabricación y permitiendo el desarrollo de nuevas resinas con propiedades mejoradas.

El primer sistema catalítico utilizado para la polimerización de propileno fue  $TiCl_3$  cocatalizado por cloruro de dietil aluminio (DEAC).

Con este tipo de catalizadores se conseguían rendimientos de unos 1,000 gramos de polipropileno por gramo de catalizador con un índice de isotacticidad de un 90%. lo que implicaba un proceso costoso de eliminación de residuos catalíticos y de separación del polímero atáctico.

La incorporación de bases de Lewis a la composición del sistema catalítico proporcionó un aumento del rendimiento así como el índice de isotacticidad aunque seguía siendo necesaria la eliminación de residuos catalíticos, si bien, en algunos casos, no era preciso eliminar el atáctico.

Otro avance fundamental en la mejora de los catalizadores surge con la utilización, en los años 70's del cloruro de magnesio como soporte del metal activo. Con esta "tercera generación" de catalizadores se han conseguido rendimientos entre 5,000 y 20,000 gramos de polímero por gramo de catalizador con índices de isotacticidad por encima del 98%, lo que no hace necesario eliminar residuos catalíticos y el atáctico producido con el consiguiente abaratamiento del proceso. La composición de estos sistemas catalíticos consta de un soporte (usualmente cloruro de magnesio), un compuesto de metal activo (tetracloruro de titanio) y una base de Lewis (donador interno). El cocatalizador empleado suele ser trietilaluminio (TEA), formando un complejo con otra base de Lewis (donador externo).

Al igual que ocurre con el polietileno, en la polimerización en suspensión y fase gas del propileno con este tipo de catalizadores se da el llamado "fenómeno de réplica", es decir que la distribución de tamaños de partícula del polímero es una réplica a mayor escala de la distribución de tamaños de partícula del catalizador. La morfología de los sistemas catalíticos es tan importante como su composición para el uso en determinados procesos.

Englobados dentro de la denominación general de catalizadores Ziegler-Natta existe un grupo que se conoce actualmente con el nombre genérico de *metallocenos*. La particularidad más destacable de estos sistemas catalíticos es el presentar un único tipo de centro activo, frente a los catalizadores Ziegler-Natta convencionales que presentan diversos centros, lo que conduce a una distribución de pesos moleculares del polímero más estrecha y, al menos teóricamente, más controlable. Sin embargo, y a pesar del enorme esfuerzo que están desarrollando los principales productores de poliolefinas a nivel mundial, la aplicación comercial de estos catalizadores se restringe tanto por su elevado precio como las dificultades en conseguir soportar los metallocenos, para su empleo en procesos de suspensión y fase gas, sin pérdida sustancial de sus propiedades diferenciales. Aunque gran parte de la tecnología de metalloceno está enfocada hacia el polietileno, también existen numerosos anuncios de nuevos tipos (sindiotácticos) y grados especiales (isotácticos) de polipropileno, con propiedades mejoradas, obtenidos con estos catalizadores.<sup>5,10,32</sup>

## CLASIFICACIÓN DE CATALIZADORES PARA LA FABRICACIÓN DE POLIPROPILENO

Se distinguen dos grandes familias de catalizadores para la fabricación de PP's isotácticos: los catalizadores en masa y los catalizadores soportados.

**Los catalizadores en masa** (de la primera generación) se caracterizan por:

- Rendimiento insuficiente por lo que se necesita purificar el polímero de residuos de catalizador.
- Débil estereoespecificidad del polímero por lo que se debe eliminar el APP.
- Presentación en polvo con muy amplia repartición granulométrica.

Los **catalizadores soportados** (de la segunda generación) se caracterizan por

- Actividad específica de Ti muy elevada.
- Muy buena estereoespecificidad.

El trabajo consistió en soportar el  $TiCl_3$  activo sobre un soporte mineral el más común de  $MgCl_2$ .

Sistemas de catalizador Ti soportado -  $MgCl_2$ : el catalizador de la tercera generación no sólo es altamente activo y estereoespecífico como los de la segunda generación, sino también produce partículas de PP granular. Con el nuevo catalizador, el tamaño de las partículas del polímero puede ser controlado libremente, con esto pone en uso práctico el proceso de producción de PP de la tercera generación basado en la económica polimerización en fase gas, usando un catalizador de morfología controlada.

En el presente, el desempeño del catalizador se mejora añadiendo terceros componentes en la síntesis del catalizador y/o polimerización. Agregando varias modificaciones, es posible controlar el PM, la DPM, estereoespecificidad y la capacidad de formar copolímeros.

## 2.2 PROCESOS EXISTENTES Y COMERCIALES

### CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS

Los procesos para la fabricación de PP se clasifican por el tipo de polimerización o por el tipo de generación del catalizador.

Los procesos son clasificados por el tipo de polimerización dentro de cinco grupos: masa, suspensión, solución, fase gas y un proceso híbrido masa y fase gas.

La clasificación de los procesos de fabricación con base al tipo de generación del catalizador es la siguiente:

#### 1) Procedimientos de la primera generación:

- Emplean catalizadores en masa de la primera generación.
- Tienen una etapa de neutralización del catalizador, depuración de residuos catalíticos o paso de remoción de ceniza y un paso de remoción del APP que se forma.

#### 2) Procedimientos de la segunda generación:

- Por su elevado rendimiento los catalizadores soportados simplifican el procedimiento.
- No tienen el paso de eliminación de ceniza pero subsiste después de la polimerización la etapa de neutralización del catalizador.

#### 3) Procedimientos de la tercera generación:

- Sin ambos pasos de remoción de ceniza y remoción de APP.
- Los reactores utilizados favorecen la optimización de los catalizadores soportados.
- El proceso en fase gas absoluto se considera el proceso sostén de la tercera generación.



Los principales procesos de la tercera generación son:

- a) Procesos en masa de Himont, El paso y Solvay.
- b) Procesos en fase gas absoluta de BASF (ICI, Norchem), Amoco (Chisso) y Shell - UCC.

Existen además un proceso tipo híbrido (para copolímeros) combinación de polimerización en masa y fase gas por Mitsui Petrochemical e Himont. El proceso en masa es la etapa precedente y la segunda etapa requiere la alimentación de homopolímero de la columna flash hacia un reactor de copolimerización en fase gas de lecho fluidizado. El proceso fue comercializado en 1964 por Rexene (anteriormente Rexall).

En el presente hay tres tipos de procesos disponibles con sus diferentes tipo de reactor:

- 1) Suspensión en diluyente
- 2) Masa (reactor en ebullición o tubular de circuito cerrado)
- 3) Fase gas (reactor de lecho fluidizado o mecánicamente agitado)

Las plantas basadas en las nuevas tecnologías del proceso de diluyente (reajuste), del proceso de masa líquida y del proceso en fase gas han reemplazado a las que usan métodos de suspensión convencional, de diluyente y de disolvente. En las plantas de reciente construcción usan tecnologías de punta basadas en rutas de masa líquida y de fase gas.

Los procesos denominados de masa líquida (liquid-bulk) son en realidad una suspensión en propileno líquido por lo que a menudo se clasifican junto con los procesos de suspensión - masa (bulk-slurry).

### 2.2.1 PROCESO EN SUSPENSIÓN (DILUYENTE)

Este proceso basado en catalizadores tradicionales (bajo rendimiento y bajo índice de isotacticidad); utilizó las propiedades de disolución del diluyente para remover los residuos de catalizador y el producto de polímero amorfo.

En plantas convencionales de diluyente el homopolímero se forma al reaccionar propileno (altamente purificado), un disolvente (diluyente) de hidrocarburo y un catalizador. La resina que se obtiene contiene cerca de 8% de polímero atáctico que es reducido a 3% o menos mediante solubilización en diluyente hexano o heptano y lavado en xileno. Los residuos de Ti del catalizador son removidos por lavado disolviéndolos en un alcohol de cadena corta (isopropanol) y lavando en agua. El disolvente se recupera por centrifugación, filtración o por tratamiento de vapor de la resina con aire caliente.

Para los copolímeros al azar, en las plantas de diluyente se alimentan la suspensión de propileno, etileno, disolvente y catalizador dentro de un reactor agitado a 60-70°C y alrededor de 10.2 Kg/cm<sup>2</sup>. Los copolímeros de impacto requieren uno o más reactores secundarios.

Un proceso de suspensión en hidrocarburo típico incluye los siguientes pasos:

- Polimerización a condiciones suaves (65 a 80°C y 6-15 Kg/cm<sup>2</sup>)
- Desgasificación (el monómero que no reaccionó es separado hacia fuera y reciclado)
- Centrifugación (separación del polímero isotáctico sólido del solvente que contiene APP disuelto).

- Flasheo de la solución de APP (para separación y recuperación)
- Rectificación y reciclaje del disolvente a la polimerización.
- Secado y granulado (peletizado).

En años recientes varias plantas de diluyente se han mantenido en el negocio reajustando las unidades con nuevos catalizadores de alta actividad que además de simplificar el proceso (eliminando los pasos para remover catalizador y polímero amorfo) también incrementan la productividad. Estos catalizadores producen resina con 1% o menos de polímero atáctico y tienen rendimientos de 5 a 15 Kg de PP/g de catalizador (los convencionales producen menos de 5 Kg/g).

A pesar de las desventajas que presentan con respecto a los procesos en masa y fase gas, existen plantas de reciente construcción basadas en el proceso de diluyente. Una razón para ello es que PP de alta pureza requerido para algunas aplicaciones (medicas, empaquetado de alimentos, textiles no tejidos y películas de aislamiento de capacitor y biaxialmente orientadas) solo puede realizarse mediante el paso de lavado empleado en plantas de diluyente

### 2.2.2 PROCESO EN MASA

El diluyente se puede eliminar por completo conduciendo la reacción en propileno líquido (masa líquida). El proceso en masa incluye solamente los pasos de polimerización, desgasificación (separación de monómero), reciclaje y peletización

Dos rutas han obtenido la mayor parte de los licenciamientos hasta ahora en polimerización en masa: el proceso CSTR de El Paso Products y el proceso Spheripol de Himont Inc. (coconversión de Hercules y Montedison) en conjunción con Mitsui Petrochemical.

Tanto el proceso CSTR de El Paso como el proceso Spheripol tienen una primera etapa de polimerización en masa para homopolímeros y copolímeros al azar, mientras que para producir copolímeros de bloque (impacto) ambos métodos se hilvanan con una segunda etapa en fase gas.

En una mejora reciente para hacer copolímeros de bloque, Himont emplea un tercer reactor en fase gas para sintetizar PE dentro de la matriz del copolímero, creando directamente una mezcla de PP, EPR y PE. Esta ruta directa se dice es más simple que la técnica normal mezclando los componentes juntos.

El proceso Spheripol de Himont (ahora Montell) tiene una capacidad limitada para hacer copolímeros al azar; en contenidos de etileno por arriba de 5% en peso, el comonómero no está distribuido casualmente. Himont soluciona este problema añadiendo comonómero de buteno en lugar de etileno. Se dice que los terpolímeros resultantes son tan buenos como los copolímeros al azar de etileno. El proceso es extremadamente flexible y aconsejable para desarrollo de polímeros modificables que utilizan otros monómeros.

En 1989, Himont introdujo Addipol, una adición opcional al proceso Spheripol que elimina la necesidad de granulación (peletización), un proceso común y costoso en la producción de PP. Normalmente las plantas alimentan producto pulverizado a un extrusor donde se funde y mezcla con aditivos y luego se forma a granulos (pelets); en su lugar, el proceso de Himont deposita un recubrimiento duro sobre las partículas de PP, creando un pelet superior, puesto que la resina no es fundida

Himont estima que Spheripol puede producir 46 diferentes grados de producto desde resinas reforzadas con fibra de vidrio a grados retardantes de flama, hasta grados adhesivos

### 2.2.3 PROCESO EN FASE GAS

La investigación y el desarrollo del proceso en fase gas comenzó en 1955. El proceso solo necesita específicamente los pasos de polimerización y peletización.

Como todos los procesos en fase gas involucran la polimerización directa del propileno a un sólido, no se necesitan los pasos del disolvente en suspensión o solución ni los de separación, flasheado o purificación de solventes relacionados. Las condiciones de reacción típicas para homopolímero y copolímero al azar en la polimerización de propileno en fase gas son 60-90°C (generalmente cerca de 85°C) y una presión aproximada de 41 Kg/cm<sup>2</sup>.

Los procesos para polipropileno en fase gas absoluta (todo el proceso se lleva a cabo en fase gas), fueron comercializados por los tres grupos siguientes:

*Familia BASF:* La tecnología BASF fue desarrollada desde 1962 con el arranque de la primera unidad piloto en 1967.

El proceso Novolen de BASF utiliza un reactor vertical de lecho agitado.

Aunque los rendimientos del catalizador de BASF son bajos produciendo cerca de la mitad de resina que su competencia, las plantas de BASF pueden readaptarse para usar catalizadores de alto rendimiento elevando con esto la capacidad.

*Familia Amoco:* La tecnología ha estado en uso comercial y disponible para licenciamiento desde 1979; Chisso fue licenciado por Amoco en 1980 y con base en la tecnología de producción de homopolímero desarrolló copolímeros, completando la primera planta de copolímero por 1987.

*Shell - U.C.C.:* El proceso Unipol de polipropileno es una ruta en fase gas y lecho fluidizado que acopla desde 1985 la tecnología *Unipol* de U.C.C. para fabricar PELBO (sus reactores), con el catalizador super alta actividad (SHAC) desarrollado por Shell para plantas convencionales de Polipropileno.

Con el proceso Unipol PP sólo se requieren dos reactores de fase gas en serie para fabricar el rango completo de productos de medio a super alto impacto dentro del reactor.

### 2.2.4 PROCESO EN SOLUCIÓN

Este proceso opera a una temperatura suficientemente alta para disolver el polímero en el diluyente a medida que se forma; la recuperación del polímero ocurre mediante la vaporización del solvente y del monómero no reaccionado. En ambos pasos, la polimerización y recuperación de polímero requieren más energía que en los demás procesos, con los subsiguientes más altos costos de energía. Sin embargo, el proceso es adecuado para la producción de algunos grados de especialidades y se piensa que tiene buena flexibilidad de cambio de grado.

## 2.2.5 PROCESOS PARA COPOLÍMEROS

Los copolímeros al azar y de bloque de medio impacto son fabricados al igual que los homopolímeros usando un reactor sencillo donde el etileno puede ser alimentado junto con el propileno.

Los copolímeros al azar se producen a condiciones de operación ligeramente diferentes que para el homopolímero y el punto de fluidez reducido requiere de manejo más cuidadoso a tasas generalmente más lentas; esta condición se vuelve crítica a contenidos de etileno por arriba de 3.5% pues el polímero es suave, tiende a formar pasta de mala forma en la etapa de polvo y se produce más subproducto amorfo. Además los copolímeros al azar se manejan como grados de especialidad, lo que implica una amplia variedad de productos hechos durante corridas cortas de fabricación.

El manejo cuidadoso, las tasas más lentas y las corridas cortas contribuyen significativamente a los costos más elevados de los copolímeros al azar, especialmente con alto contenido de comonomero.

Tanto los procesos para homopolímeros como para copolímeros al azar son continuos.

Los copolímeros de alto impacto son polímeros heterofásicos donde el polipropileno (componente más abundante) es la fase continua. Se obtienen prácticamente permitiendo que una matriz elastomérica de copolímero etileno/propileno crezca entre la matriz homopolimérica. La producción de copolímeros de bloque de alto impacto requiere un segundo sistema de polimerización separado, en el cual el etileno o una mezcla etileno-propileno se polimeriza en el homopolímero preformado recuperado de la primera etapa de polimerización.

Los tipos de reactores para estos copolímeros varían ya que en el reactor de copolimerización se debe cuidar que no surjan problemas de distribución de componente de catalizador (que viene de la etapa de homopolimerización junto con las partículas de polímero) y de que la cinética de reacción es muy alta pues la reacción es avivada por la presencia de etileno; por ello es posible operar a presiones mucho más bajas que las requeridas para homopolímeros y con tiempos de residencia más cortos.

El reactor de copolímero de bloque puede operar continuamente (en dos o más reactores en serie) o en modo intermitente (en un reactor sencillo).

## 2.3 DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS COMPETITIVAS

### 2.3.1 TECNOLOGÍA EL PASO (PROCESO CSTR)

Es un proceso para la polimerización del propileno en un estanque de monómero líquido que usa catalizadores soportados de alta eficiencia Ziegler-Natta.

Propileno líquido purificado (eliminando propano en exceso y otras impurezas) junto con catalizador Ziegler-Natta, cocatalizador de haluro de alquil Al e hidrógeno (control del PM), son introducidos como una suspensión a un reactor de tanque agitado que ya contiene algo de propileno líquido. La reacción toma lugar a 75°C y 37 Kg/cm<sup>2</sup>. El calor de polimerización es removido vaporizando propileno que es condensado y regresado al reactor.

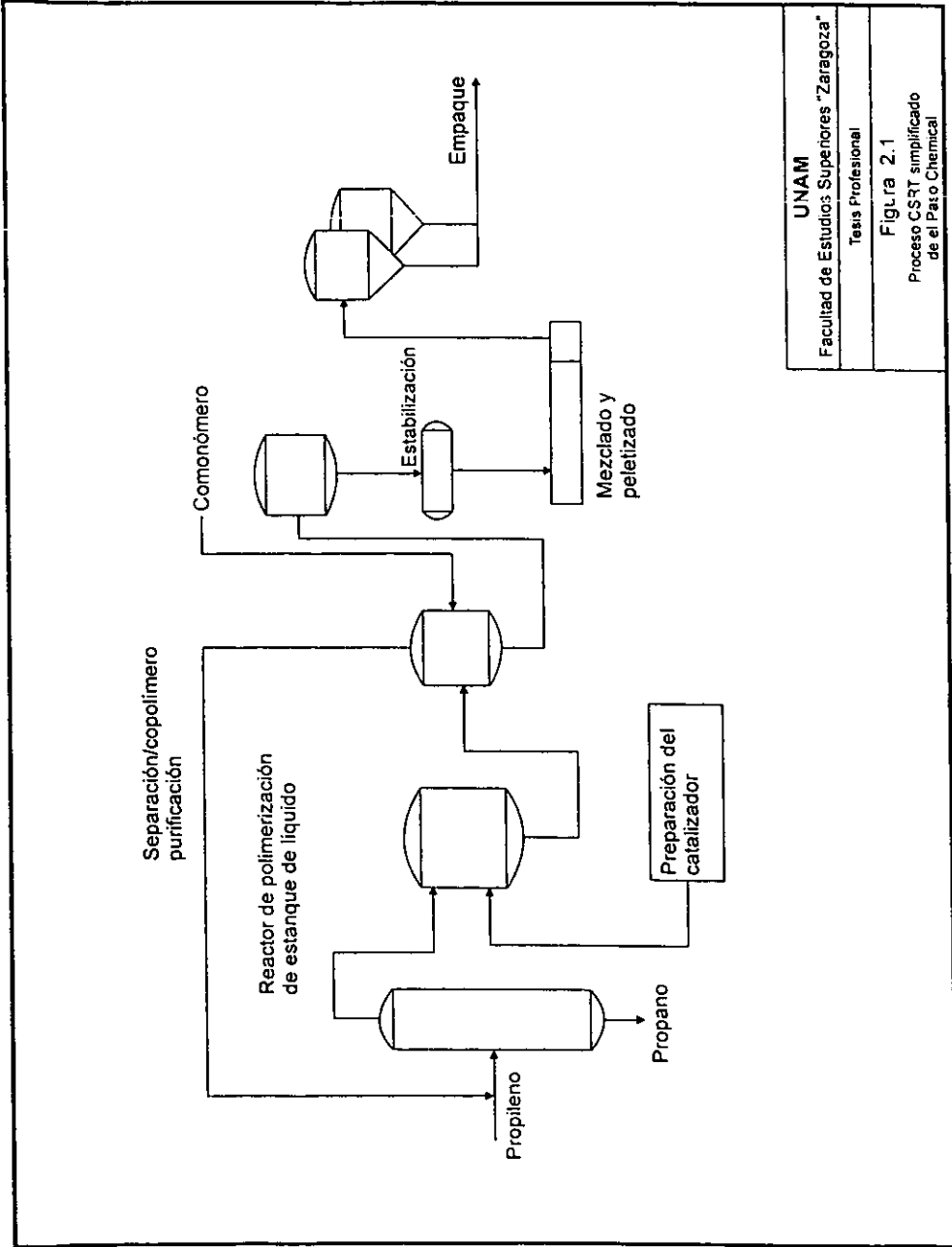
El homopolímero se forma en partículas y sale del reactor en suspensión con propileno líquido no reaccionado. La suspensión entra a un recipiente flash donde el monómero es separado y reciclado para ser mezclado con la alimentación. El polímero es recuperado al separar (flashear) la suspensión del reactor a un ciclón de baja presión, el cual separa los sólidos de polímero esencialmente secos del gas de propileno no reaccionado.

Los copolímeros al azar también se producen por este proceso introduciendo etileno en el recipiente de polimerización.

Para copolímeros de bloque etileno-propileno El paso usa un reactor en fase gas de lecho agitado horizontal.

El catalizador usado por el Paso es un cloruro de alquil Mg-Ti granular desarrollado en forma conjunta por Montedison y Mitsui Petrochemical y licenciado a el Paso, el cual rinde por encima de 300000 Kg de polímero por Kg de Ti, con lo que se obtienen rendimientos de polímero del orden de 5000-7000 Kg/Kg de catalizador sólido. Además, el polímero producido con este catalizador contiene 94-95% de material estereoespecífico (insoluble en heptano), por lo que la remoción de los residuos de catalizador como polímero atáctico ya no es necesaria.

El catalizador activo en el polímero es contactado con vapores desactivantes en una mezcladora en seco continua; después de secar para eliminar monómero residual, se mezclan con el polvo de polímero antioxidantes, estabilizadores y otros aditivos (ayudantes de procesamiento) para que posteriormente el producto final sea extruido peletizado y empaquetado. En la figura 2.1 se presenta un diagrama de flujo simplificado del proceso CSTR de El Paso para homopolímero y copolímero al azar.



UNAM  
 Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza"  
 Tesis Profesional  
 Figura 2.1  
 Proceso CSST simplificado de el Pazo Chemical

### 2.3.2 TECNOLOGÍA DEL PROCESO SPHERIPOL DE HIMONT (MONTELL)

En el proceso Spheripol la homopolimerización y la copolimerización al azar toman lugar en propileno líquido dentro de un reactor tubular de circuito cerrado (1). Los reactantes líquidos son circulados mediante una bomba en línea axial en la base del circuito. La remoción del residuo de catalizador y el polímero amorfo no es requerida y la sección de granulación tampoco es necesaria.

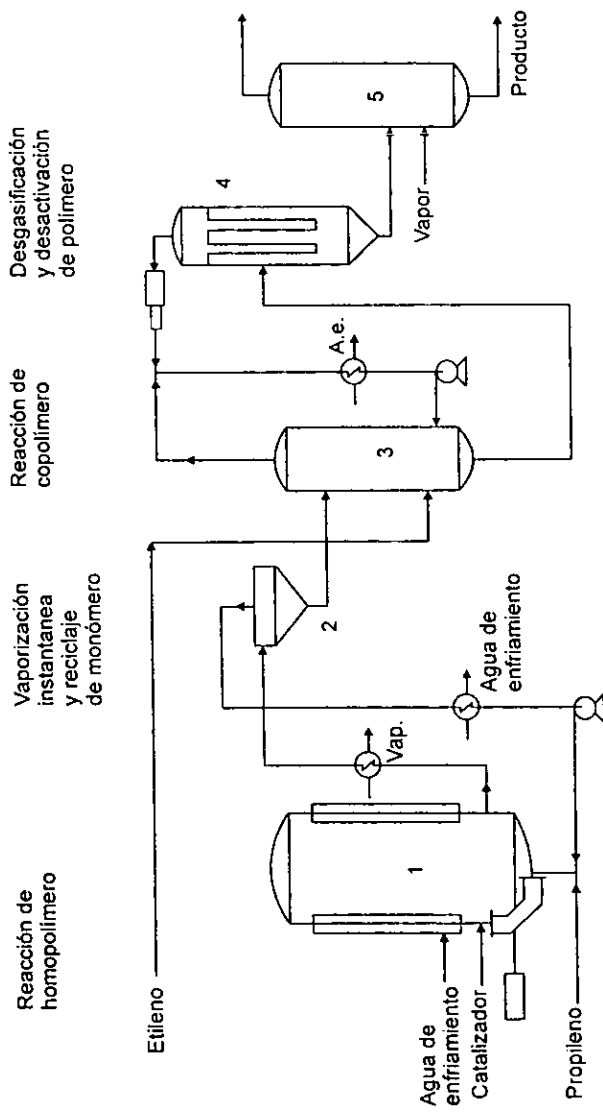
El producto es recuperado desviando una porción de los reactantes (una mezcla 50:50 de propileno y PP) a un tanque flash que opera de 15.3-20.4 Kg/cm<sup>2</sup>. El propileno que no reaccionó en el reactor es separado (flasheado) en un sistema de presión de dos etapas, condensado en un intercambiador de calor enfriado por agua, no por recompresión y reciclado sin tratamiento de regreso a la reacción lo que minimiza el consumo de energía.

Las temperaturas del proceso son mantenidas en  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  por control cercano de una chaqueta enfriada por agua. El producto resultante es verdaderamente uniforme porque las condiciones de flujo líquido altamente turbulentas en el reactor dan una mezcla de reacción muy homogénea.

El proceso puede usar propileno de menor pureza como el grado químico (95%) en lugar del usual grado polímero (99.5%).

Se obtienen rendimientos de polímero de 30000 Kg/Kg de catalizador soportado o más. El polímero tiene un índice isotáctico de 90 a 99% y una distribución controlada de tamaño de partícula. Se usan dos diferentes catalizadores para producir partículas de polímero pequeñas (0.3 mm) o grandes (hasta 5 mm) con propiedades morfológicas idénticas.

Para hacer copolímeros de impacto Himont fluidiza producto de homopolímero en el reactor en fase (3) cerca de 15 Kg/cm<sup>2</sup> y 60 a 90°C. El catalizador en el homopolímero hace que reaccionen etileno y propileno a hule; como el hule está dispersado en forma equitativa en el producto, lo pegajoso de la partícula y el ensuciamiento del reactor son minimizados. A continuación en la figura 2.2 se muestra un diagrama del Proceso Spheripol de Himont.



UNAM  
 Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza"  
 Tesis Profesional  
 Figura 2.2  
 Proceso Spheropol de Himont



### 2.3.3 TECNOLOGÍA U.C.C/SHELL (PROCESO UNIPOL PP)

El proceso puede usar propileno grado químico, refinería o polímero. La purificación de monómero (limitada) se necesita para la eliminación de trazas de impurezas que son detrimentes a la actividad del catalizador; esta se realiza mediante procedimientos comerciales ya establecidos como secadores de tamiz molecular.

El propileno, catalizador (mezcla de  $TiCl_3$  y  $MgCl_2$  promovido por  $SbCl_5$ ) y otros reactantes como catalizador (triethyl Al), hidrógeno y comonómeros son continuamente alimentados a un sistema de reacción que consiste de un reactor y un intercambiador de calor. El propileno es polimerizado en un reactor de lecho fluidizado que contiene un lecho de PP granular (alrededor de 0.025 pulg.) y una pequeña cantidad de catalizador de muy alta actividad. El catalizador y el cocatalizador son inyectados en un número de puntos a lo largo del reactor como sólidos contenidos en una corriente de nitrógeno. Las condiciones de reacción son  $70^\circ C$  y  $21 \text{ Kg/cm}^2$ .

Los reactantes gaseosos fluyen a través del reactor dando agitación y absorbiendo el calor de reacción. La fluidización se realiza por medio de un soplador que circula el gas y provee mezclado para asegurar una distribución uniforme de los componentes del polímero y catalizador a través del lecho; el calor de reacción es removido como el calor sensible del gas fluidizante por medio de un enfriador externo en el sistema de circulación de gas.

Después de pasar a través del lecho fluido, el gas se mueve en forma ascendente a través de la sección más alta y ensanchada del reactor, la cual está diseñada para liberar partículas finas. El gas entonces fluye al intercambiador de calor de tubo y coraza de un solo paso, donde es enfriado y luego recirculado al reactor.

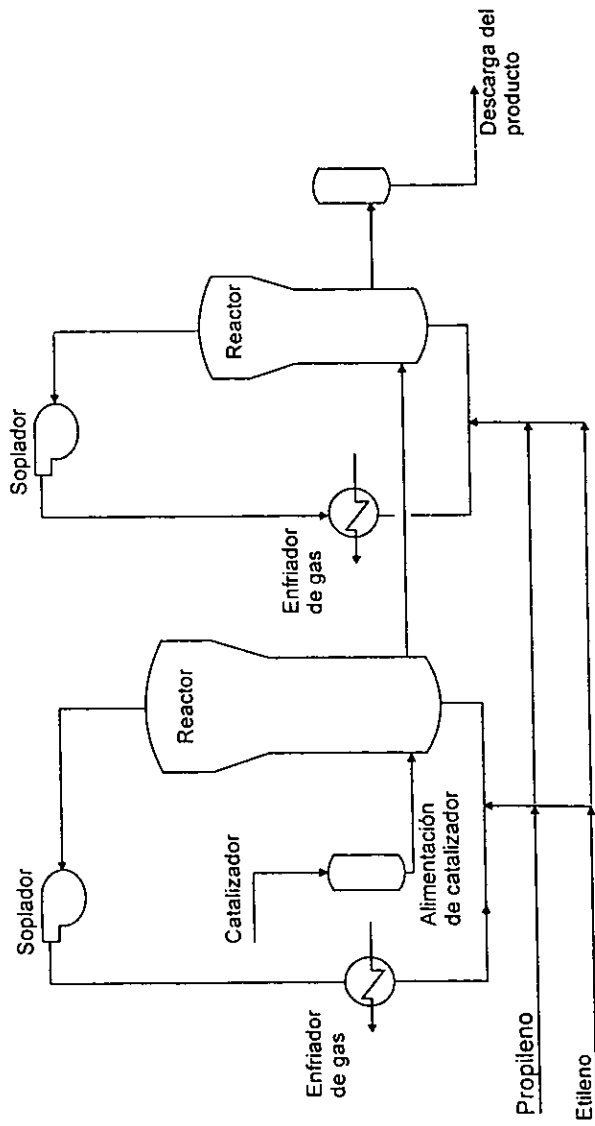
El soplador es un diseño de cabeza baja, pues solo necesita superar la caída de presión a través del reactor e intercambiador de calor y solo circula la mínima cantidad de gas requerida para mantener el lecho fluidizado y bien mezclado. Puesto que el gas no es corrosivo, el reactor y el intercambiador de calor son construidos con acero al carbón.

El producto es transferido del reactor a un sistema de descarga donde el gas de monómero que no reaccionó es separado del producto y reciclado al reactor. El producto es entonces transferido a un depósito de desgasificación de resina donde es purgado para remover cualquier hidrocarburo residual disuelto antes de granularse. La resina granular de libre flujo se alimenta por gravedad desde el depósito hasta las instalaciones de peletización. El producto es purgado de monómero y granulado sin remoción de catalizador y polímero atáctico (3%).

Para fabricar copolímeros de impacto dentro del reactor, el producto granular del primer reactor fluye por diferencia de presión a un segundo reactor de lecho fluidizado más pequeño unido en serie con el primer reactor. La resina de homopolímero hecha en el primer reactor, conteniendo todavía catalizador activo, continúa reaccionando con la mezcla de olefina para producir la fase de hule etileno-propileno del copolímero de impacto. Las condiciones típicas del segundo reactor son  $60^\circ C$  y  $14 \text{ Kg/cm}^2$ . El calor de reacción es removido de la misma manera que en el primer reactor. Este reactor se alimenta tanto de propileno como etileno (u otra  $\alpha$ -olefina).

El producto es recuperado en operaciones similares a aquellas usadas para homopolimeros, purgado de monómeros y peletizado sin remoción de catalizador y polímero atáctico (3% del producto).

La figura 2.3 muestra un diagrama de flujo simplificado del proceso Unipol PP para la fabricación de copolímeros de bloque etileno-propileno



**LINAM**  
 Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza"  
 Tesis Profesional  
**Figura 2.3**  
 Proceso Unipol PP de UC  
 para copolímeros de Bloque

### 2.3.4 TECNOLOGÍA BASF (PROCESO NOVELEN)

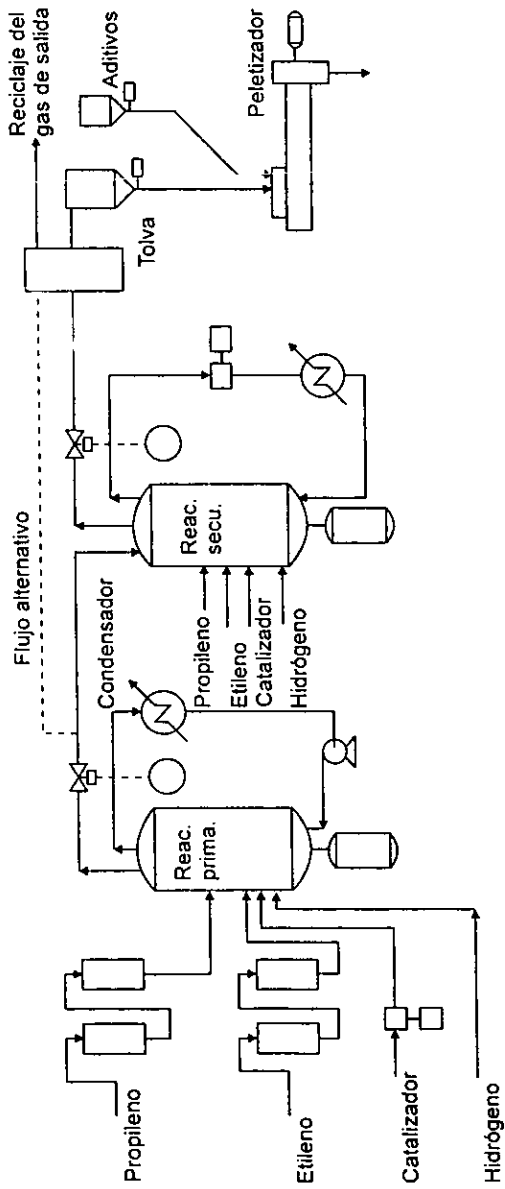
El proceso mostrado es una interpretación que hace el SRI basado en patentes de BASF. El homopolímero y copolímero al azar se fabrican en un reactor sencillo mientras que el copolímero impacto requiere dos reactores idénticos conectados en serie.

El propileno es polimerizado en un reactor de lecho agitado vertical. El catalizador es Ti-Mg soportado y el cocatalizador es cloruro de dietil Al y benzoato de etilo. El monómero en el catalizador se polimeriza a un polímero granular. El calor de reacción es removido evaporando propileno líquido dentro del reactor, condensando el propileno externamente y reciclando al reactor. El propileno líquido es inyectado en el fondo del lecho del polímero. El lecho de partículas es fluidizado por un agitador vertical helicoidal que agita el lecho de polímero para evitar sitios calientes y fusión. Las condiciones del reactor son típicamente 75°C y 28 Kg/cm<sup>2</sup>. El producto es 97% isotáctico. No se requiere remoción de catalizador y polímero atáctico. El producto granular va a desactivación de catalizador, extrusión, peletización y almacenaje.

Para la fabricación de copolímeros de bloque, el producto granular fluye por diferencia de presión a un segundo reactor agitado en serie donde se alimenta etileno. Las condiciones típicas del segundo reactor son 60°C y 16 Kg/cm<sup>2</sup>. No se requiere catalizador adicional pues el catalizador en polvo del primer reactor está todavía activo. El enfriamiento es provisto por autorefrigeración en la cual el gas del reactor es comprimido, enfriado y luego regulado mediante una válvula de estrangulamiento dentro del reactor. El producto es 90% isotáctico. No se requiere remoción de catalizador ni de polímero atáctico.

El producto granular va a desactivación de catalizador, extrusión, peletización y almacenaje.

A continuación en la figura 2.4 se presenta un diagrama de flujo simplificado del proceso Novelen de BASF.



**UNAM**  
 Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza"  
 Tesis Profesional  
**Figura 2.4**  
 Proceso BASF en fase gas

## 2.4 DESARROLLOS TECNOLÓGICOS <sup>2,12</sup>

### POLIPROPILENO ESPUMADO

Este material desarrollado por la compañía BASF, bajo el nombre comercial de *Neopolen*, posee cualidades especiales e idóneas en aplicaciones de piezas automotrices como las facias, donde el núcleo es de polipropileno espumado recubierto de otros grados de polipropileno.

Además el proceso de transformación desarrollado por BASF permite una distribución de densidades del espumado de acuerdo a la estructura de la pieza

### CATALIZADORES METALOCENICOS

Actualmente, con los desarrollos de catalizadores a base de metallocenos para la polimerización de olefinas, se han producido algunos polipropilenos de tipo isotáctico y sindiotáctico. Este último tiene la misma temperatura de transición vítrea que el isómero isotáctico, pero una temperatura de fundido de 28°C por debajo de la del isotáctico (117°C). Este menor punto de fusión se origina porque la cristalinidad del polipropileno sindiotáctico, es solamente del 39% contra 61% o más del polipropileno isotáctico.

Como resultado de su menor cristalinidad, el material posee el 50% de la rigidez y dureza comparado con el polipropileno convencional, pero ofrece mayor resistencia al impacto y una transparencia excepcional.

Uno de los desarrollos más importantes consiste en la posibilidad de mejorar el polipropileno isotáctico a través de catalizadores metallocénicos, con lo que se puede ampliar el rango de aplicaciones del polipropileno convencional.

En su aplicación de modificadores existe un atributo especial, basado en la tecnología metallocénica, al impartir mayor transparencia a las mezclas de polipropileno. La resistencia al impacto, más la transparencia no son alcanzables con los modificadores de impacto comunes como EPR o hules poliisobutileno.

La figura 2.5 es una gráfica que muestra cómo un plastómero poliolefínico de densidad 0.899 refuerza un polipropileno copolímero al azar (random) transparente, virtualmente sin aumentar la turbidez del material. <sup>2,5</sup>

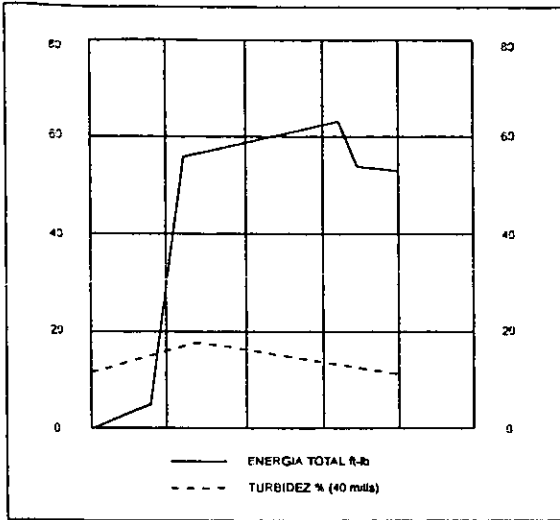


Fig. 2.5 Balance de impacto-transparencia de mezclas con PP random transparente

Debido a esta cualidad, se puede predecir un gran impacto de estos productos en las áreas de películas y empaques.

## CAPÍTULO III

### PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN

Las extremadamente buenas propiedades de flujo del polipropileno se combinan con su disponibilidad en un amplio rango de tasas de flujo y otras características únicas del polímero para proveer excelentes características de procesamiento. El polipropileno se puede transformar por los siguientes procesos:

- Extrusión
- Inyección
- Soplado
  - Extrusión-Soplo
  - Inyección-Soplo
- Termoformado
- Acabado
  - Sellado
  - Impresión y decorado

#### 3.1 ACONDICIONAMIENTO PREVIO

##### a) SECADO

El polipropileno no requiere secado previo, ya que el material absorbe menos del 0.02% de humedad en 24 hr de ser necesario el secado por estar manejando algún remolido o material contaminado, se aconseja que sea en un horno de charolas a 80°C durante 2-3 hr o en un desecador a 90°C en un tiempo de 1-5 hr.

##### b) REGRANULADO

Dependiendo de las condiciones de moldeo, el regranulado tiende a degradarse y disminuir sus propiedades físicas como rigidez, resistencia al impacto, resistencia a la tensión y enlogación, por lo que se recomienda utilizar un porcentaje de material virgen mezclado con regranulado, empezando con un 20% de regranulado y disminuirlo paulatinamente hasta llegar a la mezcla óptima para obtener un producto con buenas propiedades mecánicas.

##### c) ADITIVOS

El polipropileno, como los demás polímeros, necesita de aditivos para un fácil procesamiento y mejorar sus propiedades; de tal forma, se obtienen nuevas aplicaciones. Los aditivos que se utilizan para el polipropileno son:



## Lubricantes

Los lubricantes tienen como función disminuir considerablemente el esfuerzo del husillo para transportar y comprimir los pellets y disminuir la fricción de la masa fundida con la maquinaria

El tipo de lubricante que el polipropileno utiliza es el interno-externo como el estearato de zinc, ya que lubrica a nivel molecular y superficial. El lubricante se utiliza de 0.25% a 1.0%

Para la fabricación de película se utilizan como lubricantes externos el monoestearato de glicerol y los ésteres montánicos.

## Antioxidantes

La función de los antioxidantes es inhibir o retardar el mecanismo de oxidación-degradación térmica provocado por altas temperaturas de procesamiento que se encuentran entre 200 y 280°C, dando estabilidad al polímero. Actualmente compañías productoras formulan grados especiales, que ya están estabilizados y retardan la oxidación del polímero

Algunos antioxidantes que se utilizan para el polipropileno son

ANTIOXIDANTES PARA POLIPROPILENO	
ANTIOXIDANTE	% A UTILIZAR
BHT (Diterbutil-p-cresol) Tris (2,4 Diterbutil fenil) fosfito	0.05 - 0.25
DLTDP (Dilauril triodipropionato)	0.02 - 0.1
DSTDP (Diesteril triodipropionato)	0.02 - 0.1

El comportamiento del polipropileno después de degradarse es el siguiente.

- Aumenta la rigidez.
- Se decolora
- Su enlogación y la resistencia a la tensión disminuyen.
- La resistencia al impacto y a la flexión baja.

## Absorbedores de luz ultravioleta

El polipropileno, en comparación con las demás poliolefinas, es especialmente sensible a la radiación de luz ultra-violeta, por lo que son utilizados compuestos de níquel, benzotriazoles, benzofenonas y aminas en una cantidad de 0.05-0.3%. En México, debido a su posición geográfica, la radiación llega con un ángulo de incidencia tal que acelera la degradación y la pérdida de propiedades de un plástico mucho más que en otros países.

### Agentes nucleantes

Se utilizan para clarificar y mejorar las propiedades mecánicas, así como para reducir ciclos de moldeo para ayudar a la cristalización sin necesidad de enfriamientos rigurosos.

Dentro de la clarificación, los agentes nucleantes tienen el siguiente objetivo. Si originalmente el material cristalizaba en 4 puntos de su estructura y los cristales eran tan grandes que no dejaban pasar la luz, ahora con este aditivo forman 400 centros de cristalización, por lo que el tamaño de cristales originales se reduce 100 veces y dejan pasar la luz para convertirlo en un material transparente.

Los agentes nucleantes son utilizados principalmente en polipropileno polietileno de baja densidad lineal y en ciertos tipos de polietileno de alta densidad. Donde se aprovechan mejor sus cualidades es en los procesos de inyección, soplado y extrusión de película o lámina.

Los agentes clarificantes se clasifican en dos tipos.

- Inorgánicos
- Orgánicos

Clarificantes inorgánicos, como el talco, caolín, las silicas y otros no se funden durante el proceso y son más difíciles de distribuirse en la masa fundida, además de tener pobre actividad nucleante.

En cambio los agentes nucleantes orgánicos como los ácidos mono o policarboxílicos y algunos pigmentos como el azul y verde de ftalocianina, se pueden fundir durante el procesamiento y presentan gran facilidad para distribuirse en la resina siendo así más recomendables.

Esos aditivos se pulverizan hasta  $5\mu\text{m}$  en un molino de bolas y se mezclan con polipropileno en polvo en concentraciones de 0.5%.

La aplicación de los agentes nucleantes como:

- El bióxido de silicio.
- El bióxido de titanio.

es reciente, y son utilizados con frecuencia en la manufactura de artículos como botellas, películas y contenedores de alimentos, para incrementar las propiedades ópticas como el brillo, transparencia y sobre todo para disminuir la nebulosidad.

Los agentes nucleantes proporcionan los siguientes beneficios:

- Incrementa la transparencia.
- Mejoran el brillo y la suavidad superficial.
- Reducen los ciclos de moldeo.
- Aumentar algunas propiedades físicas.
- Incrementar la temperatura de deformación.
- No son tóxicos.
- Menor contracción de moldeo.

### Retardantes a la flama

Inhíben las características de flamabilidad de los plásticos. El aditivo que mas se utiliza en polipropileno son los compuestos bromados, en porcentajes de 3 a 15%. Sus principales características son:

- Liberan bromo gaseoso.
- Alta retardancia a la flama
- Variedad de grados de acuerdo a la temperatura de procesamiento
- Gases altamente tóxicos.
- Baja estabilidad a la luz.

### Modificadores de impacto

Aumentan la resistencia al impacto del polímero, ya que son compuestos químicos que proporcionan características de elasticidad que absorbe los golpes que recibe el producto. El polipropileno utiliza como modificador el hule EPDM con un porcentaje de 5 - 15%.

### Cargas y agentes reforzantes

Las cargas que se utilizan en polipropileno son las siguientes:

#### Talco

El talco imparte rigidez, incrementa la temperatura de deflexión bajo carga del polipropileno y aumenta su estabilidad dimensional. Tiene un costo relativamente bajo y ayuda a reducir costos en el producto, porque, como proporciona alta dureza se pueden fabricar piezas con espesores de pared delgados. La dureza que se obtiene al adicionar 40% en peso de talco es mayor que la que se obtiene con 30% en peso de fibra de vidrio corta.

Las desventajas de utilizar talco en polipropileno son: reduce la resistencia al impacto a bajas temperaturas, disminuye la resistencia a la tensión, al quiebre y se obtiene una superficie opaca en el producto.

#### Carbonato de calcio

El carbonato de calcio es comparado con el talco en el uso con polipropileno. Sin embargo se obtienen diferentes durezas de acuerdo a la cantidad que se adicione a este. El carbonato de calcio posee las siguientes ventajas sobre el talco:

- Mayor facilidad de dispersión.
- El flujo de la masa fundida es mayor.
- Buena estabilidad a los rayos UV.
- Mejor superficie de acabado del producto.
- Se puede utilizar en contacto con alimentos.
- Menor abrasión en equipo de procesamiento.

En inyección el uso de carbonato de calcio proporciona mayor dureza y estabilidad dimensional, reduciendo el tiempo de ciclo de moldeo, elevando su conductividad térmica. El polipropileno cargado con carbonato de calcio sustituye algunos productos de poliestireno y ABS.

#### **Fibra de vidrio**

La fibra de vidrio es un agente reforzante. En Estados Unidos el polipropileno reforzado con esta fibra es el más importante de todos los termoplásticos reforzados. Las principales ventajas de la fibra de vidrio son: incrementa la resistencia a la tensión sobre cualquier rango de temperatura y aumenta la rigidez. La fibra de vidrio se encuentra en presentación corta o larga.

La fibra corta se distingue porque imparte elevada tenacidad combinada con buena dureza. La fibra larga generalmente se usa como agente de acoplamiento, proporcionando resistencia a la tensión y dureza a elevadas temperaturas. En general el uso de agentes de acoplamiento mejora las propiedades mecánicas.

Las desventajas de fibra de vidrio como agente reforzante son: el efecto de orientación, reduce la resistencia al impacto, proporciona una superficie opaca a la pieza y aumenta la abrasión en el equipo de procesamiento.

#### **Estabilizadores al calor**

Los estabilizadores incrementan la vida de los materiales disminuyendo los efectos de degradación del medio ambiente, como oxidación, desarrollo bacteriano, calor y exposición solar.

La oxidación es una parte integral de todos los efectos del calor y la luz, por lo que, algunos estabilizadores térmicos funcionarían como un antioxidante secundario.

Los estabilizadores al calor son compuestos que retardan la descomposición de los plásticos sensibles al calor, deteniendo la degradación del material, por ejemplo existen plásticos que son muy sensibles al ozono, el cual origina el rompimiento de las moléculas produciendo enlaces dienicos.

Fuente: 2,10,15

## 3.2 EXTRUSIÓN

### 3.2.1 DEFINICIÓN <sup>2,12</sup>

Es un proceso continuo en donde el polímero en forma de pellets se alimenta y funde por la acción de presión y temperatura, forzándose a pasar a través de un dado el cual le proporciona la forma final. En la figura No. 3.1 se puede observar el esquema de una máquina de extrusión:

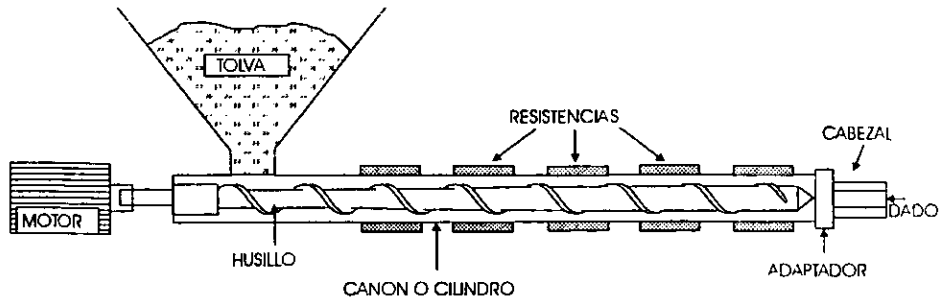


Fig.3.1 Esquema de una máquina de extrusión.

En éste proceso se alimentan los granulos (pellets) a la tolva, de donde pasan a la cavidad del cañón de la extrusora. Este cañón posee a su alrededor resistencias que calientan al material y en su interior un husillo que girará para plastificar al material, comprimirlo y forzarlo a transportarse a lo largo del cañón.

Al final del cañón existe un adaptador, en el que se colocan mallas para aumentar la presión del material, homogeneizarlo y filtrar cualquier impureza que hubiera llegado a esta parte del proceso. Alineado al adaptador existe el dado que será la parte de la maquinaria que le proporcionará la forma final al material.

De acuerdo a lo anterior y siguiendo el proceso descrito se deben de controlar las siguientes variables de operación:

- Velocidad del husillo
- Temperatura del cañón.
- Presión en cabezal.
- Potencia del motor.

### 3.2.2 PARTES IMPORTANTES DEL EQUIPO DE EXTRUSIÓN

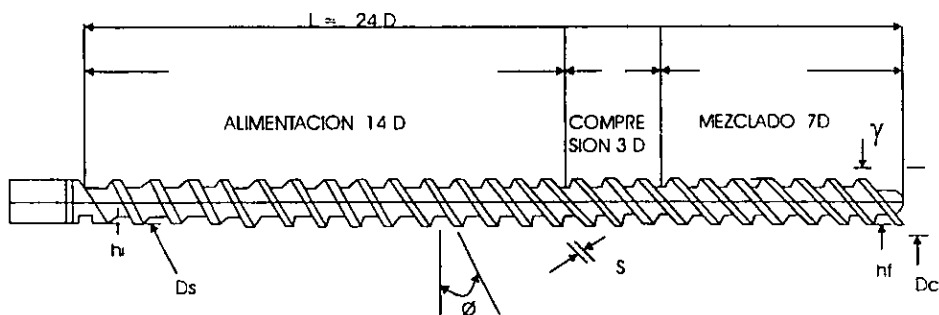
Las partes más importantes del equipo de extrusión son:

- a) Husillo.
- b) Dado.

El primero porque de acuerdo a sus características será el material que se pueda trabajar, ya que cada polímero requiere de diferentes esfuerzos para su plastificación. De hecho cada husillo se diseña para trabajar a un material en particular y es difícil que en un solo husillo pueda trabajar con diferentes materiales. Por otro lado, el segundo es el que define la forma final a obtener

#### a) Husillo

Las principales características del husillo son:



$D_c$  = Diámetro del cilindro

$D_s$  = Diámetro del husillo

$L$  = Longitud del husillo

$\varnothing$  = Ángulo de hélice

$S$  = Ancho de filete

$h_i$  = Altura de la primera cuerda

$h_f$  = Altura de la última cuerda

$\gamma$  = Claro entre el cilindro y el husillo.

Fig.3.2 Principales partes del husillo

Estas características dan lugar a relaciones y proporciones que definen todas las cualidades del husillo.

**Relación L/D.** Es la proporción de cuantas veces cabe el diámetro en la longitud del husillo, coincidiendo en algunas ocasiones con el número de cuerdas o filetes.

Actualmente las L/D más comunes son de 20:1, 24:1, 30:1 y 36:1, cubriendo la mayor parte del mercado las dos primeras.

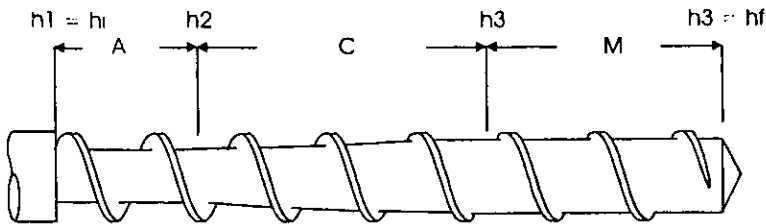
Los diámetros más comunes son de 30, 45, 50, 60, 75, 120 y 150 mm. Se considera la longitud del husillo de la primera cuerda hasta la punta del husillo y al aumentar esta longitud se obtiene un mayor rendimiento.

La ventaja de L/D grandes es que se logra una mayor plastificación y un excelente mezclado, además de tener un mejor control de temperaturas.

**Relación de compresión.** Es la proporción de cuantas veces cabe la altura de la primera cuerda en la altura de la última cuerda. Debido a que el husillo no presenta paredes paralelas sino que estas inician una inclinación hacia la punta del husillo por lo que van dejando un menor espacio entre el husillo y el cañón; de tal forma que al principio se comprime el material para fundirlo y al final se deja un menor espacio para dejar paso al material plastificado

Los R.C. más comunes son: 3:1 y 3.5:1

**Zonas de los husillos.** Los husillos se dividen en 3 zonas, de acuerdo a la variación de la profundidad del filete, es decir la primera cuerda presenta una  $h1 = h_i$  y permanece aproximadamente constante hasta una  $h2$  donde cambia y que permanece constante hasta llegar a la siguiente zona donde cambia a una  $h3$  que es igual a la  $h_f$ . En la figura 3.3 se muestra las zonas de un husillo:



A = ZONA DE ALIMENTACIÓN

C = ZONA DE COMPRESIÓN

M = ZONA DE MEZCLADO

Fig.3.3. Zonas del husillo.

Estas 3 zonas son:

- 1) Alimentación.
- 2) Compresión ó transición.
- 3) Mezclado ó descarga.

**Alimentación.** Su función es tomar el material en forma de pellets, transportarlo, comprimirlo y alimentarlo a la zona de compresión.

**Compresión ó transición.** Es así llamada porque aquí se efectúa la transición del polímero de su estado sólido a un estado viscoelástico. De ésta forma el material logra estar lo suficientemente viscoso y deformable para que se mezcle homogéneamente y se transporte a la zona de mezclado libre de puntos no fundidos.

**Mezclado ó Descarga.** Esta zona mantiene el estado viscoelástico del material y termina de homogenizarlo para enviarlo al dado dosificado y a una presión constante

Aunque cada husillo presenta características definidas, las dimensiones mas comunes son

Relación L/D = 20:1 - 30:1

Zona de alimentación = 4D - 8D

Zona de compresión = 5D - 8D

Zona de mezclado - 6D - 10D

Relación de compresión = 3:1

$h_i = 0.10D - 0.15D$

$h_f = 0.30D - 0.45D$

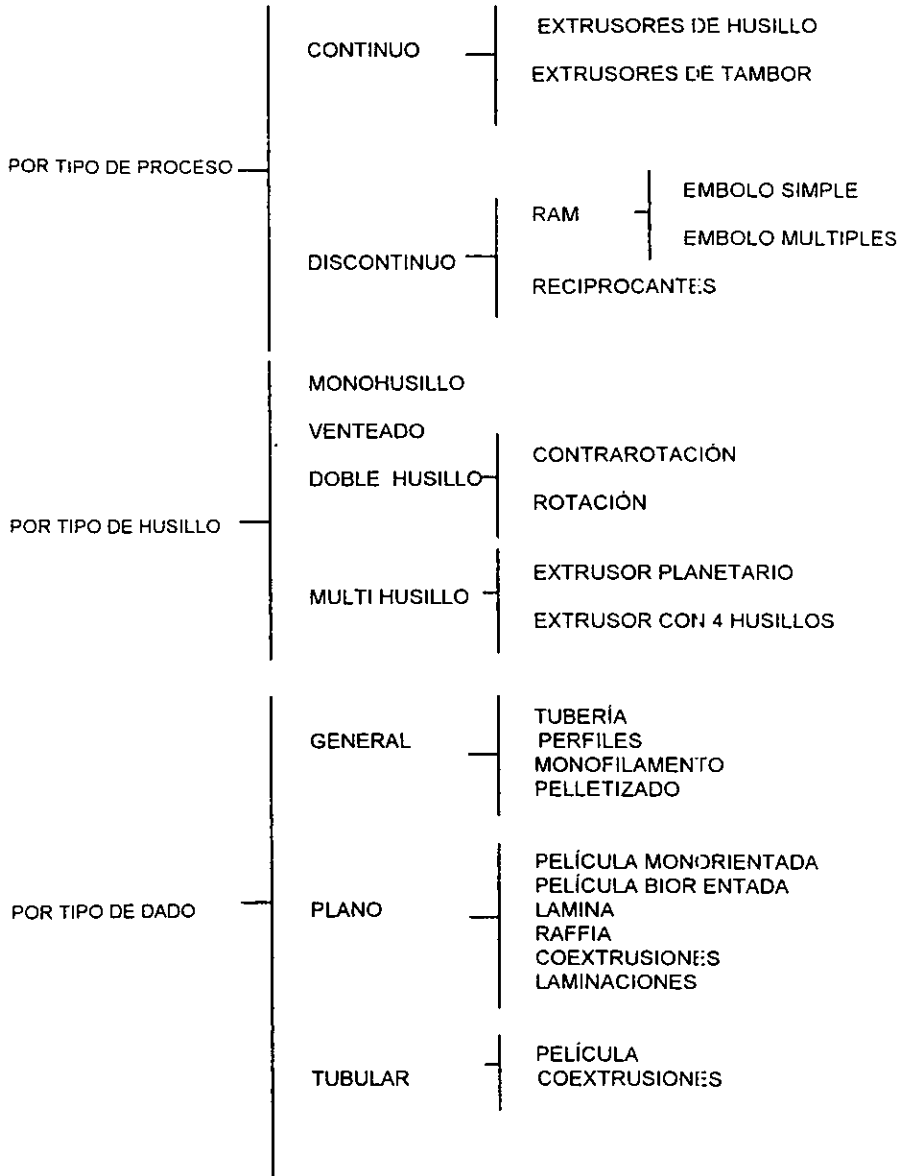
Ancho de cuerda = 0.1D

ángulo de hélice = 17.6



3.2.3 CLASIFICACIÓN DE EXTRUSORES

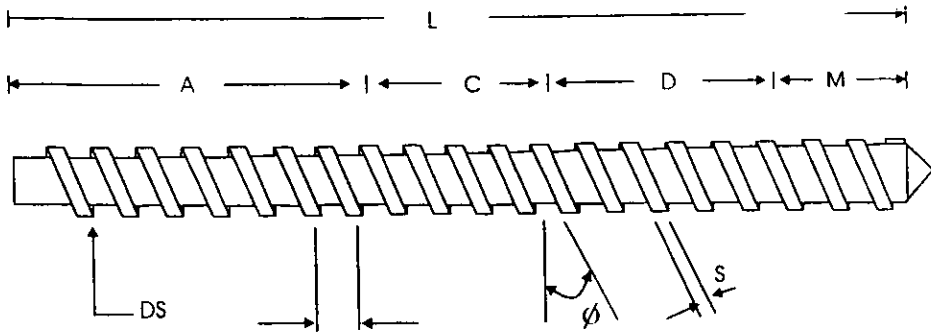
Las máquinas de extrusión se clasifican en la siguiente forma.



### 3.2.4 PROCESO DE EXTRUSIÓN PARA EL POLIPROPILENO

#### Husillo

Debido a que el material es muy sensible a las condiciones de flujo, amasado y temperatura durante su procesamiento, se recomienda utilizar un husillo de 4 zonas como se muestra a continuación:



$$L/D = 29:1$$

$$A = \text{Alimentación} = 13D$$

$$C = \text{Compresión} = 7D$$

$$D = \text{Dosificación} = 6D$$

$$M = \text{Mezclado} = 3D$$

Fig.3.4. Características del husillo para el polipropileno.

En el caso de utilizar mallas en el plato rompedor, deben ser juegos de 200-1600-200 mesh/cm<sup>2</sup> o de 400-2400-400 mesh/cm<sup>2</sup>.

El diseño y mantenimiento de este husillo es importante ya que de esto depende la calidad del producto final.

#### Dado

Para calcular las dimensiones, se debe de tomar en cuenta el encogimiento del material, el hinchamiento que sufre al salir del dado y el jalado a que se somete para regular sus espesores.

Dentro de la extrusión del polipropileno, el dado toma un lugar importante ya que de acuerdo a su forma se pueden obtener varios productos ya sean acabados o semiacabados. Se les llama semiacabados porque necesitan de un proceso posterior para tener la pieza terminada.

## EQUIPO PERIFÉRICO

Para transformar al polipropileno por el método de extrusión se clasifica según el tipo de producto que se obtiene, los cuales se describen a continuación

### Tubos

Para la extrusión de tubos se utilizan grados de polipropileno de bajo índice de fluidez, conteniendo estabilizadores al calor y aditivos de acuerdo al uso del producto

Las condiciones de operación son: estabilizar la zona de alimentación en 180°C. incrementar gradualmente hasta llegar a un rango de 220 a 240°C en la zona de mallas. A partir de este punto, se debe reducir la temperatura aproximadamente 60°C. con la finalidad de evitar que el polímero muy caliente se adhiera al cabezal.

### Película tubular

En el caso de extrusión para elaborar película, se recomienda usar un dado de tipo rosca o araña, con aberturas de 0.8 hasta 1.4 mm.

Dentro de la transformación del polipropileno, la extrusión tubular es el proceso más difícil de controlar y el que más diferencias presenta con respecto a los otros materiales. Esto se debe a que en lugar de generar una burbuja de abajo hacia arriba, la burbuja se produce de arriba hacia abajo.

Tal situación se efectúa para poder tener al final de la burbuja un baño de agua fría y lograr mayor claridad en el material, brillo y transparencia. Debido a su viscosidad y cristalinidad, el polipropileno presenta temperaturas de material fundido entre 210 y 250°C, como estas elevadas temperaturas pueden oxidar al polipropileno, este debe ser enfriado rápidamente, además de que al presentarse un choque térmico, la estabilización del material se congela y por ello obtiene su transparencia.

Es muy difícil controlar la elevación de temperatura para después hacerla caer y enfriar el material, por lo que se han desarrollado diferentes procesos como son:

### Apagado tubular de shell

Donde después de ser soplada la película se hace pasar a una tina de agua fría, como se muestra en la siguiente figura 3.5.

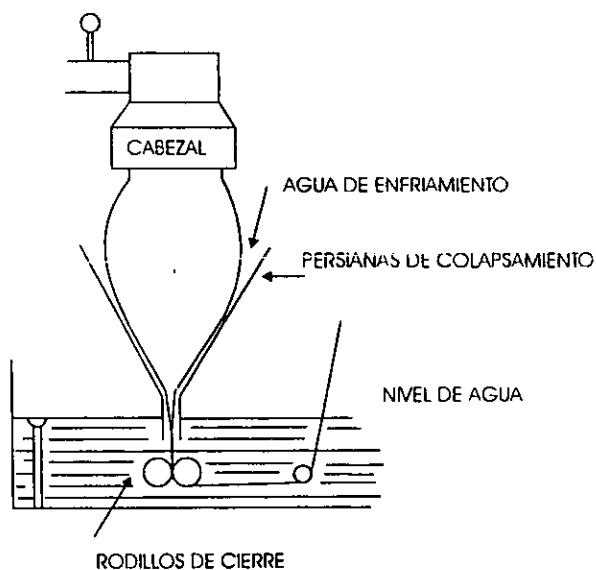


Fig 3.5 Apagado tubular de shell.

### Proceso Dow - Taga

Donde la tina de agua fría se sustituye por un baño de agua que se auxilia con anillos enfriados para lograr el mismo efecto. Como se muestra en la figura 3.6

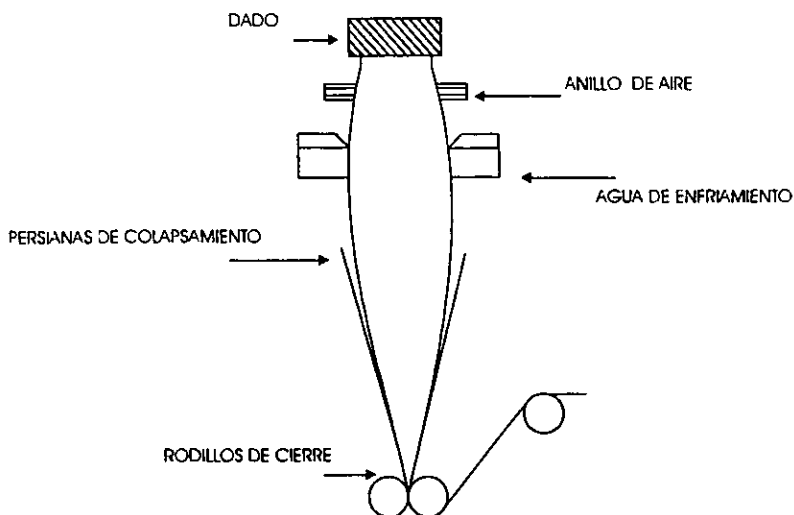


Fig.3.6 Proceso Dow-taga.

Por este medio se logra la película orientada donde la velocidad de jalado es mayor a la velocidad de producción ó salida del material, siendo la causante de un estirado de la película por lo que sus moléculas se orientaran en un sentido y presentarán excelentes propiedades de resistencia a la tensión en forma longitudinal. Este tipo de película logra espesores de 0.02 a 0.08 mm.

La película de polipropileno orientada y con un recubrimiento de fundido en caliente (hot melt), es utilizada para empaque "overwrap" ó de sobre - envoltura con tira que se desgarra para fácil apertura.

Este tipo de empaque presenta menor resistencia a la tensión, gran facilidad de propagación de fractura, además de presentar resistencia a la temperatura entre -40 y 130°C.

### PELÍCULA CAST

Cuando el dado circular se cambia por un dado plano, donde la abertura del mismo en conjunto con una velocidad de jalado proporcionará el estiramiento y con ello el calibre de la misma se dice que se obtiene una película CAST, que normalmente alcanza espesores de 500 micrones  $\pm$  1 - 5 micrones.

Esta denominación es debido a que la hoja ó película de material cae entre 2 rodillos enfriadores, los cuales la estabilizan y como están pulidos al grado espejo le confieren propiedades de brillo y buen acabado a la misma. Esta película al igual que el caso anterior recibe un estirado longitudinal, pero presenta la ventaja que al correr como una sola hoja se puede sujetar por sus extremos transversales, volvería a calentar y darle un estiramiento transversal. Como el estirado se está haciendo en los 2 sentidos de la película se dice que es una película biorientada.

### RAFFIA

La raffia se obtiene de la película cast. Esta película se corta en tiras y se estira en sentido de la dirección máquina, hasta un poco antes de su máxima elongación. Las tiras que se obtienen posteriormente se tuerce para fabricar hilos que al tejerlos dan lugar a los costales.

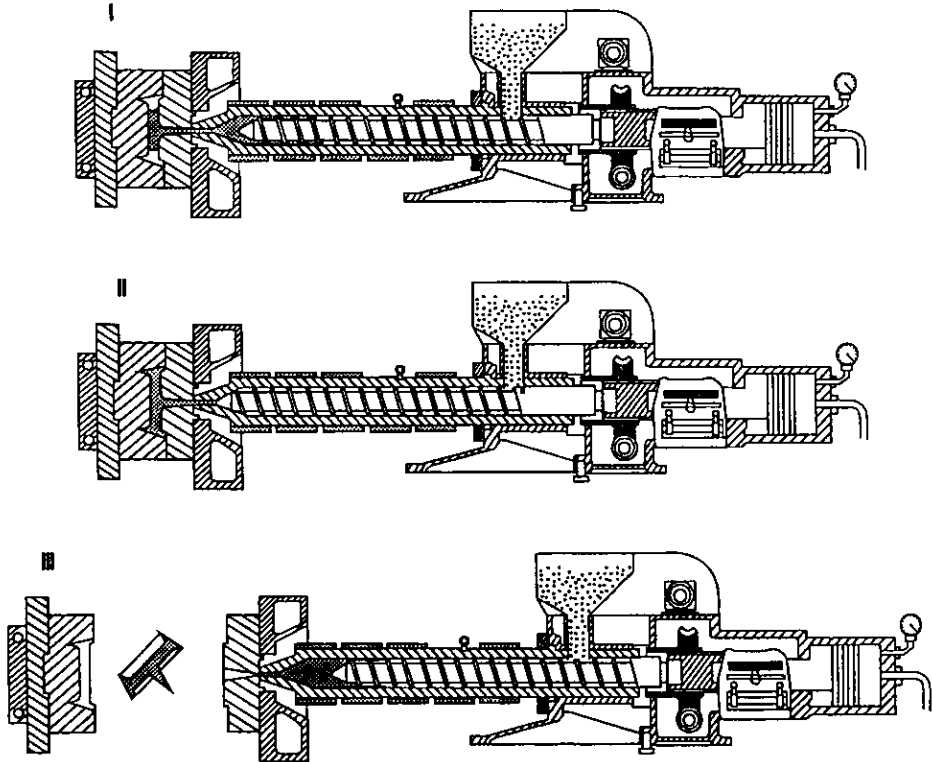
Algunos desarrollos interesantes se han dado en la tecnología de la rafia como los recientes costales con un recubrimiento de polipropileno. Estos costales son fabricados de la misma forma que los costales de rafia común, pero tienen un recubrimiento de polipropileno sobre toda la superficie exterior del saco.

Estos costales se utilizan para envasar sal, azúcar, productos industriales, detergentes, petroquímicos y alimentos. Debido a los grandes consumos de este producto ha crecido su mercado.

### 3.3 INYECCIÓN <sup>2</sup>

#### 3.3.1 DEFINICIÓN

Es un proceso discontinuo, donde se alimenta el material en forma de granulos (pellets) a una toiva, para que posteriormente se comprima y plastifique por medio de presión, temperatura y un tornillo sinfin, conduciendose el material a un molde con la ayuda del husillo ó un pistón. En este molde adquiere la forma definitiva el material al solidificarse mediante enfriamiento. En la figura 3.7 se puede observar el proceso de inyección:



Esquema de trabajo de una máquina de inyección con husillo desplazable axialmente:

I. inyección; II. maduración y refrigeración; III. plastificación de la siguiente porción del material, apertura del molde y expulsión de la pieza.

Fig. 3.7 Proceso de Inyección.

Este proceso también sigue el principio básico de la extrusión para la plastificación del material, por lo que todo lo anteriormente explicado sobre la L/D. R.C. y forma de alimentación es aplicable a la inyección con la diferencia que en este caso solo se utilizarán máquinas con husillo recíprocante debido a que es un proceso discontinuo.

Por lo anterior y siguiendo los cuidados de la extrusión, las variables a controlar serán:

- Velocidad del husillo.
- Temperatura del cañón.
- Potencia del motor.
- Temperatura del molde.
- Presión de inyección.
- Presión de cierre.

### 3.3.2 PARTES IMPORTANTES DEL EQUIPO DE INYECCIÓN

Algunas partes de una máquina de inyección son:

- a) Husillo.
- b) Boquilla.
- c) Orificio de boquilla.
- d) Sistema de cierre.

#### a) Husillo

Que debe cubrir todas las características mencionadas en la sección de extrusión, de acuerdo al material a procesar.

#### b) Boquilla

En este caso existen de 2 tipos:

- Convexa.
- Plana.

- Convexa. Se refiere al tipo de boquilla que posee una curvatura que se acopla al canal del bebedero de tal manera que facilite la inyección.

- Plana. Este tipo de boquilla se utiliza cuando no existe bebedero en el molde por lo que la inyección es directa.

#### c) Orificio de boquilla

También existen varios tipos de orificios de acuerdo al material a procesar .

- Cónico.
- Cilíndrico.

- Cónico combinado
- Con antecámara

d) Sistema de cierre

Esto se puede realizar mediante 2 formas:

- Por rodillera.
- Por pistón

### 3.3.3 CLASIFICACIÓN DE INYECTORES

El proceso de inyección se clasifica de acuerdo al husillo en

- a) Simple husillo.
- b) Doble husillo.
- c) Coinyecciones.

### 3.3.4 PROCESO DE INYECCIÓN PARA EL POLIPROPILENO

Por inyección se obtienen contenedores, cajas y todo tipo de tapas, con la ventaja de presentar mejores propiedades de barrera que un polietileno, además de resistencia a grasas, vinagres y algunos solventes. También se fabrican piezas automotrices que presentan gran resistencia al calor continuo y artículos electrodomésticos con buena resistencia al impacto.

#### a) Características de maquinaria

##### - Husillo

Se recomienda un husillo de  $L/D = 20:1$  y paso constante de  $1D$ , la zona de alimentación debe corresponder al  $0.5L$ , la de compresión a  $0.3L$  y la de dosificación a  $0.2L$ , con una relación de compresión de  $2:1$ . En la figura No. 3.8 se pueden observar las partes del husillo.

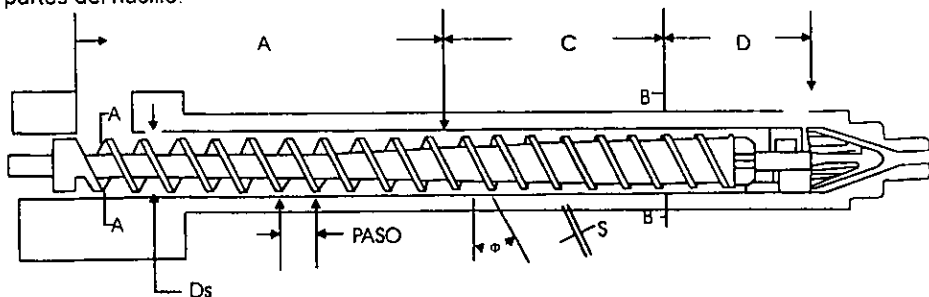


Fig.3.8 Husillo de Inyección para polipropileno.



Como el polipropileno se puede ver afectado por la presencia de cobre o aleaciones de éste, se recomienda que el husillo y cilindro posean un baño de cromo ó níquel.

**- Punta de Husillo**

Se recomienda que presente un ángulo de 60° y que sea lisa. En algunas ocasiones se puede emplear con válvula check, sobre todo cuando el tiempo de husillo adelantado es muy largo para evitar el regreso del material al cañón. Algunas veces aun cuando el tiempo de husillo adelantado es largo no es necesario esta válvula a menos que se manejen presiones de sostenimiento altas. Los mejores resultados se han logrado con puntas de husillo con resorte y operadas hidráulicamente.

Cuando se trabaja con polipropileno espumado se puede usar una válvula en la boquilla para evitar que el material regrese y espume dentro del cañón.

**- Colchón**

Se recomienda sea de 3 - 9 mm para evitar golpes innecesarios en la boquilla.

**- Tiro**

Se aconseja emplear el 85% de la capacidad de la máquina para controlar correctamente el tiempo de residencia del material.

**b) Moldeo**

**Secado.-** No se recomienda ya que el material absorbe menos del 0.02% de humedad en menos de 24 hrs. De ser necesario el secado, por estar manejando algún remolido ó material contaminado se aconseja que sea en un horno de charola a 80°C durante 2-3 hrs. ó en un desecador a 90°C durante 1-1 1/5 hr.

**Perfil de Temperaturas.** Para lograr un buen moldeo se recomiendan perfiles de temperatura diferentes de acuerdo al grado de material que se este trabajando para lograr una temperatura de material fundido de 170 - 230°C cuidando de no sobrepasar el límite máximo ya que esto puede conducir a la oxidación y por lo tanto a la degradación del material.

Este rango depende del índice de fluidez del materia y si se trata de un compuesto modificado o no.

TEMPERATURAS DE PROCESO DE ACUERDO AL ÍNDICE DE FLUIDEZ	
ÍNDICE DE FLUIDEZ g/10 min	TEMPERATURA FUSIÓN °C
4.5	190-230
9.0	185-225
18-30	180-220
50-70	170-210
Con talco	190-230
Con carbonato de calcio	190-230

Además es necesario controlar el tiempo de residencia en el cilindro para evitar que por manejar tiempos largos se degrade el polímero. Para tiempos máximos de residencia de 6 minutos, el límite superior de temperatura es de 220°C y para límites máximos de 3 minutos el valor puede llegar a 230°C.

Para alcanzar esta temperatura en el material fundido se puede manejar el siguiente perfil de temperatura:

CONDICIONES DE MOLDEO	PERFIL DE TEMPERATURA DE ACUERDO A ESPESORES		
	ESPESOR DE LA PIEZA(mm)		
	1.6	3.2	6.4
Temperaturas (°C)			
Zona de alimentación	190-215	190-205	190-205
Zona de compresión	200-230	190-215	190-215
Zona de dosificación	215-250	200-230	200-215
Boquilla	190-215	190-215	190-215
Molde	10-30	10-30	10-30
Masa fundida (Melt)	200-250	200-230	190-215
Tiempo (seg)			
Sostenimiento	5-10	10-15	15-20
Ciclo total	15-25	25-35	35-60
Presión (kg/cm <sup>2</sup> )			
Inyección	1200	1200	1200
Contra-presión	50%	50%	50%
Contracción de moldeo (%)	1-2	1-2	1-2

Presión de inyección. Se maneja en la primera etapa 100 kg/cm<sup>2</sup> y en la segunda 40 kg/cm<sup>2</sup>. En ocasiones se manejan presiones altas para evitar cavitación ó excesivo encogimiento, donde un encogimiento normal es de 1.8-2.5 %.

El 85% del valor de este encogimiento toma lugar las primeras 24 horas, el 98% en la primera semana y se alcanza el 100% en los primeros 3 meses. Si se desea alcanzar el máximo encogimiento en forma inmediata se puede colocar la pieza en agua hirviendo durante 1 hora.

A pesar de ello siempre se debe de cuidar que la contracción en el moldeo sea mínima, ya que mientras esta sea menor la resistencia a la flexión y rigidez aumentaran.

Velocidad de inyección.- Para minimizar los esfuerzos internos y la distorsión se recomienda trabajar con la velocidad de inyección rápida, aunque en algunos casos no es posible debido a que se presenta cavitación.

También al manejar velocidades altas en ocasiones las piezas presentan zonas brillantes y opacas, por lo cual en estos caso se manejan velocidades bajas y temperaturas de molde altas.

Cuando el llenado del molde se hace a bajas velocidades, el primer material que entra se enfría por lo que se tienen problemas de laminación, alabeo y piezas incompletas, haciendose más marcado el problema en piezas de sección delgada.

Este problema se acentúa con el polipropileno porque presenta una temperatura de cristalización alta por lo que la pieza solidifica más rápidamente.

**Presión de sostenimiento.** Se manejan valores nominales de 5 - 9 kg/cm<sup>2</sup> sólo para alcanzar consistencia en peso en los disparos, aplicando esta presión un 25 - 40% del tiempo total del ciclo. Este tiempo depende del tamaño y espesor de la pieza a moldear.

**Velocidad del husillo.** Se recomienda se manejen entre 50 y 150 RPM para lograr la suficiente fricción para fundir el material sin llegar a degradarlo.

**Fuerza de cierre.** Depende del tamaño de la pieza, espesor y área proyectada. Se recomiendan entre 2 - 7 ton/pulg<sup>2</sup> y varía de acuerdo al espesor del producto, ya que para piezas de secciones delgadas se requieren presiones y velocidades de inyección mayores por lo que la fuerza de cierre debe ser mayor.

### c) Empleo de regranulado

Cuando se emplea combinado con material virgen se recomienda mezclarlo en un 15%, pero en algunos casos se trabaja con 100% de material recuperado. Si el polímero se ha reprocesado varias veces comienza a dar muestras de degradación como son fragilidad en la pieza moldeada, excesivo índice de fluidez y marcas de partes quemadas.

## 3.4 TERMOFORMADO

Este proceso de transformación se utiliza para la fabricación de piezas que son de gran superficie ó que deben de ser de paredes delgadas.

No todos los materiales son aptos para el termoformado ya que requieren de las siguientes características:

- Memoria plástica.
- Elongación con el calor.
- Resistencia al calor.
- Rango de temperatura de formado.

Estas características favorecen el calentamiento y enfriamiento rápido así como una buena distribución de calor, por lo que para este proceso se utilizan Polietileno, poliestireno, polipropileno, policloruro de vinilo, ABS y PMMA principalmente, aunque pueden ser utilizados otros materiales termoplásticos.

El proceso consiste en reblandecer por la acción de calor una lámina termoplástica, adaptarla a un molde y mediante presión de aire, vacío ó un contramolde darle la forma deseada.

Los principales pasos del proceso son:

1. Engrapado.
2. Calentamiento.
3. Formato.
4. Enfriamiento.
5. Desmoldeo.

Después de que el polipropileno se procesa para obtener láminas de 0.5 a 2 mm de espesor, son alimentadas a la unidad de calentamiento infrarrojo hasta lograr una temperatura uniforme de 150-160°C.

La lámina así caliente se sujeta por mordazas donde por medio de un pistón la lámina se empujará a la cavidad del molde, entrando aire a la cámara para su enfriamiento.

La pieza así formada se sacará y recortará para obtener el artículo final. De esta forma los contenedores presentan excelentes propiedades de barrera superando a los elaborados con poliestireno de alto impacto, PVC ó ABS.

También existe otra forma de termoformar el material y que se utiliza para fabricar recipientes profundos a partir de láminas delgadas de material.

Este proceso consiste en calentar la lámina abajo del punto de cristalización del material y en ese momento estirarla para lograr el artículo.

En este proceso existe un molde que cierra como en el método de soplado, con la diferencia de que la boca del recipiente es más ancha que el de una botella llegando a ser desde 6 cm hasta 30 cm. ó más.

Con el molde así cerrado se alimenta la lámina la cual es reblandecida, después de este calentamiento un pistón estira la lámina hasta el fondo del molde formando sus bordes y enfriando para solidificar la pieza.

Cuando la pieza ya está totalmente endurecida el molde se abre y el recipiente cae a una banda transportadora, existiendo un desperdicio mínimo.

### 3.5 SOPLADO

El proceso de soplado se utiliza en la producción de objetos huecos tales como botellas y frascos.

Dentro de este proceso existen varios tipos que son:

#### a) Extrusión - Soplado.

- \* Sin biorientación.
- \* Con biorientación

#### b) Inyección - Soplado.

- \* Sin biorientación.
- \* Con biorientación.

#### a) Extrusión - Soplado

- Sin biorientación.

Conocido comúnmente como extrusión- soplado ó soplado se utiliza para la fabricación de botellas ó frascos a partir de 250 ml hasta recipientes tan grandes como garrafones, tanques de gasolina ó tambos hasta de 100 ó 200 lt.

Se caracteriza por lograr paredes gruesas en los recipientes, lo que les proporciona gran resistencia mecánica, aunque un alto costo por el consumo de material. Además de presentar todas las piezas obtenidas por este proceso una marca de una línea perfecta en la base de los recipientes.

El proceso consiste fundamentalmente en la extrusión de un tubo de longitud determinada, el cual se aprieta por 2 semi-moldes, los cuales en su parte inferior soldan el tubo sin que se formen rebabas y en la parte superior conforman el cuello de la botella calibrándolo.

- Con biorientación

También se utiliza para la fabricación de piezas grandes, presentando la misma característica de una línea perfecta en la parte posterior del recipiente.

La diferencia entre este proceso y el anterior es que se obtienen botellas de menores espesores de pared y mayor resistencia mecánica, además de conferir propiedades de barrera al recipiente.

En este proceso también se extruye un tubo llamado parison que es atrapado por un molde que tiene la forma de un tubo de ensaye.

#### **b) Inyección - Soplado**

- Sin biorientación.

Este proceso se conoce comúnmente como inyección-soplado, y se utiliza para la fabricación de recipientes de capacidad menor a 250 ml. por lo que casi siempre van dedicados a la industria farmacéutica.

Se caracteriza por presentar en la parte posterior del recipiente un punto de material, que denota donde fue el punto de inyección de la pieza.

El proceso consiste en inyectar un tubo de material, el cual será llamado preforma, extraerla del molde donde fue inyectada y sin dejar que se enfríe introducirla a otro molde que tendrá la forma del recipiente que se desea obtener. En este molde se le inyectará aire para que se adhiera a las paredes y se enfríe para posteriormente extraer la pieza.

- Con biorientación.

En este caso el proceso puede ser utilizado para obtener recipientes pequeños ó grandes, hasta de 2 lt. de capacidad, presentando también la característica del punto de inyección en la parte inferior de la botella.

La ventaja que presenta es que se obtienen botellas de paredes muy delgadas y el control del espesor es mejor que en el caso de la extrusión-soplo con biorientación.

El proceso consiste en inyectar una preforma, reblandecerla, pasarla a un molde del doble del tamaño de la preforma y ahí estirarla por medio de un pistón e inyectarle aire para que se adhiera a las paredes del molde.

Por este proceso se logra la biorientación que genera un ordenamiento molecular del material en forma de red, lo que provoca la mayor resistencia mecánica y mejores propiedades de barrera.

El polipropileno se emplea para la fabricación de botellas hasta de 2 litros y recipientes pequeños tipo gotero. Las primeras aprovechan las propiedades de barrera de oxígeno y resistencia a grasas para envasar productos perecederos y que requieren de una mayor protección para evitar su descomposición; y los segundos aprovechan la resistencia a elevadas temperaturas del material para ser llenados en caliente o esterilizarse después de ser llenados.

Es por eso que se emplean los procesos de extrusión-soplo y de inyección-soplo para lograr la fabricación de botellas grandes y pequeñas respectivamente

Las temperaturas de operación son de 190 a 218°C para la extrusión soplo y de 230 a 260°C para la inyección soplo, aunque dentro de estas condiciones puede haber variaciones de acuerdo al tipo de material empleado, ya que si se trata de un homopolímero requiere de 14 a 28°C más para su procesamiento

Dentro del soplado se tenía la limitante que las botellas resultaban ser translúcidas tendiendo a opacas, debido a que la estructura cristalina del material evitaba el paso de la luz. Por tal razón era poco empleado este material para envasar alimentos porque no cumplía con una de las condiciones de mercadotecnia, que es "dejar ver el producto"

Sin embargo, recientemente incursionaron al mercado los agentes nucleantes que son aditivos, los cuales modifican la formación de cristales y logran la transparencia del material. Esta modificación consiste en que si originalmente el material cristalizaba en 4 puntos de su estructura y los cristales eran grandes que no dejaban pasar la luz ahora con el agente nucleante forman 400 centros de cristalización, por lo que el tamaño de cristales originales se reduce a 100 veces y dejan pasar la luz para convertirlo en un material transparente.

### 3.6 ACABADO

#### SELLADO O SOLDADO

El polipropileno puede ser sellado por calor, con nitrógeno caliente o por alta frecuencia.

En el primer caso, se utilizan temperaturas de 120 a 130°C, mientras que en el sellado con nitrógeno éste se encuentra a presión de 0.21 a 0.35 kg/cm<sup>2</sup> y se calienta hasta alcanzar 300°C. El flujo gaseoso se aplica a 0.8 mm de la unión con un ángulo de 60°C, para que através de la unión el nitrógeno se dirija en forma de U.

Para sellar con alta frecuencia, se utiliza una vibración aproximada de 20 Khz/seg, provocando fricción y el calor necesario para sellar.

#### IMPRESIÓN Y DECORADO

Para aplicar tintas sobre la película e imprimirla, es necesario aplicarle un tratamiento corona con una fuerza de 38 a 40 dinas/cm<sup>2</sup> o una oxidación a la flama. En ésta se requiere de flama azul plateada corta con conos interiores de 12.7 mm de longitud. el largo de la flama debe ser de 102 mm. La flama se aplica aproximadamente a 25.4 mm de distancia.

Es común probar si el tratamiento ha sido el adecuado aplicándole agua a la película. Si el agua tiende a distribuirse en toda la superficie del producto, el tratamiento se puede considerar correcto y si forma gotas aisladas el tratamiento es insuficiente.

Las tintas que se emplean son principalmente a base de poliamidas.

### 3.7 DESARROLLOS TECNOLÓGICOS <sup>2</sup>

#### BIORIENTADO

Actualmente se procesan botellas de polipropileno biorientadas para proporcionar mayor transparencia. Compiten principalmente con las fabricadas en PET. (ver tabla 3 1)

Dentro de las cualidades del producto, se encuentran: facilidad para reciclarse, baja densidad reflejada en rendimientos altos, más ligera que las botellas de otros plásticos.

Algunas de las ventajas que ofrecen las botellas de polipropileno son

- Alta transparencia, originando disminución de haze.
- Excelente acabado superficial.
- Mayor impermeabilidad al vapor de agua, que todos los termoplásticos transparentes
- Propiedades mecánicas superiores.
- Mejor resistencia al impacto y a la tensión, que los productos obtenidos por extrusión-soplo.
- Alta resistencia a la esterilización al vapor y llenado en caliente.
- Costo relativamente bajo.
- Disminución de requerimientos de materia prima, mermas escasas

Los segmentos en donde los productos de polipropileno procesados por inyección biorientados pueden utilizarse se muestran en la siguiente tabla 3 1.

Tabla 3 1 Usos del polipropileno biorientado

AREA DE APLICACIÓN	MATERIAL UTILIZADO
Alimentos enlatados	Latas
Medicamentos en polvo	PEAD,PS
Jarabe para tos	Vidrio,PET
Cosméticos	PEAD
Shampoo y jabón líquido	PVC,PEAD
Cremas de vegetales	PVC, Vidrio
Espesies	PS, PEAD, Vidrio
Té instantáneo	PET, Vidrio
Café instantáneo	PET,Vidrio
Bebidas en polvo	Lata,Vidrio, PET
Jugos	Vidrio,PEAD,PET
Mermelada	Vidrio
Salsa de tomate	PP
Mostaza	PEAD,Vidrio
Miel	PEAD,Vidrio
Vinagre	Vidrio
Aceite	PET, Vidrio
Agua	PEAD,Vidrio, PC

## TERMOFORMADO

El polipropileno es uno de los materiales que posee excelentes características como: bajo costo, resistencia química, resistencia mecánica, facilidad de impresión y posibilidad de obtener mayor transparencia. Sin embargo, para el proceso de termoformado, algunas de sus cualidades se presentan como desventajas, estas son: su baja conductividad térmica, dilatación térmica, elevada tenacidad y resistencia al corte.

La firma de maquinaria Omam, ha desarrollado algunos cambios para termoformar a nivel industrial el polipropileno.

Dentro de las modificaciones de maquinaria, el sistema de refrigeración tiene gran importancia, ya que éste debe ser especialmente intensivo, pero a la vez graduado, que garantice la estabilidad dimensional de la pieza. Se requieren sistemas de corte con capacidad para aportar potencias elevadas.



## CAPÍTULO IV

### APLICACIONES DEL POLIPROPILENO

En este capítulo se hace mención de las aplicaciones del polipropileno y se realiza una comparación de este plástico con otros de su competencia a los cuales está sustituyendo en algunas de sus aplicaciones o se tienen expectativas de sustituirlos en un futuro no muy lejano.

Desde hace 10 años el consumo del polipropileno en el mundo ha crecido el doble que el total del crecimiento de los demás plásticos commodities como el PVC, polietileno y poliestireno, debido principalmente su excelente balance de propiedades y bajo precio que permiten se encuentre en las más variadas aplicaciones.

Como consecuencia, de la variedad de grados se encuentra prácticamente en todos los mercados, sustituyendo materiales tradicionales como papel, cartón, metales e inclusive otros plásticos como el ABS y poliamidas.

Algunas aplicaciones notables de alto crecimiento se presentan a continuación agrupadas por segmentos.

#### 4.1 ENVASE <sup>2</sup>

Es uno de los segmentos más importantes del polipropileno.

El polipropileno clarificado aumenta sus aplicaciones, ya que lo vemos compitiendo con el poliestireno por su excelente resistencia al impacto, con el PVC en láminas, con polietileno de alta densidad por su brillo y transparencia, con los plásticos de ingeniería por su bajo costo y con el PET en el campo de las botellas biorientadas, además tiene otras características que lo hacen un material que puede sustituir a otros plásticos como se muestra a continuación.

#### COMPARACIÓN DEL POLIPROPILENO CLARIFICADO CON OTROS MATERIALES

- Estirénicos.
  - El polipropileno tiene mejor resistencia al impacto.
  - Mejores propiedades de barrera.
  - En piezas para empaque se compara con materiales estirénicos.
  - Menor costo que los copolímeros de estireno.
- PVC.
  - Menor densidad que el PVC, mayor rendimiento originando menor costo del producto.
  - Las películas, láminas y botellas se comparan con el brillo y claridad del PVC.
  - Mayor resistencia que el PVC a ingredientes químicos que contienen los productos de consumo.

- Polietileno de alta densidad.
  - Mejor brillo y transparencia que el polietileno de alta densidad
  - Las piezas de paredes delgadas permiten ver con más claridad el producto de consumo.
  - Los frascos de polipropileno se pueden llenar en caliente a temperaturas por arriba de 100°C.
  - Las botellas de polipropileno se comparan en resistencia al impacto con las de polietileno de alta densidad.
- Resinas de ingeniería
  - El polipropileno tiene menor costo
  - Excelentes propiedades físicas permitiéndole sustituir a polímeros de ingeniería en muchos casos.
  - Menor densidad del polipropileno, piezas más ligeras, ideal para productos de consumo.
- PET
  - La transparencia de las botellas biorientadas de polipropileno se comparan con las de PET
  - Mejor barrera a la humedad que el PET
  - Mayor resistencia a la temperatura por lo cual las botellas se pueden llenar en caliente.
  - Menor costo en las botellas
  - Menor densidad, mayor rendimiento.

#### 4.1.1 PELÍCULA

Una de las desventajas que se puede observar en el polipropileno es que en menor tiempo absorbe más oxígeno que el polietileno en iguales condiciones

A pesar de este comportamiento que representa una desventaja del material para el empaque de ciertos productos se puede eliminar este problema metalizando la película para evitar el paso de la radiación ultravioleta al alimento y con ello la oxidación del mismo.

Debido a su transparencia y brillo el polipropileno ha venido a sustituir al celofán, mejorando sus propiedades mecánicas y de rendimiento, ya que 1 kg de celofán proporciona 28 m<sup>2</sup> de película y 1 kg de polipropileno produce 44 m<sup>2</sup> de película

Además el polipropileno presenta la cualidad de poseer memoria, esto quiere decir que si se le arruga o dobla con el paso del tiempo tiende a regresar a su forma original en cambio el celofán permanece con el doblado.

Esta memoria evita que las bolsas de botanas cuando son transportadas y manipuladas para su venta se maltraten en forma excesiva pero también representa un problema en el envasado de dulces ya que el torcido de los mismos no se puede realizar.

Es por ello que todas las envolturas de dulces hechas de polipropileno llevan un sellado térmico para su cierre.

La comparación entre celofán y BOPP se muestra en tabla 4.1

Tabla 4.1 Comparación de propiedades entre el celofán y el BOPP

PROPIEDAD	BOPP	CELOFAN
Resistencia a la tensión, (Kg/cm <sup>2</sup> )	1265-2110	490-1265
Contracción (%)	5	0
Haze (%)	2	0
Facilidad de impresión	Excelente	Excelente
Resistencia de sellado, (g/cm)	140-230	140-225
Transmisión de vapor de agua (g/cm <sup>2</sup> /24 hrs)	7	7-600
Transmisión de O <sub>2</sub> (cc/m <sup>2</sup> /24 hrs)	30-1500	30-400
Temperatura de uso, máxima (°C)	120-135	190
Temperatura de uso, mínima (°C)	-40	Depende de la RH

Otra ventaja que proporciona el polipropileno es su combinación de una elevada resistencia a la tensión y una muy baja resistencia al rasgado.

Estas cualidades en términos prácticos son las causantes de que una bolsa de frituras presente gran seguridad en su empaque ya que es muy difícil abrirla, sin embargo, en el momento que aparece el primer corte es muy fácil de romper. Esta facilidad de rasgado se aprovecha también en todas las protecciones de sobreenvoltura, donde el empaque ya viene cortado con una pequeña tira alrededor de él y jalando de ella se abre la envoltura.

Como todo polímero, aunque muchas de sus propiedades son ideales para el empaque, le falta cubrir otras como mayor barrera a CO<sub>2</sub>, presentar menos absorción de oxígeno y una mayor facilidad de sellado al calor.

Por lo anterior se combina el polipropileno con otros materiales para diseñar y elaborar empaques ideales y con ello proteger mejor al producto.

Algunas de estas combinaciones son:

#### AI/OPP/Sellante

Se utiliza para papas fritas, cualquier tipo de botanas, galletas, dulces y pasteles. Presenta una excelente barrera a la humedad, oxígeno y luz.

En la tabla 4.2 se pueden observar las propiedades de esta combinación

Tabla 4.2 Propiedades típicas de la combinación AI/OPP/Sellante

Resistencia a la tensión, (kg/cm <sup>2</sup> )	MD	1,265
	TD	2,860
Modulo de tensión, (kg/cm <sup>2</sup> )	MD	17,600
	TD	28,200
Elongación (%)	MD	170
	TD	40
Rango de sellado (°C)		112-152
Transmisión de luz (%)		2
WVTR		0.04
Permeabilidad al oxígeno		3

Nota: 70 gauge = 17.8 micrones.

MD= Dirección máquina

TD= Dirección transversal

#### Ionómero/OPP Café/OPP Blanco

Esta laminación se desarrolló para remplazar el papel glassine

Presenta :

- Excelente barrera a la luz.
- Alta opacidad.
- Un amplio rango de sellado.
- Resistencia a aceites y grasas.
- Total barrera a la humedad.

En la tabla 4.3 se pueden observar sus propiedades.

Tabla 4.3 Propiedades de la combinación Ionómero/OPP Café/OPP Blanco

#### 130 GAUGE

Resistencia a la tensión (kg/cm <sup>2</sup> )	MD	612
	TD	1190
Elongación (%)	MD	160
	TD	40
Opacidad (%)		93
Rango de sellado (°C)		90-143
WVTR		0.32

#### OPP/LDPE

Presenta baja temperatura de sellado y alta velocidad de fabricación.

#### OPP/Al/LDPE

Presenta altas propiedades de barrera a gas y humedad además de protección

UV.

#### OPP/PVDC/LDPE

Presenta moderada barrera a gas.

Cuando se desean aumentar estas propiedades de barrera sin necesidad de combinar la película de polipropileno con otros materiales, se metaliza para obtener las características de la tabla 4.4.

Tabla 4.4 Propiedades del polipropileno metalizado

Densidad		0.91
Absorción de agua (%)		0.03
Transmisión de luz (%)		1
Resistencia a la tensión (kg/cm <sup>2</sup> )	MD TD	2000 1600
Elongación (%)	MD TD	170 40
Modulo de Elasticidad, (kg/cm <sup>2</sup> )	MD TD	22000-25000 19000-22000
Temperatura de Uso (°C)		-70 a 75

De esta forma se utiliza para envolturas de botanas, chocolates, dulces de crema y galletas.

En este tipo de envolturas pueden durar hasta más de 60 días los alimentos guardados sin que el producto se arrancie.

Es posible fabricar película mediante diferentes procesos que proporcionan características especiales distinguiéndolos básicamente 2 tipos:

- Película Cast.
- Película Biorientada

#### PELICULA CAST.

Esta película presenta propiedades mecánicas y de barrera menores a la obtenida por el proceso de biorientación. Sin embargo, debido a que su obtención es más sencilla resulta más económica para producciones menores. Su uso más común es para envase de prendas de vestir como son camisas y medias. Además, presenta ventajas de impresión y sellabilidad, que ha impulsado el desarrollo de productos para artes gráficas y publicidad

#### PELICULA BIORIENTADA

El proceso de biorientación imparte propiedades mecánicas, de barrera a humedad y transparencia superiores a cualquier otro método de obtención de películas, que permite el uso de estas películas con grandes ventajas en el envasado industrial de productos secos como botanas, pastas, galletas, pasteles y golosinas.

Es posible imprimirla aplicando previamente un tratamiento corona y normalmente se lamina con otra película biorientada de copolímero de polipropileno sobre la tinta para evitar su desprendimiento, es decir, la impresión permanece en forma de "sandwich". Esta película presenta una alta memoria, por lo que no es posible enroscarla.

Su aplicación esta destinada al empaque de sopas, cigarros, en el sector textil, frutas y verduras, sector de la panificación y carnes frías.

### 4.1.2 BOTELLAS

Dentro del mercado de las botellas, la transparencia era una limitante para el polipropileno homopolímero. A razón de esta limitante se desarrolló el polipropileno random, su característica principal es su elevada transparencia, además de mejorar la resistencia al impacto del polipropileno homopolímero. Lo podemos encontrar en botellas y envases que contienen.

- Vinagre.
- Agua Purificada.
- Cosméticos.
- Salsas.
- Mayonesas.
- Jarabes
- Vacunas

El polipropileno es utilizado además para la elaboración de garrafones tapas para botellas, cajas de uso industrial, cubetas, vasos, etc.

### 4.1.3 RAFFIA

El polipropileno homopolímero tiene mayor rigidez que el polipropileno copolímero, además de que es fácilmente orientable. Estas características lo hace ideal para fabricar raffia, ya que en su proceso se le hace un estiramiento en dirección máquina, con el fin de disminuir su elongación y mejorar su resistencia a la tensión. Las propiedades con que cuenta y su fácil manejo se utilizan para tejer costales de diferentes tipos. Una forma de estos costales es de un tejido totalmente cerrado, estos se utilizan para ensacar productos de grano como son: azúcar, sal, frijol, arroz, maíz, etc.

El otro tipo de costal cuenta con un tejido más abierto, para dejar ver el producto. se utiliza para: naranjas, papas y cebollas.

Cuando la cinta se estira una pequeña proporción de su elongación y cumple con las mismas características que la raffia, obtenemos el fleje.

### 4.2 CONSUMO

Los artículos que cubren este segmento, además de tener una excelente resistencia al impacto y menor rigidez soportan bajas temperaturas, que no se logra con el polipropileno homopolímero. Los diferentes grados que existen dependen de la cantidad de hule que contenga el material, los artículos que componen este segmento son muy variados y generalmente se utilizan grados de uso general.

Recientemente se ha buscado introducir grados clarificados y copolímeros para soportar bajas temperaturas principalmente para artículos de cocina como recipientes herméticos y moldes para hielo.

Se incluyen en este sector películas para uso decorativo y regalos, cintas adhesivas, juguetes, estuches y diversas piezas inyectadas para uso en el hogar y oficina.

Artículos domésticos: vasos, platos, charolas, popotes, contenedores de alimentos como pan, etc.

Se utiliza polipropileno para la elaboración de portafolios, andaderas, atomizadores, perfiles, tubos, etc.

### 4.3 MUEBLES

Cada vez es más frecuente observar a empresas transformadoras de polipropileno en el área de inyección incursionar en el segmento de mobiliario plástico. Esta aplicación ha sido una de las que más han crecido durante los últimos años.

Se utiliza principalmente grados de polipropileno modificados con carbonato de calcio para moldear sillas y mesas por el método de inyección.

### 4.4 CONSTRUCCIÓN

El polipropileno tiene un gran potencial principalmente en la sustitución de tubería de cobre debido a que el polipropileno soporta la presión y temperatura del agua hirviendo a 90°C.

Actualmente, una aplicación importante del polipropileno en este segmento es fibra para la confección de alfombras. También se incluyen algunos usos en película para cintas adhesivas así como tubería para conducción de fluidos industriales y gas.

Por inyección se fabrican algunos accesorios para baño y diversas piezas decorativas.

### 4.5 ELÉCTRICO - ELECTRÓNICO

Se utilizan polipropilenos modificados para soportar temperatura alta y esfuerzos mecánicos para moldear por inyección carcazas de aparatos electrodomésticos como cafeteras, licuadoras, planchas, aspas de lavadoras, carcazas para taladros.

Se utiliza polipropileno para la fabricación de recubrimiento de alambre y cable, mangos de herramientas, gabinetes de radio y televisión, video, cassetes, cintas para audio y video.

### 4.6 TRANSPORTACIÓN

Se utiliza principalmente copolímeros de polipropileno por su resistencia química en aplicaciones como acumuladores, recipientes para filtros de gasolina y tableros automotrices.

Los grados modificados con elastómeros son empleados para fabricar fascias de autos.

El polipropileno modificado ha sustituido muchas de las aplicaciones que originalmente se fabricaban en ABS e inclusive nylon en partes para el motor y diversos accesorios, se utiliza para ductos de calefacción, parrillas, ventiladores, etc.

#### 4.7 MÉDICO

La principal propiedad que identifica al polipropileno homopolimero es su excelente resistencia a altas temperaturas. Gracias a esta característica se utiliza para jeringas e instrumentos de laboratorio, los cuales deben esterilizarse en equipos de autoclave a elevada temperatura y presión. Además de que cuenta con la aprobación de las especificaciones de la FDA.

#### 4.8 INDUSTRIAL

Se fabrican algunos tipos de tubería especiales para fluidos químicos y filamentos especiales para confeccionar cuerdas conocidas como cabos marinos, también para la elaboración de cascos de seguridad.

#### 4.9 FIBRAS SINTÉTICAS

Esta es una aplicación del polipropileno relativamente nueva debido a sus propiedades químicas, las telas que se obtienen con este material se pueden teñir con cualquier tipo de colorante. En la tabla 4.5 se presentan las comparaciones entre diversas fibras bases.

#### 4.10 ESPECIALIDADES

Estas aplicaciones son los nuevos desarrollos que se han descubierto dentro del mercado de polipropileno. Entre ellas se encuentran las siguientes:

- Césped sintético.
- Cerdas para brochas.
- Mechas.
- Hilo para coser.

Fuentes: 2,3,32



Tabla 4.5 Comparación de las propiedades del polipropileno con otras fibras

PROPIEDADES	POLIPROPILENO	POLIÉSTER	NYLON	LANA	ALGODÓN	SEDA
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Los números menores indican mejor aislamiento	6 0	7 0	10 0	7 3	17 5	7 0
ABSORCIÓN DE HUMEDAD Los números menores indican mejor propiedad de secado %	0 05	0 40	4 50	16 0	8 00	11 0
GRAVEDAD ESPECÍFICA Los números menores indican menor peso de tela g/cc Densidad	0 91	1 38	1 14	1 32	1 54	1 34
RESISTENCIA AL DESTEÑIMIENTO	Muy buena Se le tiñe durante manufactura de la fibra No se destiñe	Buena	Exposición al sol y al cloro pueden causar desteñimiento	Puede desteñirse al lavar	Puede desteñirse al lavar	Buena
DURABILIDAD	Excelente	Excelente	Buena	Regular	Regular	Regular
EFEECTO DEL CALOR	Se ablanda a 148°C Sirve en secadoras a temperaturas bajas	Se ablanda a 226°C Secar a cualquier temperatura	Se ablanda a 176°C y 232°C	Se encoge a altas temperaturas	Generalmen- te se encoge en la secadora	No se puede secar en secadora
RESISTENCIA A LAS MANCHAS	Excelente, no absorbe liquido	Pobre Requiere terminados especiales o jabones especiales	Pobre Requiere terminados especiales o jabones especiales	Requiere tintoreria para quitar manchas No resiste blanqueador ni otros quimi	Requiere blanqueador para manchas	Mala
EFECTOS DEL BLANQUEADOR Y OTROS QUÍMICOS	No lo afecta	El cloro y algunos jabones lo dañan	El cloro y algunos jabones lo dañan		Se opaca No resiste algunos químicos	Las fibras se desinte- gran con blanquea- dor No resiste algunos químicos
INSTRUCCIÓN DE CUIDADOS	Lavar en agua tibia. enjuagar con agua fría. No planchar	Lavar en agua tibia Usar ciclo de permanente presión.	Plancha fría. Se puede lavar y planchar en máquina.	Lavar en agua fría	Lavar en agua fría	La mayoría requiere tintoreria

## CAPÍTULO V

### ASPECTOS DE MERCADO DEL POLIPROPILENO

#### 5.1 MERCADO INTERNACIONAL

Las resinas de polipropileno representan la categoría de crecimiento más rápido en la producción de resinas termoplásticas de alto consumo en el mundo y son sobrepasadas sólo por los polietilenos y el PVC en volumen total de producción. Las ventas de polipropileno aumentaron 9% en E. U. y 13% en Europa en 1994.<sup>31</sup>

Su elevado crecimiento se debe en parte al amplio espectro de usos finales del material.

La resina permanece como uno de los termoplásticos de más crecimiento en términos de consumo con un incremento mundial de 7.6 % por año.

Los grupos más fuertes son los grados de copolímero al azar e impacto especialmente de alto desempeño.

La demanda más fuerte está llegando de mercados en desarrollo en Asia con más de 8.7% por año, África y Medio Oriente con un crecimiento promedio anual de 9.2%.<sup>27</sup>

El fuerte crecimiento de desarrollo parece casi estructural para el polipropileno debido a la penetración de muchos mercados comprobados (contenedores para alimentos, moldeo por soplado industrial), de mercados nacientes (recubrimiento para alambre y cable, perfiles de construcción, película industrial) y mercados ya establecidos como el automotriz.<sup>31</sup>

Debido a su amplia gama de tipos y grados modificados, adicionando a esto sus excelentes propiedades, hacen que el polipropileno vaya teniendo un mayor campo de aplicación en la sustitución de la madera, metal y vidrio, tomando ya parte de los mercados que eran considerados del vinil, ABS, poliestireno, polietileno de alta densidad, PET y resinas de ingeniería.

A pesar de lo anterior, el consumo de polipropileno está aflojando el paso con respecto de años anteriores, mientras que la inversión para aumento de capacidad no ha disminuido, llevando esto a más bajas tasas de operación de planta, hablándose ya de sobrecapacidad.

Las expansiones de las capacidades de la producción agresiva del Polipropileno sobre los próximos años elevará el espectro de sobrecapacidad. De hecho, solamente en los próximos 3 años, más de 30 plantas de polipropileno deberán ponerse en marcha en aproximadamente 22 países.

En Europa se han desarrollado nuevas aplicaciones para el polipropileno debido a la tecnología de polimerización y a los trabajos de investigación en aditivos, logrando incrementar sus propiedades mecánicas comparables ya con los plásticos de ingeniería.

<sup>27</sup>

### 5.1.1 CAPACIDAD INSTALADA

La capacidad instalada mundial para la producción de polipropileno hasta finales de 1998 fué estimada en 29 millones de ton/año. En los próximos cinco años se adicionarán más de 5 millones de ton a la capacidad mundial total, alcanzando una cifra aproximada a los 32 millones de ton para el año 2000, lo que significa un crecimiento a la capacidad de 8.8% /año. Los consultores estiman que para el año 2001 la capacidad de servicio alcance los 35.6 millones de ton/año, por lo que se podría observar un factor excedente del 21% sobre la demanda <sup>17</sup>

La tabla 5.1 muestra la distribución de las capacidad instalada mundial hasta fines de 1997 y la pronosticada para el 2000. <sup>8,26,27,28,29,31</sup>

Tabla 5.1 Capacidad instalada del polipropileno

Región/País	Capacidad (miles de Ton)	
	1997	2000
E.U.A. y Canadá	6,661	7,174
Europa Occidental	6,660	8,200
Japón	2,942	3,142
Asia-Pacífico	6,042	8,039
América Latina	1,523	2,103
Medio Oriente	890	990
Europa del Este	1,200	1,400
África	457	577

Como puede observarse el país que cuenta con la mayor capacidad es Estados Unidos, aunque sus datos estadísticos se han manejado últimamente en conjunto con los de Canadá. Estados Unidos cuenta con el 93% de la capacidad observada.

Asia-Pacífico es la región que ha tenido el mayor crecimiento y desarrollo de los últimos años y como se muestra es la que tendrá la mayor expansión de capacidades para los próximos años.

En la región de América Latina el país que sufrirá más cambios de expansión será Brasil, cuyo consumo es enfocado básicamente a la industria automotriz y del envase.

### 5.1.2 PRODUCCIÓN

El panorama de empresas productores de polipropileno a nivel mundial ha sufrido fuertes cambios en los últimos tiempos, debido a la política de fusiones y desarrollos conjuntos, quedando como se muestra en la figura 5.1. El gigante Montell, surgido de la fusión de Himont y Shell, domina el negocio del polipropileno con una capacidad de producción de más de 3.5 millones de ton. El segundo productor más grande es la reciente fusión realizada de ICI/BASF/HOECHST, cuya capacidad puede alcanzar 1.3 millones de ton. <sup>6,32</sup>

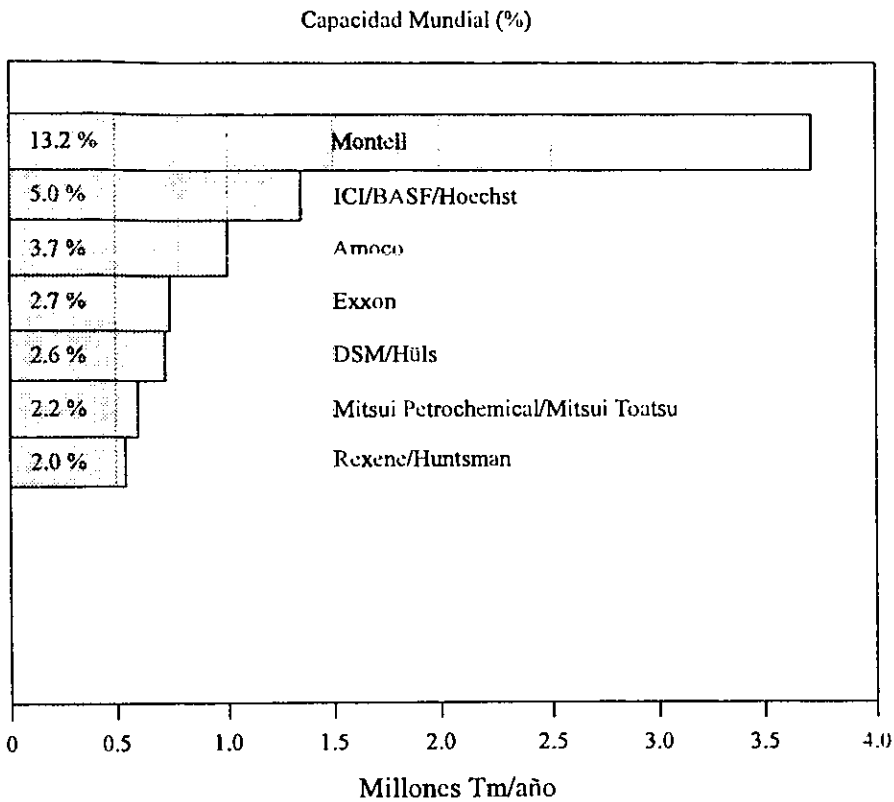


Fig 5.1 Principales productores mundiales de polipropileno. <sup>5,26,27,28,29,31</sup>

Las empresas que producen Polipropileno a nivel internacional se muestran en la tabla 5.2 incluyendo sus marcas comerciales. <sup>2</sup>

Tabla 5.2 Empresas productoras de polipropileno

Empresa	Marca comercial
Addiplast	Addilene
Adell	Adell PP
Amoco Chemical	Amoco
Elf Atochem	Appryl
Montell	Astryl
Montell	Astryl, Higlase
Bomberger	Bopolene
Neftochim	Buplen
Neftochim	Bustren
Solvay	Eltex P

Empresa	Marca comercial
Exxon	Empee
Exxon	Escorene
Finachemical	Finapro
Solvay	Furtilene
Hoechst Celanese	Hostacam
Hunstman	Hunstman
Repsol Química	Isplen
Phillips Petroleum	Marlex
Borealis	Nealid
Dupont	Nordel
BASF	Novelen
PEMEX	PEMEX PP
Quantum	Petrothene
Polifil	Polifil
A. Shullman	Poly fort
CELANESE	Procel
Indelpro/Montell	Profax
ICI	Propathene
Propilco	Propilco
Repsol Química	Repsol
Rexene	Rexene
DSM	Stamylan P
Aristech	Unite
Indelpro/Montell	Valtec
Hüls	Vestolen

### 5.1.3 CONSUMO

La versatilidad en el procesamiento de diferentes grados de polipropileno ha ayudado a registrar un continuo crecimiento del mercado mundial, el cual está fluctuando alrededor de 6-8 % por año.

Andrew Stevens, un consultor de Phillip Townsed Associates, Houston, TX, USA, dice que se está desarrollando el crecimiento del mercado cerca de dos dígitos en las regiones de Europa Occidental, Asia-Pacífico y Medio Oriente/Africa. La demanda de Asia está funcionando en 9 % al año y contará con aproximadamente el 40 % del volumen del crecimiento global para el año 2000.

El consumo mundial de Polipropileno en 1997 fué de 21.7 millones de ton. para 1998 ésta cifra ascendió a 23 millones de ton. El consumo del polipropileno para 1999 es estimado a que aumente un 6%, es decir llegue a 24.4 millones de ton, lo que significa que el crecimiento en el consumo de Polipropileno no ha cesado, los consultores proyectan un crecimiento constante del consumo.<sup>17,32</sup>

## Consumo en Estados Unidos y Canadá

Los Estados Unidos de Norte América, además de ser el país con mayor capacidad productiva de resinas de polipropileno de todo el mundo es también el de mayor consumo, debido a que en casi todas las ramas en que se aplica supera al resto de los países. Los fabricantes de fibras y filamentos, película orientada, productos de consumo y envase son los que consumen los más altos volúmenes hasta 1997. El polipropileno está encontrando sustitución en gran escala para el vidrio, metal y algunos plásticos de ingeniería; su baja densidad y generalmente su buena rigidez también hace posible que sea más liviano con respecto al polietileno. En los Estados Unidos la resina tuvo una relación de crecimiento del 19 % en las aplicaciones de moldeo por inyección en 1996 con respecto a 1995.

En la tabla 5.3 se muestra la tendencia del consumo por segmentación de los últimos 6 años. <sup>26,27,28,29,31</sup>

Tabla 5.3 Consumo por segmentación  
(miles de toneladas métricas)

	1993	1994	1995	1996	1997	1998
<b>Moldeo por soplado</b>						
Contenedores	25	72	76	72	69	75
Otros	43	2	7	6	8	12
<b>Total de moldeo por soplado</b>	<b>68</b>	<b>74</b>	<b>83</b>	<b>78</b>	<b>77</b>	<b>87</b>
<b>Extrusión</b>						
Carcasas	5	7	8	14	19	18
Fibras y Filamentos	1,112	1,223	1,414	1,491	1,527	1,639
Película:						
Orientada	297	337	378	399	432	452
No orientada	66	76	115	111	98	102
Tubos y Tubería	11	12	16	-	-	-
Láminas	65	70	99	105	112	118
Alambre y Cable	13	13	10	5	5	6
Otros productos de extrusión	41	49	46	46	69	69
<b>Total de extrusión</b>	<b>1,616</b>	<b>1,787</b>	<b>2,086</b>	<b>2,171</b>	<b>2,262</b>	<b>2,404</b>
<b>Moldeo por inyección</b>						
Utensilios	101	113	114	137	123	137
Productos de consumo	398	495	484	559	667	753
Envase rígido	389	467	486	510	547	603
Transporte	144	162	167	188	191	208
Otros	86	106	111	127	142	86
<b>Total de moldeo por inyección</b>	<b>1,118</b>	<b>1,343</b>	<b>1,362</b>	<b>1,521</b>	<b>1,670</b>	<b>1,787</b>
Exportación	343	286	250	460	522	458
Otros	928	1,035	1,061	1,278	1,426	1,500
<b>Total General</b>	<b>4,067</b>	<b>4,525</b>	<b>4,842</b>	<b>5,508</b>	<b>5,958</b>	<b>6,237</b>

### Consumo en Europa Occidental

A pesar de las dificultades de los últimos años en el mercado Europeo de los polímeros, la demanda de polipropileno ha continuado creciendo

Los países que básicamente están incluidos cuando se hace referencia a Europa Occidental son:

Alemania  
Benlux  
Escandinavia  
España  
Francia  
Gran Bretaña  
Italia

Los países que mayores cantidades de resinas consumen son Alemania Italia, los países del Benlux, Gran Bretaña y Francia.

La ganancia en consumo se atribuye al uso creciente del polipropileno en película de empaquetado y en aplicaciones selectas automotrices y de mobiliario, muestra de esto es que un grado de polipropileno ha sustituido al nylon para envoltura de alimentos otro grado se está usando por un fabricante de bolsas para sustituir al PVC.

En Italia las botellas de polipropileno moldeadas por soplado y extrusión (con nueva generación de nucleantes clarificados) están reemplazando al PVC en botellas de agua mineral.

Los materiales de estireno también están siendo reemplazados en los gabinetes de TV.

Michael Freestone, administrador de negocios en PCD, Manchester, Inglaterra, dice que su compañía ha observado un crecimiento del 10 % en el reemplazamiento de PVC y plásticos de ingeniería en aplicaciones automotrices.

El consumo de Polipropileno en los últimos dos años creció a una tasa anual promedio de 6.7 %; las últimas previsiones indican que para los próximos tres años se mantendrá en promedio ésta tasa de crecimiento.

En la tabla 5.4 se muestra la tendencia del consumo por segmentación de los últimos 6 años <sup>26,27,28,29,31</sup>

Tabla 5.4 Consumo por segmentación  
(miles de toneladas métricas)

	1993	1994	1995	1996	1997	1998
<b>Extrusión</b>						
Película, Lamina	840	1,021	1,050	1,261	1,245	1,319
Rafia	420	460	440	445	353	397
Fibra	732	865	830	896	1,092	1,203
Otros	270	324	470	300	327	356
<b>Moldeo por Inyección</b>	2,088	2,291	2,240	2,464	2,664	2,793
<b>Moldeo por Soplado</b>	60	70	70	73	90	90
<b>Total</b>	4,410	5,031	5,100	5,440	5,771	6,158

### Consumo en Japón

La tasa de crecimiento de la demanda local se había mantenido casi constante debido a la sustitución creciente en la industria automotriz del más caro ABS por el copolímero de polipropileno; no obstante, esta tasa ha bajado un poco en los últimos años por el cambio de la fabricación de electrónicos y automóviles a otros países.

En la tabla 5.5 se muestra la tendencia del consumo por segmentación de los últimos 6 años. <sup>26,27,28,29,31</sup>

Tabla 5.5 Consumo por segmentación  
(miles de toneladas métricas)

	1993	1994	1995	1996	1997	1998
<b>Moldeo por Inyección</b>	1,080	1,135	1,241	1,338	1,381	1,285
Película	429	440	455	499	502	487
Fiat yarn (Hilos)	69	68	72	68	68	57
Fibra	73	72	81	93	90	90
<b>Moldeo por Soplado</b>	40	40	37	38	36	36
<b>Extrusión</b>	190	208	223	236	219	203
Otros	100	117	110	102	129	112
<b>Total local</b>	1,982	2,081	2,219	2,365	2,441	2,270
Exportación	180	163	269	318	349	329
<b>Total</b>	2,162	2,244	2,488	2,683	2,750	2,599

### Consumo en Asia

Fuera de Norte América, Europa Occidental y Japón el equilibrio de la demanda para el polipropileno cambia radicalmente.

La región del Sureste de Asia es un área de consumo particularmente importante debido a la gran utilización de la película de polipropileno en el empaquetamiento de mercancía textiles y de consumidor en general.

El consultante Andrew Stevens de Phillips Townsend Assoc. Inc. por ejemplo, observa que el crecimiento promedio anual para Asia (excluyendo Japón) es de 11.5 % para 1999.

La demanda del polipropileno en China permanece alta y está creciendo tanto como 11 % anualmente.

La producción total en China se establece en 2 millones de ton/año. Para el año 2010 será necesario cerca de 3.9 millones de ton/año, debido a que los productores locales no serán capaces de satisfacer la demanda, los observadores predicen que las importaciones no sólo satisfarán las necesidades en China, sino que tendrá un efecto sinuoso en el suministro global suponiendo que la demanda permanece constante y el precio es atractivo, la capacidad en exceso podría fluir a China y crear suministro en otras partes.

Otro mercado importante de Polipropileno incluye la India con un potencial de crecimiento del 16 % anualmente. <sup>28</sup>



Empresas coreanas están construyendo nuevas plantas en Pakistán, para ayudar a satisfacer la demanda de la resina en el país con una relación de crecimiento de 22%

Lalit Jalan vicepresidente de Reliance Industries en Mombay India, cree que el incremento en Asia está dirigido a la sustitución de otros polímeros. En su país el Polipropileno está remplazando al PVC en los envases, así como al mismo PVC y otros polímeros en los mercados de tuberías y perfiles.

#### 5.1.4 TENDENCIA DEL PRECIO DEL POLIPROPILENO

Los precios del Polipropileno han tenido una ligera recuperación, después de la tendencia hacia abajo en la que se vieron involucrados desde mediados de 1997 hasta finales de 1998, debiéndose por una parte a las nuevas capacidades de producción que se han estado adicionando y por otra parte a los bajos precios del monómero. Los precios del PP homopolímero a mediados de 1997 estuvieron en \$ 0.35/lb llegando hasta \$ 0.25/lb en el primer semestre 1998.<sup>22</sup>

A partir de los últimos meses de 1998 los precios se han comportado de una manera relativamente ascendente, manifestándose estables en el primer semestre de 1999.

Los precios reportados hasta julio de 1999 se muestran a continuación.<sup>23</sup>

Polipropileno homopolímero	Precio (dolares/libra)
Inyección:	0.29 - 0.32
Extrusión	
Fibra:	0.28 - 0.31
Película:	0.30 - 0.34
Perfiles:	0.32 - 0.37
láminas:	0.31- 0.35
<b>Copolímero random</b>	
Inyección:	0.32 - 0.35
Película:	0.34 - 0.36
Moldeo por soplado:	0.34 - 0.37
<b>Copolímero de impacto</b>	
Alto impacto:	0.43 - 0.48

### 5.1.5 PARTICIPACIÓN Y TENDENCIA POR APLICACIÓN

Actualmente el sector en el que más se usa el polipropileno es el de empaque y envase. En empaque la película de polipropileno orientada ha desplazado prácticamente a la película de celulosa y está sustituyendo el papel de alta calidad. Por su parte las aplicaciones de polipropileno metalizado se encuentra creciendo rápidamente a nivel mundial y en su forma de lámina por sus ventajas de termoformado en aplicaciones de empaque asépticos.

El polipropileno también se encuentra en los mercados de botella, coextrusiones y como componente esencial en recipientes con requerimientos de alta barrera.

Los desarrollos técnicos como el reforzado con fibra de vidrio, el modificado al impacto y el de alto brillo y claridad, han apuntalado su penetración en el sector automotriz, el de empaque y los mercados de manufacturas domésticos y eléctricos.

En aplicaciones de ingeniería esta resina surge como uno de los principales materiales para uso en componentes automotrices interiores y exteriores. Así mismo la modificación del polipropileno se usa para producir mezclas y aleaciones para fabricar defensas automotrices y más recientemente con otras resinas como las poliamidas para aleaciones que requieran alta y media resistencia mecánica.

Por su parte, Estados Unidos muestra actualmente una mayor participación en aplicaciones directas de la resina para elaborar mezclas y aleaciones, rafia, fibra, textil, recipientes y película.

Los sectores que mayor participación han tenido durante los últimos años son: mezclas y compuestos, láminas, recipientes, película orientada y sin orientar y aplicaciones en artículos para el hogar y muebles.

La tendencia indica que en el futuro inmediato continuará enfocándose principalmente a las aplicaciones y sectores señalados.

### 5.1.6 PROYECTOS Y PERSPECTIVAS DE EXPANSIÓN A NIVEL MUNDIAL

Los proyectos de expansión o de construcción de algunas plantas forma parte de una estrategia de optimización tecnológica y con desarrollos más adecuados a la realidad y perspectivas de esta resina.

Algunos de los proyectos que se realizan actualmente son señalados en el listado que se muestra más adelante.

La mayor parte de estos proyectos serán concluidos en 1999-2000, por lo que la capacidad instalada mundial tendrá un crecimiento del 20% con respecto a 1997.

A continuación se muestra una lista de las futuras expansiones de la capacidad para la producción de polipropileno a nivel mundial.<sup>16,17,18,32</sup>

Región	País	Compañía	Capacidad (1000 ton)	Año
Europa	Alemania	DSM	50	1999
	Alemania	DSM	250	2000
	Austria	Borealis	200	2000
	Bélgica	Fina	300	1999
	Escocia	Elf Atochem	300	1999
	Francia	Appryl	60	1999
	Francia	Montell	280	1999

Región	País	Compañía	Capacidad (1000 ton)	Año
	Grecia	Hellenic Petro.	130	2000
	Reino Unido	Appryl	300	1999
	Rep. Checa.	Chemopetrol	250	2002
	Rusia	BPC	100	1999
	Suiza	Dow Europe	200	1999
	Turkmenistan	TSTC	80	2002
<b>Americas</b>	Brasil	Ipiranga	130	1999
	Brasil	Polibrasil	110	1999
	Brasil	Polibrasil	240	1999
	E.U.	Exxon	240	1999
	E.U.	Exxon	275	2000
	E.U.	Fina	250	1999
	E.U.	Arco	200	1999
	E.U.	Tosco	350	2001
<b>Africa/M.Oriente</b>	Egipto	Oriental PC	120	1999
	Iran	NPC	160	2001
<b>Asia-Pacífico</b>	China	Huabei	50	2000
	China	Shell-Nanhai	240	2003
	India	Reliance	250	2000
	India	Haldia PC	190	1999
	Japon	Showa Denko	200	2000
	Malasia	Titan	200	2000
	Pakistan	Tongyang Nylon	40	1999
	Pakistan	Engro CH	100	2001
	Singapur	Exxon	275	2000
	Taiwan	Taiwan PP	30	1999

### 5.1.7 EXPECTATIVAS

El mercado mundial de las resinas de polipropileno ha tenido un comportamiento cíclico en los últimos años, con la característica de que al reiniciar el ascenso posterior a los periodos de crisis siempre logra superar los picos de los periodos anteriores (ver tablas de consumo mundial, pag. 69-71) En 1994 se da una importante recuperación con expectativas bien claras para el desarrollo de la industria. Algunas publicaciones realizadas por algunas consultorías y empresas más importantes que compiten en este mercado se presentan a continuación:

- El polipropileno es la única resina olefinica en Norte América, Europa Occidental y Japón que tuvo un crecimiento sustantivo registrado en el último año. El material ha mostrado más ventajas en contenedores moldeados por soplado (Norte América), láminas, perfiles y películas por extrusión y envases moldeados por inyección.<sup>28</sup>

- Un consultante de Phillip Townsed Assoc. Inc. (PTAI), Houston, Texas USA proyecta un crecimiento del consumo promedio mundial de 7.2% entre 1994 y 1999.<sup>28</sup>

- La versatilidad en el procesamiento de diferentes grados de polipropileno ha ayudado a registrar un continuo crecimiento del mercado mundial, el cual está fluctuando alrededor de 6 a 7% por año. Andrew Stevens un consultor de Phillip Townsend Associates, Houston, TX, USA, dice que se está desarrollando el crecimiento del mercado cerca de dos dígitos en las regiones de Europa Occidental, Asia-Pacífico y Medio Oriente/Africa. La demanda en Asia está funcionando en 9% al año y contará con aproximadamente el 40% del volumen del crecimiento global para el año 2000.<sup>26</sup>
- El polipropileno está encontrando sustitución en gran escala para el vidrio metal y algunos plásticos de ingeniería. Su baja densidad y generalmente su buena rigidez también hace posible que sea más liviano con respecto al polietileno.<sup>26</sup>
- Konrad Scheidl, analista de mercado y vicepresidente en la consultoría Maak Business Services, AU, Suiza, observa un alto crecimiento de mercado para la resina de polipropileno con aplicaciones de envase (7.9%), construcción (9.3%), y eléctrico (10.1%).<sup>26</sup>
- Donald Drummond, vicepresidente de ventas en Montell, Wilmington, DE, USA, dice que la demanda en la industria automotriz de materiales a base de polipropileno está esperando que permanezca fuerte durante los próximos 10 años, con un consumo de las resinas a base de polipropileno y elastómeros incrementándose de las 273,000 ton presentes a más de 455,000 ton.<sup>26</sup>
- Michael Freestone, administrador de negocios en PCD, Manchester, Inglaterra, dice que su compañía ha observado un incremento del 10% en el remplazamiento de PVC y plásticos de ingeniería en aplicaciones automotrices a pesar del incremento de los precios del polipropileno.<sup>26</sup>
- El polipropileno no ha perdido atractivo alguno. La demanda para la resina continúa creciendo gracias a la adaptabilidad con rellenos. Su habilidad para igualar las propiedades de las resinas de ingeniería de altos precios, a un bajo costo, y la posibilidad de aplicaciones es de tamaño ascendente. No únicamente está esta resina remplazando materiales no poliméricos, si no que está asumiendo el intercambio intrapolimérico, tomando parte de los mercados de Vinil, ABS, Poliestireno, Polietileno de alta densidad y resinas de ingeniería dice el consultante Dave Durand, administrador de proyectos de Polipropileno en Phillip Townsend Associates, Houston.<sup>27</sup>
- La resina permanece como uno de los termoplásticos de más crecimiento en términos de consumo, con un incremento mundial de 7.6% al año, dice Konrad Scheidl, vicepresidente de la consultoría Maak Business Service, AU, Suiza.<sup>27</sup>
- La demanda global para el año 2003 puede ser en promedio del 7.5 % al año, desarrollándose regiones que incluyen Medio Oriente, América Latina, Asia-Pacífico continuará con un nivel de crecimiento de dos dígitos.<sup>29</sup>
- En Europa la demanda del PP se está incrementando, los grados de alto desempeño continúan en la sustitución del poliestireno.<sup>29</sup>

## 5.2 INDUSTRIA NACIONAL DE RESINAS Y PLÁSTICOS

### 5.2.1 INDUSTRIA DE RESINAS <sup>21</sup>

Este sector involucra una serie de productos derivados de los hidrocarburos (petróleo y del gas natural) que se pueden usar individualmente o en mezclas para la fabricación de una gran variedad de productos de plástico. El sector contribuye con el 0.39% del PIB nacional, con el 1.78% de PIB manufacturero y genera empleos para 9,000 personas.

Las resinas se pueden clasificar genéricamente en dos grupos: a) termoplásticas y b) termofijas. Se distinguen por el proceso involucrado en su fabricación y por las propiedades que adquieren cuando se forman. Las resinas para uso general, también llamadas termoplásticos *commodities*, se producen generalmente en grandes cantidades usando tecnologías disponibles en el mercado. La mayor parte de las resinas de uso se destinan generalmente a una gran variedad de usuarios que las consumen en grandes volúmenes.

Dentro de las resinas de uso general las más importantes son el polietileno (PE); el polipropileno (PP); el poliestireno (PS); el policloruro de vinilo (PVC) y el politereftalato de etilo (PET). Estos cinco polímeros representan alrededor del 70.0% de la producción mundial de resinas.

En contraste con las anteriores, las resinas de especialidad se desarrollan para alcanzar, particularmente, condiciones ambientales extremas e involucran elevados costos de investigación y desarrollo. Estos materiales son altamente resistentes y se elaboran en base a clientes específicos para atender las necesidades individualizadas de los usuarios finales. Algunos ejemplos de este tipo de resinas son las celulósicas, los policarbonatos y las polietercetonas.

En México se producen más de veinte resinas genéricas a las que se les puede hacer variar sus propiedades según el usuario que las va a consumir y los mercados que se van a atender. Más de 80 compañías elaboran estos productos, sin embargo, 10 dominan el mercado con una participación mayor al 75%.

Los principales participantes del mercado de resinas termoplásticas son PEMEX (PE y PP); Indelpro (PP); Nacional de resinas, Poliestireno y Derivados, Polioles e Industrias Ebroquimex (PS); Primex, Policyd y Polimeros Corporativo Empresarial (PVC). Celanese, Eastman Chemical y Kimex (PET). Shell acaba de construir una planta para producir resina PET.

Las plantas se localizan principalmente en Veracruz, Nuevo León, Tamaulipas, Estado de México, Tlaxcala, Puebla y Querétaro.

### SITUACIÓN ACTUAL

El desempeño de esta industria ha sido bueno en los últimos años. México exportó cerca de 500 mil toneladas de resinas durante 1997, 0.1% más que en 1996. Además este mismo año importó cerca de 742 mil toneladas, un aumento del 40% con respecto a 1996.

La producción total de resinas sintéticas en México representa alrededor del 1.5% de la mundial. En 1997, la producción mexicana de resinas fué de 2,000,000 toneladas.

En 1997 el PIB de la industria creció aproximadamente 3.7% debido a dos factores: un aumento en las exportaciones (principalmente Estados Unidos) y un mayor consumo en el mercado interno, favorecido por un mayor crecimiento económico. En la figura 5.3 se puede observar la tendencia del crecimiento del PIB de las resinas sintéticas.

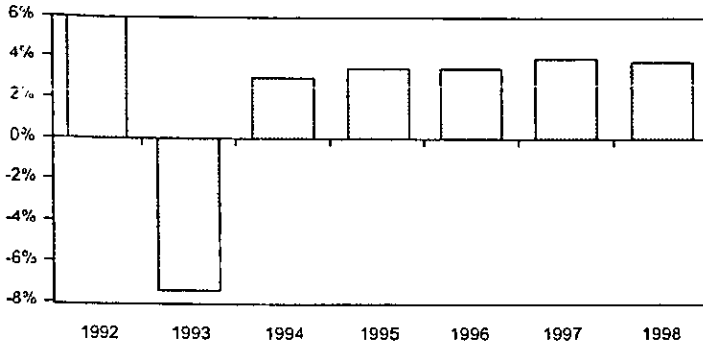


Fig 5.3 Crecimiento del Producto Interno Bruto

El consumo *per capita* en México es aun muy bajo pues equivale solo a una tercera parte de lo que se consume en las economías más industrializadas. Por esta razón, anticipando elevados crecimientos en la demanda interna, algunas empresas privadas nacionales y extranjeras construyen plantas nuevas: Hoechst Celanese construyó en México la planta de resinas PET más moderna y de mayor capacidad en Latinoamérica.

Las resinas sintéticas, al igual que la mayoría de los productos petroquímicos *commodities* están expuestas a ciclos internacionales de precios muy marcados. Según la fase del ciclo en la que nos encontremos, los precios de los productos pueden tener variaciones que en ocasiones alcanzan o sobrepasan el 100%. Actualmente nos encontramos en una fase descendente que provoca una menor rentabilidad de las empresas participantes en el sector.

## FACTORES POSITIVOS

**Privatización.** Aunque las plantas de los diferentes complejos petroquímicos que pertenecen a PEMEX no serán vendidas en su totalidad, si se favorecerá la competitividad de esta cadena al permitir que las empresas privadas alcancen mayores niveles de integración vertical.

**Ubicación.** Estamos más cerca que otros competidores internacionales del mercado más grande del mundo. Incluso el mercado del oeste de Estados Unidos (California es el de mayor potencial), está más cerca de algunas instalaciones mexicanas (ubicadas en el Golfo de México), que de las mismas estadounidenses.

**Nuevas inversiones.** Anticipando crecimientos en la demanda interna y previendo posibilidades de exportación, se están realizando nuevos proyectos de construcción de plantas en el sector.

**Tecnologías.** Tenemos plantas competitivas y con escalas de clase mundial

## FACTORES NEGATIVOS

**Escaso dinamismo de los sectores usuarios.** Los principales son empaque y envase, que disminuye en 1995, construcción, que aún no logra niveles adecuados de crecimiento y automovilístico, que aún no recupera los niveles alcanzados en el mercado interno durante 1994

**Precios.** Los precios internacionales de las resinas sintéticas se encuentran en fase descendente que afectará la rentabilidad de las empresas participantes.

**Integración.** En algunos productos no se ha alcanzado los niveles de integración que tiene la mayoría de los productos internacionales (p.ej. poliestireno) y que los hace más competitivos.

## PERSPECTIVAS

Se estima que el PIB del sector presentará un crecimiento que oscilará cerca al 4% para los próximos dos años venideros, debido al crecimiento en la demanda del sector de empaques y envases, a la mayor utilización de plásticos que se estima en el sector de la construcción y a la mayor demanda de la industria automotriz.

La manufactura de plásticos genera efectos positivos en las cadenas iniciales, es decir en la industria de resinas sintéticas que es su principal abastecedor. Se esperan crecimientos elevados principalmente en la fabricación de envases de plástico que se utiliza en la industria refresquera.

En las economías industrializadas, la sustitución de materiales tradicionales (como los metales, la madera o el vidrio) por plástico ha aumentado considerablemente

Además, están surgiendo nuevas aplicaciones que ponen mayor énfasis en características tales como la conveniencia en el uso o la seguridad. Es muy probable que esto siga generando interés por nuevos materiales de uso general. El costo, el bajo peso y la versatilidad son ventajas que vuelven muy atractivo a los plásticos en industrias como la ensambladora de autos.

Por otra parte, se espera que la demanda de materiales reciclables y biodegradables continúe e incluso vaya en aumento, así como el uso de tecnologías de reciclado más económicas. Además, los niveles en el tipo de cambio que se han alcanzado siguen favoreciendo una mayor producción de resinas nacionales y la sustitución de una parte de las importaciones.

### 5.2.2 INDUSTRIA DEL PLÁSTICO <sup>21</sup>

La industria del plástico involucra una serie de productos que se distinguen por presentar una gran variedad de propiedades, aplicaciones y por su utilización en numerosas industrias. El valor agregado bruto que genera esta industria es superior al de las industrias del vidrio, papel, cemento o resinas sintéticas.

El sector participa con el 2.24% del PIB manufacturero y con el 0.52% del PIB nacional. Existen cerca de 2,500 empresas que generan alrededor de 100,000 empleos directos. Solamente un 10% de las empresas son grandes y más del 60% son microempresas. Las plantas se localizan principalmente en el D F y en los estados de México, Jalisco y Nuevo León.

En el sector de manufacturas de plástico, participan empresas que elaboran una gran variedad de productos terminados a partir de resinas sintéticas y otros productos auxiliares como antioxidantes, estabilizadores y pigmentos. Este sector comprende el último eslabón de una de las cadenas productivas petroquímicas y absorbe una cuarta parte del consumo total de petroquímicos del país.

Hay una gran variedad de procesos que se emplean para transformar a los plásticos (en forma de polvos, gránulos, películas o líquidos) en objetos utilizados por el consumidor final.

La planta transformadora cuenta con más de 30,000 máquinas para fabricar productos plásticos. Las empresas participantes se organizan, en gran medida, según el tipo de procesamiento que se le da al plástico. Estos pueden ser, por ejemplo inyección, extrusión, soplado, rotomoldeo y calandrado.

Empresas que emplean el moldeo por inyección, por ejemplo, tienen más en común entre ellas que la gran diversidad de industrias que atienden. Este método de procesamiento es el más utilizado, seguido por el de extrusión.

Entre las empresas importantes podemos mencionar a Regioplast, Plásticos Bosco, Plásticos Rex y Plastibotellas.

#### SITUACIÓN ACTUAL

El sector ha presentado un gran dinamismo desde principios de la década. En los últimos cinco la tasa media anual de crecimiento de la producción ha sido cercana al 4.0%. El crecimiento del consumo interno ha sido aún mayor en este mismo periodo (4.42%). El crecimiento del PIB es impulsado principalmente por el mayor consumo en sectores ligados al empaque y envasado de productos (tales como alimentos y bebidas), o de sectores que utilizan, a su vez, productos de plástico para la fabricación de otros productos de mayor valor agregado (p. ej: automotriz y electrónica). En la figura 5.4 se puede observar la tendencia del crecimiento del PIB de la industria del plástico.

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**



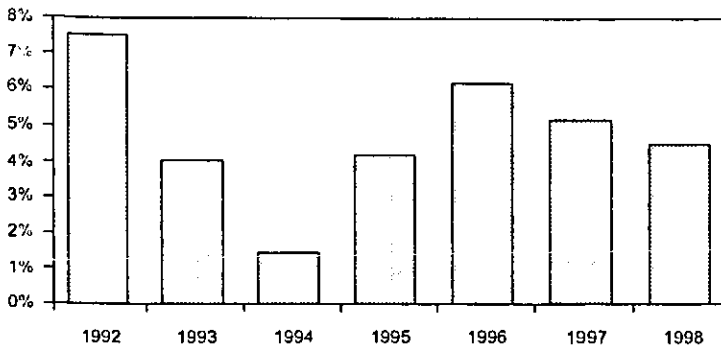


Fig 5.4 Crecimiento del Producto Interno Bruto

La rentabilidad de las empresas que permanecen en el mercado nacional se ha visto mejorada dado que los precios de los insumos han tendido a la baja durante los últimos años. Esto es particularmente cierto en el caso de las resinas sintéticas ( el componente principal del costo de los productos de plástico), que se encuentran en una fase descendente del ciclo internacional de precios de los commodities.

#### FACTORES POSITIVOS

**Importaciones.** Las importaciones directas de manufacturas plásticas se frenaron drásticamente por el nivel que ha alcanzado el tipo de cambio.

**Desarrollo de nuevos mercados.** Están surgiendo nuevas aplicaciones para los plásticos que afectan positivamente al sector. La demanda está más condicionada por características de conveniencia y seguridad de los productos, lo que puede generar mayor interés por nuevos materiales de uso general. Factores como el costo, el bajo peso y la versatilidad de nuevos plásticos los vuelve más atractivos en industrias como la armadora de automóviles.

**Modernización tecnológica.** Dado el crecimiento en la producción y el consumo de plásticos que se ha presentado en el país, algunos transformadores empiezan a modernizar maquinaria para mantener o mejorar la competitividad en algunas operaciones como la extrusión y el soplado.

#### FACTORES NEGATIVOS

**Tamaño de las empresas.** En México aún se presenta una estructura del sector donde predominan empresas micro y pequeña que no logran economías de escala competitivas.

**Poca presencia en mercados exteriores.** Está limitada por el conocimiento insuficiente de los mercados internacionales, la poca agresividad en mercadotecnia y la falta de competitividad.

## PERSPECTIVAS

Se estima que el PIB del sector tendrá un crecimiento que oscilará el 5% para los próximos dos años, como resultado de una recuperación del consumo de productos de plástico en el mercado interno y de la mayor participación que se empieza a tener en los mercados de exportación

El principal impulso en el crecimiento estimado estará dado por el dinamismo en algunos de los mercados más importantes como el empaque y envases o alimentos y bebidas

### 5.3 INDUSTRIA NACIONAL DEL POLIPROPILENO <sup>1,2</sup>

El polipropileno es producido en México por dos empresas, PETROLEOS MEXICANOS e INDELPRO. Actualmente se cuenta con una capacidad instalada de 300,000 toneladas y un consumo aparente de 350,000 en 1997.

En los últimos años el polipropileno ha sido el plástico que ha mantenido el crecimiento más importante, principalmente por su precio y propiedades que han permitido que pueda ser utilizado en aplicaciones de los sectores automotriz, eléctrico-electrónico y muebles. A partir de 1992 las importaciones comenzaron a disminuir debido al inicio de las operaciones nacionales para la producción de polipropileno y se inicia también la exportación.

#### 5.3.1 EMPRESAS PRODUCTORAS

En México existen 2 empresas fabricantes de polipropileno con una capacidad de 300,000 ton/año.

##### a) PETROLEOS MEXICANOS (PEMEX)

Inició su operación en 1991 produciendo 36,000 toneladas. Está localizada en el Complejo Morelos en Coatzacoalcos, Veracruz, y tiene una capacidad instalada de 100,000 toneladas por año. Producen el polipropileno por el método de fase líquida con tecnología de origen inglés.

##### b) INDELPRO

Esta planta inició su operación en marzo de 1992. Cuenta con una capacidad instalada de 200,000 ton/año produciendo polipropileno con la moderna tecnología "Esferipol" de Himont (ahora MONTELL) que permite un mayor grado de pureza y control de pesos moleculares.

## EMPRESAS FABRICANTES DE POLIPROPILENO EN MEXICO 1997

EMPRESA	MARCA	LOCALIZACIÓN	CAPACIDAD INSTALADA ton/año
PEMEX	PP.025.030	Complejo Morelos Veracruz	100,000
INDELPRO INDELPRO	Pro-fax Valtec	Altamira, Tamaulipas	200,000

## 5.3.2 SEGMENTACIÓN DEL MERCADO DE POLIPROPILENO

En los últimos años, el polipropileno es el termoplástico de mayor crecimiento en todo el mundo por encima del PVC, polietileno y poliestireno, debido a su excelente balance de propiedades y bajo precio, adicionando a esto su gran variedad de grados que se encuentran prácticamente en todos los mercados

En la figura 5.5 se observan los volúmenes de consumo por segmentos hasta 1996

PRODUCTO	Ton/año
ENVASE	159,500
CONSUMO	73,000
MUEBLES	19,000
ELECTRICO	11,500
CONSTRUCCIÓN	11,000
TRANSPORTACIÓN	7,000
MEDICO	3,000
INDUSTRIAL	1,000
TOTAL	285,000

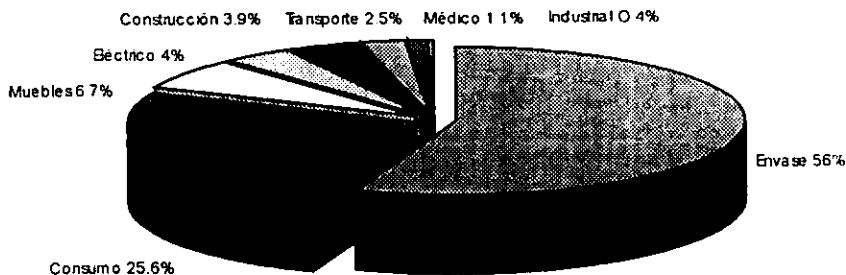


Fig. 5.5 Volúmenes de consumo por segmentación del mercado del polipropileno

## a) ENVASE

Es el segmento más importante para el polipropileno representando el 50% con 159,500 toneladas. Incluye raffia, películas biorientadas, láminas para termoformado, monofilamento y fleje que se obtienen por el proceso de extrusión.

Para este tipo de productos son alrededor de 40 empresas en México.

Por inyección existen 50 empresas que fabrican tapas para botellas y envases para alimentos y por el método de soplado 5 empresas fabrican botellas para envasar agua y alcohol para uso farmacéutico. Los volúmenes de consumo para cada producto se aprecian en la figura 5.6.

PRODUCTO	Ton/año
RAFFIA	65,000
PELICULA	45,000
TAPAS	15,000
FLEJE	12,000
CUBETAS	7,000
MONOFILAMENTO	5,500
VASOS	4,000
BOTELLAS	2,000
CAJAS	2,000
LAMINA	2,000
TOTAL	159,500

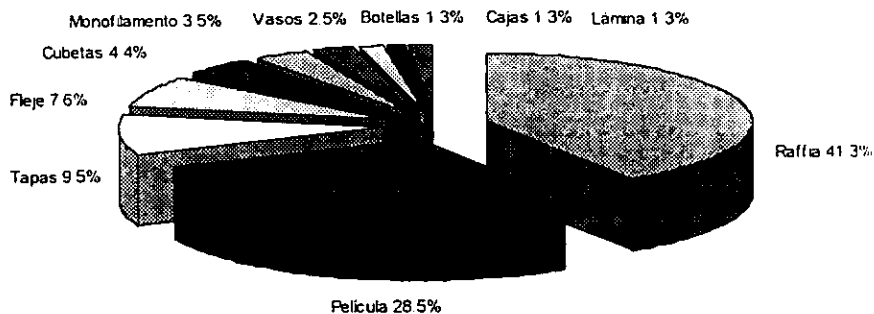


Fig. 5.6 Volúmenes de consumo para el sector de envase

## b) CONSUMO

Los artículos que componen este segmento son muy variados y frecuentemente se utilizan grados de uso general.

Recientemente se ha buscado introducir grados clarificados y copolímeros para soportar bajas temperaturas principalmente para artículos de cocina como recipientes herméticos y moldes para hielo.

Se incluyen en este sector películas para uso decorativo y regalos, cintas adhesivas, juguetes, estuches y diversas piezas inyectadas para uso en el hogar y oficina.

En total son alrededor de 120 empresas que fabrican productos de polipropileno para este sector por diferentes métodos de transformación. Los volúmenes de consumo para cada producto se aprecian en la figura 5.7.

PRODUCTO	Ton/año
DOMÉSTICOS	20,000
FIBRAS	13,000
MONOFILAMENTO	8,000
HIGIENE PERSONAL	7,000
JUGUETES	7,000
AUDIO Y VIDEO	6,000
ART. OFICINA	6,000
PELÍCULA	4,000
POPOTES	1,000
LAMINA	1,000
TOTAL	73,000

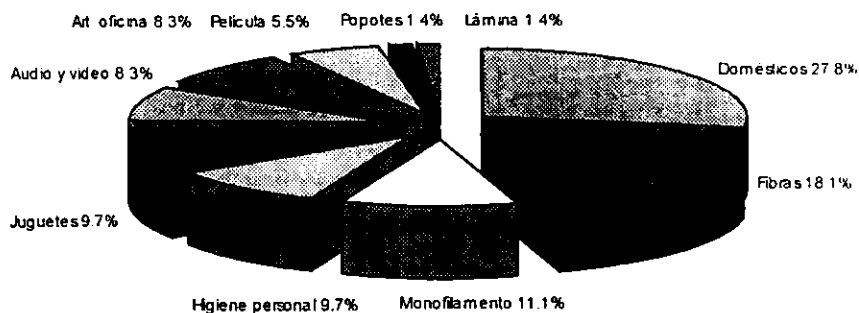


Fig. 5.7 Volúmenes de consumo para el sector de consumo.

### c) MUEBLES

Cada vez es más frecuente observar a empresas transformadoras de polipropileno en el área de inyección incursionar en el segmento de mobiliario plástico.

Esta aplicación ha sido una de las que más han crecido durante los últimos años alcanzando en 1996 las 19,000 toneladas.

Se utilizan principalmente grados de polipropileno modificados con carbonato de calcio para moldear sillas y mesas por el método de inyección.

### d) CONSTRUCCIÓN

En México es un sector poco desarrollado para aplicaciones de polipropileno, sin embargo tiene un gran potencial principalmente en la sustitución de tubería de cobre debido a que el polipropileno soporta la presión y temperatura del agua hirviendo a 90°C.

Actualmente una aplicación importante del polipropileno en este segmento es fibra para la confección de alfombras. También se incluyen algunos usos en película para cintas adhesivas así como tubería para conducción de fluidos industriales y gas. Los volúmenes de consumo para cada producto se aprecian en la figura 5.8.

PRODUCTO	Ton/año
TUBERIA	4,000
ALFOMBRAS	3,000
ACCESORIOS	3,000
PELÍCULAS	1,000
TOTAL	11,000

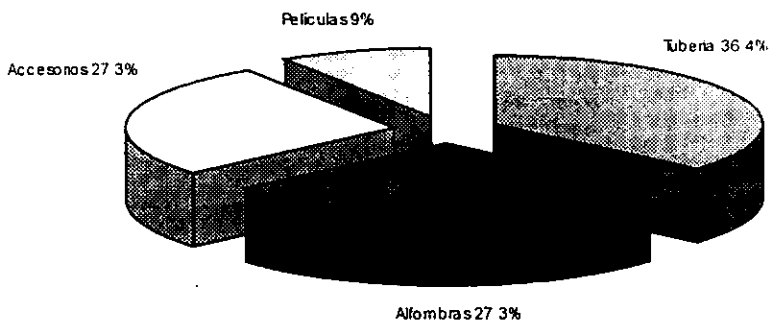


Fig. 5.8 Volúmenes de consumo para el sector de construcción.

## e) ELÉCTRICO - ELECTRÓNICO

Se utilizan polipropilenos modificados para soportar temperatura alta y esfuerzos mecánicos para moldear por inyección carcazas de aparatos electrodomésticos como cafeteras, licuadoras y planchas.

El consumo de estos grados en México durante 1996 fue de 9,500 toneladas

También se utiliza el polipropileno para recubrimiento de cables especiales para telecomunicaciones con un consumo de 1,000 ton/año. Los volúmenes de consumo para cada producto se aprecian en la figura 5.9.

PRODUCTO	Ton/año
ELECTRODOMÉSTICOS	9,500
CABLE	1,000
PELICULAS	1,000
TOTAL	11,500

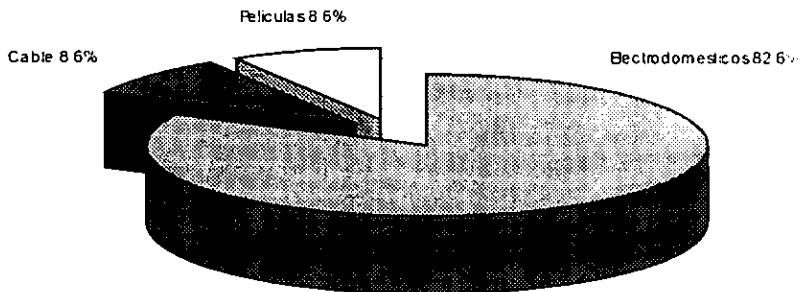


Fig. 5.9 Volúmenes de consumo para el sector eléctrico-electrónico.

## f) TRANSPORTACIÓN

Se utilizan principalmente copolímeros de polipropileno por su resistencia química en aplicaciones como acumuladores, recipientes para filtros de gasolina y tableros automotrices.

Los grados modificados con elastómeros son empleados para fabricar fascias de autos.

El polipropileno modificado ha sustituido muchas de las aplicaciones que originalmente se fabricaban en ABS e inclusive nylon en partes para el motor y diversos accesorios.

El consumo de polipropileno para este sector es de 7,000 ton/año siendo alrededor de 20 empresas transformadoras las que actualmente consumen polipropileno para el mercado automotriz.

#### g) *MEDICO*

La principal aplicación del polipropileno en este segmento son las jeringas desechables.

Se fabrican con grados homopolimeros para resistir las temperaturas de esterilización y con aprobación FDA.

El consumo actual es de 3,000 ton/año para aplicaciones de este sector. En México son dos empresas que fabrican jeringas y otras que hacen accesorios como catéteres para uso médico.

#### h) *INDUSTRIAL*

Se fabrican algunos tipos de tubería especiales para fluidos químicos y filamentos especiales para confeccionar cuerdas conocidas como cabos marinos.

El volumen de consumo de polipropileno para este sector es de 1,000 ton/año.

### TENDENCIAS DEL CONSUMO

El polipropileno en México y en el mundo presentan las mejores perspectivas de crecimiento, junto con el PET, con la ventaja sobre este último de contar con un mejor balance de propiedades que le permite competir en todos los segmentos del mercado, frente a materiales tradicionales e incluso desplazando a otros plásticos.

En México se ha observado que el polipropileno es el plástico de mayor crecimiento en volumen en los últimos años, sobre los polietilenos, PVC, y poliestireno. Las innovaciones y múltiples usos de las resinas clarificadas, con cargas minerales y otros grados de resistencias mecánicas superiores indican que el consumo aparente ha superado la producción nacional, requiriéndose de mayores cantidades de polipropileno de importación o del aumento de la capacidad de producción instalada.

El desarrollo del polipropileno se fundamentará principalmente en el comportamiento de sectores como el envase y el consumo, que indudablemente se inclinan por el uso de materiales de excelentes propiedades y muy bajo precio, características con las que cuenta el polipropileno en la actualidad.

Otras aplicaciones con tendencias a crecer son las que requieren polipropilenos modificados como son partes automotrices, piezas y carcazas para aparatos eléctricos.

En la figura 5.10 puede observarse cual ha sido el comportamiento del mercado del polipropileno de 1989 a 1997, donde se visualiza el ritmo de crecimiento.



ton/año

CONCEPTO	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
CAPACIDAD	0	0	100 000	250 000	250 000	250 000	250 000	300 000	300 000
PRODUCCION	0	0	36 000	112 000	140 000	170 000	218 000	270 000	260 000
IMPORTACION	105 000	142 000	155 000	123 000	117 000	112 000	91 000	75 000	119 000
EXPORTACION	0	0	4 000	31 000	30 000	45 000	55 000	60 000	53 000
CONSUMO	105 000	141 000	187 000	204 000	227 000	237 000	272 000	285 000	329 000
%CRECIMIENTO	18%	35.2%	31.7%	9%	11.3%	4.4%	7.2%	4.8%	14.3%

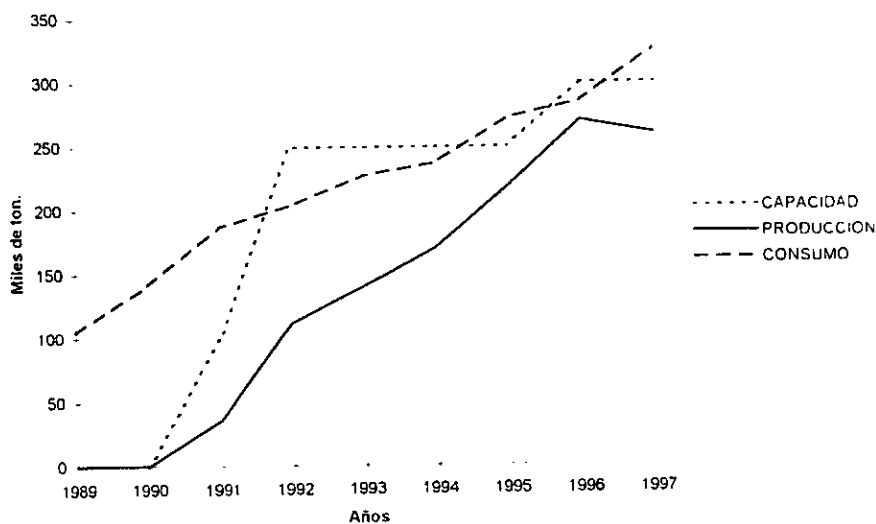


Fig. 5.10 Comportamiento del mercado del polipropileno.

## CAPÍTULO VI

### ANÁLISIS DE LAS PERSPECTIVAS

En los anteriores capítulos que componen este trabajo, se ha tratado de estudiar y soportar a través de evidencias 4 aspectos fundamentales para el análisis de la industria del polipropileno, éstos son:

- Aspectos tecnológicos
- Aspectos relacionados a la producción.
- Aspectos de diseño y aplicación del producto.
- Aspectos de mercado.

Al contemplar estos aspectos y con la ayuda de algunas herramientas de análisis utilizadas en diversos procesos de Planeación Estratégica, se esta en posibilidades de realizar en este capítulo un análisis de la situación actual de la industria nacional del polipropileno, para con ello proponer algunas posibles acciones estratégicas a realizar en el futuro y determinar su impacto en la economía nacional.

Para llevar a cabo un análisis lo más objetivo posible de las perspectivas de la industria del polipropileno, es necesario adentrarse un poco en el proceso de planeación estratégica. Se define la planeación estratégica como un proceso en el cual una empresa o industria establece sus objetivos y metas, se reconoce así misma e identifica su entorno, define políticas y estrategias para lograr las metas propuestas y desarrolla planes a futuro en un corto o largo plazo para asegurar la implantación de las estrategias y de ésta forma obtener los fines deseados.

#### 6.1 GRADOS DE LIBERTAD

A través de este análisis es posible identificar las variables que son manejadas dentro de la industria (grados de libertad) por cualquier empresa participante o con posibilidades de entrar y que le permitan estructurar sus estrategias por lograr una mejor posición competitiva. Así también existen otros aspectos denominados "grados de no libertad" y son básicamente exigencias de tipo gubernamental y de mercado sin las cuales no es posible competir. En el cuadro 6.1 se muestran algunos de los posibles "grados de libertad y no libertad" de la industria nacional del polipropileno.

Cuadro 6.1 Grados de libertad de la industria

	TECNOLOGÍA	PRODUCTO	MANUFACTURA	MERCADO
<b>GRADOS DE LIBERTAD</b>	- Selección entre diversas tecnologías disponibles	- Diversas alternativas para modificar las propiedades  - Combinación de propiedades deseadas  - Mezcla y tamaño del portafolio de productos	- Localización de la planta  - Tamaño de planta  - Selección del proceso  - Posibilidad de lograr economías de escala  - Permiso a la importación de equipo	- Segmentos en los que se desea competir
<b>GRADOS DE NO LIBERTAD</b>	- Tecnologías disponibles en manos de licenciadores extranjeros	- Restringido a aplicaciones que requieren resistencia al impacto en combinación a buena apariencia	- PEMEX único proveedor de petroquímicos básicos  - Bienes de capital de origen extranjero	- Atención al mercado por venta directa  - Se requiere asistencia técnica

## 6.2 RIESGO DE LA INDUSTRIA

Para cuantificar el nivel de riesgo de una industria es necesario identificar aquellas características tanto internas como externas, bajo los 4 aspectos fundamentales, que lo aumentan o disminuyen. Este análisis determina en gran parte el atractivo de la industria para las empresas que la componen y aquellas que están en posibilidades de ingresar y así contar con un mayor número de elementos, desde un punto de vista cualitativo, para decidir la permanencia o ingreso en la misma.

Otra de las bondades de este análisis es que auxilia la formulación de las estrategias, ya que permite identificar algunos aspectos sobre los cuales estas pueden ser enfocadas. En el cuadro 6.2 es mostrado el análisis de riesgo para la industria del polipropileno, en el cual, destacan la dependencia del suministro de tecnología, materias primas y la existencia de sucedáneos como factores que lo aumentan y la tendencia del plástico a sustituir otros materiales, disponibilidad de materias primas en territorio nacional y el mercado en etapa de crecimiento como factores que lo disminuyen.

Cuadro 6.2 Análisis de Riesgo de la industria

	TECNOLOGÍA	PRODUCTO	MANUFACTURA	MERCADO
<b>AUMENTA</b>	- Dependencia del exterior en el suministro	- Fuerte presión de sucedáneos plásticos	- Suministro de petroquímicos básicos a cargo de PEMEX  - Dependencia del exterior en el suministro de bienes de capital  - Dos plantas productoras	- Dos productores de PP  - Un solo canal de distribución  - Exposición monetaria a la inflación
<b>DISMINUYE</b>	- Tecnología competitiva  - Existe capacidad para adaptar tecnologías	- Actual desarrollo de nuevos productos  - Tendencia del plástico a sustituir otros materiales  - Producto con estándares competitivos en relación a sucedáneos plásticos  - Productos patentados	- Disponibilidad de petroquímicos básicos en territorio nacional  - Permiso a la importación de maquinaria y equipo  - Posibilidad de ampliar la capacidad instalada con pequeñas modificaciones  - Futuros proyectos de ampliación de capacidad instalada	- Mercado en su etapa de crecimiento  - Producto de precio por abajo de otros materiales de competencia  - Desarrollo de nuevos usos (segmentos)

### 6.3 ATRACTIVO DEL MERCADO

Cuando los inversionistas tienen que decidir hacia donde van a dirigir sus fondos económicos, previamente determinan cuán atractivo sigue siendo el mercado en el que se encuentran o en el que pretenden competir de tal manera de asegurar cierto rendimiento sobre la inversión a realizar si se cumplen ciertos objetivos establecidos para aumentar las ventas, participación en el mercado, utilidades y flujo de efectivo. En este análisis se trata de determinar el atractivo del mercado de PP tomando en consideración algunos factores genéricos que a su vez dan origen a algunos factores específicos que son calificados cualitativamente de acuerdo a los criterios mostrados en el cuadro 6.3 obteniéndose el perfil del cuadro 6.4.

Aunque las barreras de salida y de ingreso son conceptualmente distintas, su nivel conjunto es un aspecto importante del análisis de un sector industrial ya que es posible determinar el atractivo de este desde el punto de vista utilidades y el riesgo asociado. El mejor caso es aquel en el que las barreras de ingreso son altas pero las barreras de salida son bajas, aquí el ingreso será desanimado y los competidores fracasados abandonarán fácilmente el sector industrial.

Cuadro 6.3 Criterios para determinar el atractivo del mercado

	ALTO	MEDIO	BAJO
<b>MERCADO:</b>			
Crecimiento anual	> PIB	= PIB	< PIB
Sensibilidad al precio	Insensible	Poco sensible	Muy sensible
Estructura	Varios segmentos	2 o 3 segmentos	un sólo segmento
<b>COMPETENCIA:</b>			
Tipos de competidores	Nacionales	Algunas importaciones	Dominación extranjera
Concentración	Un sólo líder	2 líderes	Fragmentado (sin líderes)
<b>MANUFACTURA:</b>			
Sucedáneos plásticos	Sin sucedáneos	Algunos sucedáneos	Gran cantidad de sucedáneos
Dependencia de proveedores	Más de dos proveedores	2 proveedores	un sólo proveedor
Complejidad del proceso	Equipo especializado	Requerimiento mínimo de equipo especializado	Equipos menores
<b>TECNOLOGÍA:</b>			
Madurez	Posibles cambios para diferenciar	Estable	Revolucionaria
Protección	Protección a través de patentes	Protección al proceso	De fácil protección

Cuadro 6.4 Atractivo del mercado

FACTORES GENERICOS	FACTORES ESPECIFICOS	A	M	B
MERCADO	Crecimiento anual Sensibilidad al precio Estructura	●	●	●
COMPETENCIA	Tipo de competencia Concentración	●	●	●
MANUFACTURA	Sucedáneos plásticos Dependencia de proveedores Complejidad del proceso	●	●	●
TECNOLOGIA	Madurez Protección	●	●	●

6.4 FACTORES CLAVE DEL EXITO

La identificación de los factores clave del éxito para cualquier rama industrial requiere de un profundo trabajo de análisis de los diversos aspectos que caracterizan a una industria como tal, es decir, aspectos técnicos, mercado, comercialización, características del producto, etc. Una vez que han sido identificados, las empresas competidoras y las que están en posibilidades de competir tratarán de contar con todos o con la mayoría de estos factores clave del éxito si se desea lograr una posición ventajosa, con gran participación, sustanciales rendimientos, estabilidad financiera, etc., y que seguramente lograrán ser competidores exitosos, o en el mejor de los casos alcanzarán el liderazgo en el mercado. A continuación son enlistados algunos de los posibles factores clave de éxito para la industria del polipropileno.

FACTORES CLAVE PARA EL EXITO

- Contar con línea balanceada de productos y combinación de propiedades de resistencia al impacto y apariencia de acuerdo a estándares reconocidos.
- Poseer tecnología competitiva.
- Proporcionar servicio especializado de asesoría en el manejo y aplicación del producto.
- Contar con la capacidad para desarrollar mercados e identificación de nuevas aplicaciones.
- Capacidad para desarrollar volúmenes de exportación y lograr venta internacional

## 6.5 OPORTUNIDADES DE LA INDUSTRIA

Todas las industrias ofrecen a los competidores que la componen algunas posibles opciones. dentro de los 4 aspectos que se han estado analizando que los llevarán a establecer estrategias que pueden estar dirigidas hacia la capitalización de un nuevo negocio, lograr mayor penetración y/o participación en el mercado, establecer alguna ventaja competitiva, levantar nuevas barreras a la entrada o bien sanear su operación actual, estas opciones son comunmente denominadas oportunidades de la industria, su identificación depende en gran parte de la eficiencia del sistema de monitoreo del medio ambiente que se haya establecido. En el cuadro 6.5 son mostradas algunas de las oportunidades ofrecidas en la industria del polipropileno, que han sido identificadas a través de este estudio, que servirán para proponer posibles estrategias que más adelante se trataran

Cuadro 6.5 Oportunidades de la industria

TECNOLOGÍA	PRODUCTO	MANUFACTURA	MERCADO
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Posibilidad de adquirir tecnologías disponibles a través de licenciadores extranjeros.</li> <li>- Asesoría de fabricantes extranjeros mediante pago de regalías.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tendencia del plástico a sustituir otros materiales.</li> <li>- Sustituir importación de grados especiales</li> <li>- Mínimo desarrollo de grados especiales en mezclas con otros materiales.</li> <li>- Propiedades de acuerdo a estándares poco competitivos a nivel internacional.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estimulos fiscales en la importación de maquinaria y equipo para exportación de productos.</li> <li>- Aplicación de procesos no utilizados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etapa de crecimiento</li> <li>- Segmentos poco atendidos</li> <li>- Segmentos altamente potenciales</li> <li>- Pocos competidores (PEMEX e Indelpro)</li> <li>- Mercado de exportación poco atendido</li> <li>- Posibilidad de desarrollar nuevos usos (segmentos)</li> </ul>

## 6.6 FORMULACIÓN DE POSIBLES ESTRATEGIAS

Cuando se elabora cualquier estrategia, deben tomarse en cuenta los 3 principales participantes: la empresa misma, el mercado y la competencia. Cada uno de éstos es una entidad viviente con intereses y objetivos propios. Visto dentro de este contexto, la tarea de los estrategas consiste en lograr un desempeño superior, en relación con la competencia en los factores clave del éxito. Paralelamente debe estar seguro de que su estrategia combina adecuadamente los puntos fuertes de la empresa con las necesidades de un mercado claramente definido.

En términos de estos tres participantes, una estrategia se define por la manera en que la corporación se esfuerza por distinguirse, en forma positiva, de sus competidores empleando sus puntos relativamente fuertes para lograr mejor satisfacción de las necesidades del cliente.

En el cuadro 6.6 son mostradas algunas de las posibles estrategias generadas a partir de los análisis anteriores y que bien podrían ser adoptadas por cualquier empresa o bien adaptarlas de acuerdo a sus fuerzas e intereses particulares

Cuadro 6.6 Formulación de posibles estrategias

TECNOLOGÍA	PRODUCTO	MANUFACTURA	MERCADO
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adquirir tecnología de Montell, Basf o Fina</li> <li>- Desarrollar estructura para investigación y desarrollo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fabricar productos de acuerdo a estándares competitivos internacionalmente.</li> <li>- Ampliar la línea actual de productos.</li> <li>- Desarrollar nuevos productos de acuerdo a las tendencias mundiales actuales.</li> <li>- Mejorar combinación de propiedades de la línea actual de productos.</li> <li>- Fabricar productos nicho (aplicaciones especiales).</li> <li>- Sustituir la importación de grados especiales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumentar la capacidad instalada actual.</li> <li>- Aplicar otros procesos de producción utilizando equipo moderno</li> <li>- Lograr integración hacia materias primas y/o producto terminado.</li> <li>- Optimizar el proceso actual para reducir costos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concurrir al mercado internacional</li> <li>- Mayor especialización del servicio orientado a desarrollar nuevos usos</li> <li>- Participar en todos los segmentos actuales y desarrollar otros nuevos</li> <li>- Atacar sólo nichos de mercado</li> <li>- Asegurar el suministro al 100% del mercado nacional</li> </ul>



## 6.7 IMPLICACIONES DE LA ESTRATEGIAS

La factibilidad de llevar acabo las diversas alternativas estratégicas planteadas en el cuadro 6.6, depende fundamentalmente de los intereses y objetivos de las empresas, la disponibilidad de recursos económicos para la realización de los proyectos de inversión que le servirán de apoyo, las disposiciones legales surgidas a través de los planes nacionales de desarrollo, en forma de estímulos o bien restringiendo y/o prohibiendo algunas actividades.

Paralelamente a los beneficios económicos obtenidos por las empresas a través de las estrategias, la economía nacional también se ve beneficiada por las acciones derivadas en torno a éstas, dependiendo dicho beneficios de la estrategia seleccionada. El impacto de esta en nuestra economía podría traducirse principalmente en lo siguiente

- Contribuir al crecimiento del PIB de las industria de resinas sintéticas y por lo tanto al de la economía en su conjunto.
- Contribuir al crecimiento de la fuerza de trabajo de la de resinas y de la industria en general
- Aumentar el % de autosuficiencia (se refiere al cociente de la producción y el consumo aparente).
- Contribuir a que la balanza de divisas sea favorable a nuestra economía.

Podrían existir algunos otros beneficios que la economía nacional podría obtener de las resinas de polipropileno, aunque de menor importancia, sin embargo los anteriormente expuestos son lo suficientemente significativos para calificar al polipropileno como un producto con el potencial económico necesario para ser considerado por las diversas empresas en sus futuros planes de inversión.

## CONCLUSIONES

Son diversos los aspectos que podrían ser destacados de este estudio. sin embargo a continuación se encuentran aquellos que van dirigidos al cumplimiento de los objetivos que dieron origen a este trabajo y algunos otros que vale la pena mencionar como reafirmación al objetivo general del mismo:

- a) Las resinas de polipropileno son actualmente uno de los materiales plásticos en el mundo con mayor número de aplicaciones, a las cuales se les continúa encontrando diversidad de usos por lo que su penetración en las diferentes ramas industriales ha sido exitosa
- b) La disponibilidad de una gran variedad de grados de PP y el continuo desarrollo actual de algunos otros, ha sido gracias a que los investigadores particulares y las empresas, en su afán por obtener nuevos materiales, han aprovechado adecuadamente las diversas alternativas ofrecidas por las tecnologías disponibles para obtener productos con diferentes combinaciones de propiedades
- c) El mercado mundial para las resinas de PP en los últimos años ha seguido creciendo por lo que los consumos son elevados, en respuesta a esto las grandes empresas como Montell, BASF, Fina, Exxon, Amoco, etc, han desarrollado estrategias agresivas para lograr mayor participación, manifestándose así como las más exitosas en el mercado internacional.
- d) Los países con los consumos más elevados son E. U y Japón, siguiéndole las regiones de Europa Occidental y Asia-Pacífico, esta última región en los últimos años ha logrado un crecimiento importante como resultado del alto grado de industrialización que ha desarrollado y a que las diversas ramas de consumo día con día encuentran nuevas aplicaciones.
- e) Las tecnologías disponibles para la fabricación del PP están actualmente en la etapa de madurez, la innovación es mínima y la investigación y desarrollo es practicada sólo por las grandes empresas del mundo.
- f) Montell, Amoco, BASF, Fina y Exxon son las empresas que en los últimos años han marcado la pauta tecnológica, los nuevos productos desarrollados con innovadoras combinaciones de propiedades. La mejoría en las ya existentes, la amplitud y diversidad de sus líneas de productos, la experiencia y los planes de desarrollo futuros los consolida hoy en día como líderes.
- g) El mercado nacional de las resinas de PP se encuentra en una etapa de constante crecimiento, dominado por los dos únicos productores (PEMEX e Indelpro) y dividido en segmentos de alto potencial con elevadas barreras a la entrada , en general un mercado atractivo relativamente riesgoso.

- h) El aprovechamiento de las oportunidades aquí planteadas y la adaptación de la diversas estrategias derivadas de este estudio, dependerá fundamentalmente de los intereses de las empresas, las necesidades del mercado y la actitud de la competencia, y con ellas lograr un desempeño superior en los factores clave del éxito con lo que podrán asegurar una posición más competitiva
- i) El polipropileno en México y en el mundo presentan las mejores perspectivas de crecimiento, junto con el PET, con la ventaja sobre este último de contar con un mejor balance de propiedades que le permite competir en todos los segmentos del mercado frente a materiales tradicionales e incluso desplazando a otros plásticos
- j) En México se ha observado que el polipropileno es el plástico de mayor crecimiento en volumen en los últimos años, sobre los polietilenos, PVC y poliestireno. Las innovaciones y múltiples usos de las resinas clarificadas, con cargas minerales y otros grados de resistencias mecánicas superiores indican que muy pronto el consumo aparente superará la producción nacional, requiriéndose de mayores cantidades de polipropileno de importación o del aumento de la capacidad de producción instalada
- k) El desarrollo del polipropileno se fundamentará principalmente en el comportamiento de sectores como el envase y el consumo, que indudablemente se inclinan por el uso de materiales de excelentes propiedades y muy bajo precio. Características con las que cuenta el polipropileno en la actualidad

## GLOSARIO

**Copolimero.-** Es cuando hay una polimerización entre dos o más monómeros de diferente tipo, mejorándose así las propiedades del homopolímero.

**Haze.-** Es la apariencia turbia dentro o en la superficie de un plástico. Es diferente del brillo, ya que este se puede medir a cualquier plástico, mientras; el Haze solo es para materiales translucidos o transparentes. El Haze es originado por el esparcimiento de la luz dentro de un material y puede ser afectado por la estructura molecular.

**Homopolimero.-** Es un polímero obtenido por la polimerización de un monómero.

**Índice de fluidez.-** Cantidad expresada en gramos de resina, que fluye por un orificio determinado en condiciones específicas de presión y temperatura en un lapso de 10 min.

**Monómero.-** Es un compuesto químico no saturado, cuyas moléculas contienen carbono y en donde algunos átomos de carbono están unidos por un doble enlace. Esta molécula es de estructura sencilla y de bajo peso molecular y que no está mezclada con ningún otro componente.

**Plástico.-** Los plásticos son polímeros orgánicos derivados del petróleo y del gas natural que, en una etapa de su procesamiento, tienen propiedades plásticas. Esto permite que estos materiales puedan ser moldeados bajo condiciones de presión y/o temperatura.

**Plastificar.-** Es modificar una resina termoplástica por medio de calor y trabajo mecánico con objeto de fluidizarla.

**Polímero.-** Es un compuesto orgánico, natural o sintético que tiene una estructura muy grande y por tanto tiene un peso molecular muy alto. Está constituido por la unidad repetitiva llamada monómero; las propiedades del polímero dependerán de su tamaño y estructura.

**Polímeros amorfos.-** Son aquellos que tienen las moléculas en completo desorden, por lo que dejan pasar la luz entre los huecos que se forman y por lo tanto son plásticos transparentes.

**Polímeros cristalinos.-** Son aquellos que tienen sus moléculas parcialmente ordenadas por lo que el paso de la luz se dificulta, dando como resultado materiales translucidos u opacos.

**Preforma o parison.-** Tubo de resina plastificado, el cual es inflado dentro de un molde para adquirir la forma de éste.

**Resina.-** Es también un compuesto orgánico, natural o sintético, generalmente de alto peso molecular. La mayor parte de las resinas son polímeros, que tienen una presentación de líquido viscoso o espeso y polvo muy soluble.

**Termofijos.**- Son aquellos materiales que no se reblandecen con aplicación de calor cuando ya han sido transformados. Muchas de las resinas que se usan actualmente se curan por la acción de catalizadores y que no requieren aplicación de calor. A diferencia de los termoplásticos, estos materiales ya no pueden remodelarse porque al aplicarles calor los destruyen. Los materiales termofijos tienen sus uniones muy fuertes entre molécula y molécula y es esta la razón por la cual no fluyen al aplicarles calor.

**Termoplásticos.**- Estos materiales son los que se reblandecen y fluyen por aplicación de calor y presión. Así la mayoría de los termoplásticos pueden remodelarse varias veces es decir, si una pieza que se rechaza o se rompe se puede moler y volver a moldearse por aplicación de calor. Debido a su estructura los termoplásticos tienen uniones muy débiles y cuando se les aplica calor fluyen.

**Tratamiento corona.**- Tiene por objeto determinar la humectabilidad de la superficie y así mejorar la capacidad de retención de solventes y adhesivos. Para que una superficie sea adecuadamente mojada por un líquido, la tensión superficial del plástico debe ser más alta que la tensión superficial del líquido.

**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- 1) Anuario Estadístico de la industria química 1998
- 2) Enciclopedia del plástico 1997, Instituto Mexicano del Plástico Industrial.
- 3) Estadísticas de la industria del plástico 1997, Instituto Mexicano del Plástico Industrial
- 4) George, A. Steiner. Planeación Estratégica. Ed. CECOSA, 1996
- 5) Global Report, Asia - Pacific "Japan polyolefin restructures PP capacity" Modern Plastics International, January 1998, Vol. 28, No. 12, pag. 18.
- 6) Global Report, Asia - Pacific. "Montell acquires big PP business in Australia" Modern Plastics International, December 1997, Vol. 27, No. 12, pag. 18
- 7) Global Report, Europe & Middle East, Modern Plastics International, March 1998. Vol. 28, No. 3, pag. 14.
- 8) Global Report, Europe & Middle East. "Polypropylene is on a high - growth track" Modern Plastics International, November 1997, Vol. 27, No. 11, pag. 18
- 9) Global Report, Europe & Middle East. "Toyota consolidates resin with DSM PP". Modern Plastics International, May 1998, Vol. 28, No. 5, pag. 14.
- 10) Hernández Jose L., Fernández V. Luis. "El polipropileno, una visión global." Revista de Plásticos Modernos, Num. 478, Abril 1996, España, pag. 386 - 393.
- 11) Irvin, J. Rubin . Handbook of plastics, Materials and Technology, John Wiley, USA 1990, pag. 433 - 457.
- 12) John, H. Briston. Plastics films, Tercera edición, USA 1990, pag. 18 -23, 71 -83
- 13) Johnson, Erik. "PP Action plan." Chemical Engineering, May 1990, pag. 30 -37
- 14) Joseph, A. Grande. " High - clarity polypropylenes unleash new opportunities in food packaging." Moderns Plastics. August 1997, Vol. 74, No. 9, pag. 121.
- 15) Jung, N. E "Nuevas posibilidades con polipropileno." Revista de Plásticos Modernos, Num. 452, Febrero 1997, España, pag. 188 - 191.
- 16) Maack Business Services. "PP UP Date." Modern Plastics, February 1998, Vol. 75, No. 2, pag. 100.
- 17) Maack Business Services. "PP UP Date." Modern Plastics International, May 1999, Vol. 29, No. 5, pag. 149.
- 18) Maack Business Services. "PP UP Date." Modern Plastics International, December 1998. Vol. 28, No. 12, pag. 108.

- 19) Meyer, R. Rosen. "Polypropylene leads nonwovens market." Chemical Market Reporter, Agosto 24 de 1998, Vol 254, No 8, pag 26.
- 20) Moderns Plastics Encyclopedia. Scales, R.E. "PP homopolymer." Vernon, William D "PP impact copolymers." Davies, J. Kim. "PP random copolymers." 1990 pag. 98 -102
- 21) Panorama sectorial 1997-2000, Análisis de nesgo de 80 industrias. Macro Asesoría económica S.C pag. 193 - 201, 255.
- 22) Phillip Townsend Associates, Inc. "Pricing Forecast PP." Modern Plastics, June 1998, Vol. 75, No. 6, pag. 134.
- 23) Plastics News, "Plastics News resin pricing chart", July 12, 1999, pag. 37-38
- 24) Programa de desarrollo de la industria petroquímica Mexicana 1997 - 2000. Diagnóstico y Lineamientos, Secretaría de Energía, pag. 19,22,57,30,36,40
- 25) Repsol. "Nueva planta de polipropileno." Revista de Plásticos Modernos, Vol 73. Num. 491, Mayo 1997, España.
- 26) Robert, Colvin; Stephen Moore. "High price/performance ratio provides growth." Modern Plastics International, January 1997, Vol. 27, No. 1, pag 48 - 49, 65- 70
- 27) Robert, Colvin; Stephen, Moore. "Auto applications help bolster market growth." Modern Plastics International, January 1998, Vol. 28, No. 1, pag. 58 - 59, 75- 82
- 28) Robert, Colvin; Stephen, Moore. "Strong growth will carry over into diverse markets and applications." Modern Plastics International, January 1996. Vol. 26, No 1 pag 46 - 47, 63- 69.
- 29) Robert, Colvin; Stephen, Moore. "Ample supply, low prices to continue for some time." Modern Plastics International, January 1999, Vol. 29, No. 1, pag. 54,73, 76,78,80
- 30) Robert, D. Leaversuch. "Novel PP resins parallel equipment change containers." Modern Plastics, June 1998, Vol. 28, No. 6, pag. 68 - 70.
- 31) Robert, D. Leaversuch. "Technology drives PP's market growth." Modern Plastics International, January 1995, Vol. 25, No. 1, pag. 33 - 34, 59- 65.
- 32) Richard C. Miller, "1997 PP demand up 5 to 7% in US and western European Markets." Modern Plastics Encyclopedia, 1999, pag. B-8 a B-10.
- 33) Sawin, Steven P., Baas, Case J., "Unipol: A gas-phase route to polypropylene." Chemical Engineering, May 14 1985, pag. 42,43.
- 34) Tullo, Alex. "Polypropylene producers seek increase." Chemical Market Reporter. September 14 de 1998, Vol. 254, No. 11, pag. 3, 42.

## ACRÓNIMOS

ABS	ACRILONITRILO-BUTADIENO-ESTIRENO
APP	POLIPROPILENO ATÁCTICO
BOPP	POLIPROPILENO BIORIENTADO
EPDM	MEZCLA ETILENO-PROPILENO-DIENO
EPR	HULE ETILENO-PROPILENO
FDA	FOODS AND DRUGS ADMINISTRATION
OPP	POLIPROPILENO ORIENTADO
PE	POLIETILENO
PEAD	POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD
PEBD	POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD
PET	POLI(TEREFTALATO DE ETILENO)
PMMA	POLI(METACRILATO DE METILO)
PP	POLIPROPILENO
PS	POLIESTIRENO
PVC	POLI(CLORURO DE VINILO)
SRI	STANFORD RESEARCH INSTITUTE