

203



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

PLÁSTICOS DE INGENIERÍA

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**INFORME DE TRABAJO QUE PARA
OBTENER EL GRADO DE MAESTRO
EN INGENIERÍA QUÍMICA, OPCIÓN
PROYECTOS, PRESENTA:**

JUVENAL MACIAS LUPERCIO

México, D. F.

1989.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

R E S U M E N

EL PRESENTE TRABAJO PRESENTA LA SITUACION TANTO TECNOLOGICA COMO DE MERCADO DE LOS PLASTICOS DE INGENIERIA DE MAYOR IMPORTANCIA A NIVEL MUNDIAL, AL MISMO TIEMPO QUE DA A CONOCER UN ESTUDIO PROSPECTIVO DE LOS MISMOS PARA NUESTRO PAIS.

EL TRABAJO CONTIENE EN SU PRIMERA PARTE UN PANORAMA GENERAL DE LOS PLASTICOS DE INGENIERIA, LA SERIE DE PROPIEDADES EN BASE A LAS CUALES SE PUEDE CLASIFICAR A UN PLASTICO COMO DE GRAN VOLUMEN (O "COMMODITIE"), DE INGENIERIA O ESPECIAL. PARA LOS PLASTICOS CONSIDERADOS DE INGENIERIA, SE MUESTRAN EN FORMA GLOBAL SUS PRINCIPALES CARACTERISTICAS : FORMULAS, EMPRESAS QUE LOS DESARROLLARON, AÑO EN QUE FUERON LANZADOS AL MERCADO, NOMBRES COMERCIALES , PRINCIPALES PROPIEDADES, ASI COMO SU PRECIO, NIVEL DE CONSUMO Y CRECIMIENTO ESPERADO EN MEDIANO PLAZO.

EN CADA UNO DE LOS CAPITULOS SIGUIENTES SE PRESENTA UN ESTUDIO DE MAYOR PROFUNDIDAD DE LAS CINCO FAMILIAS DE PLASTICOS DE INGENIERIA MAS IMPORTANTES , ENTRE ESTOS SE INCLUYEN LOS POLIACETALES, LAS POLIAMIDAS, EL POLICARBONATO, LOS POLIESTERES DE INGENIERIA Y EL OXIDO DE POLIFENILENO.

PARA CADA UNO DE ESTOS MATERIALES SE DAN LAS RUTAS TECNOLOGICAS EXISTENTES PARA SU OBTENCION, SE DESCRIBEN LOS PRINCIPALES PROCESOS TANTO COMERCIALES, COMO EN I. Y D. UTILIZADOS PARA SU PRODUCCION, ADEMAS DE PRESENTARSE LOS COSTOS ESTIMADOS DE INVERSION Y PRODUCCION ASOCIADOS A CADA UNO DE ELLOS.

POR LO QUE AL MERCADO DE ESTAS FAMILIAS DE PLASTICOS SE REFIERE, EL ESTUDIO CONTIENE LOS PRODUCTORES A NIVEL MUNDIAL, CAPACIDADES, NOMBRES COMERCIALES, PRECIOS, PRINCIPALES APLICACIONES Y EXPECTATIVAS DE CRECIMIENTO EN LOS PROXIMOS AÑOS.

AL FINAL DE CADA UNO DE ESTOS CAPITULOS SE HACE UNA COMPARACION PRELIMINAR EN TRE LOS DIVERSOS PROCESOS EXISTENTES EN BASE A SUS PRINCIPALES PARAMETROS TECNICO-ECONOMICOS, QUE POSTERIORMENTE SE UTILIZA PARA SUGERIR EN SU CASO, SU APLICACION EN NUESTRO PAIS.

EN FORMA ADICIONAL Y EN VIRTUD DE LA IMPORTANCIA QUE ESTAN ADQUIRIENDO LAS MEZCLAS Y ALEACIONES DE PLASTICOS, EL CAPITULO SIETE CONTIENE LOS DATOS TECNICOS Y DE MERCADO MAS IMPORTANTES DE LAS MEZCLAS QUE MAYOR ACEPTACION O DESARROLLO HAN ALCANZADO, ASI COMO AQUELLAS QUE ESTAN POR INCURSIONAR EN EL MERCADO. SE INCLUYEN LAS MEZCLAS DERIVADAS DEL ABS (ACRILONITRILLO-BUTADIENO-ESTIRENO), MEZCLAS DE POLICARBONATO, POLIESTIRENOS Y ALGUNAS MEZCLAS DE ESTIRENO-ANHIDRIDO MALEICO.

POSTERIORMENTE, SE MUESTRAN LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PROSPECTIVA DE LA SITUACION FUTURA DE LOS PLASTICOS DE INGENIERIA EN NUESTRO PAIS, A PARTIR DE LA APLICACION DEL METODO DELPHI CONTANDO CON LA PARTICIPACION DE UNA SERIE DE EXPERTOS DE ESTA SUB-RAMA INDUSTRIAL. EN TALES RESULTADOS SE MENCIONAN ALGUNAS DE LAS POLITICAS SUGERIDAS PARA LA PRODUCCION DE ESTOS MATERIALES EN NUESTRO PAIS, LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS QUE ELLO ACARREARIA, LOS PLASTICOS QUE PRIMERO DEBERAN PRODUCIRSE Y SU POSIBLE IMPACTO EN EL MEDIO INDUSTRIAL MEXICANO.

FINALMENTE SE PRESENTAN UNOS PEQUEÑOS PERFILES DE PROYECTOS DE LOS PLASTICOS MAS IMPORTANTES, EN LOS QUE SE CUANTIFICA LA CAPACIDAD INSTALADA QUE SE REQUERIRIA, LAS NECESIDADES DE MATERIAS PRIMAS, EL MONTO DE LA INVERSION NECESARIA Y EL PLAZO PROBABLE PARA SU IMPLEMENTACION.

S U M M A R Y

THIS WORK PRESENTS THE TECHNOLOGICAL AND MARKET SITUATION OF THE MOST IMPORTANT ENGINEERING PLASTICS IN THE WORLD. IN ADDITION, IT CONTAINS A PROSPECTIVE STUDY OF THESE MATERIALS IN OUR COUNTRY.

IN THE BEGINNING, THE WORK CONTAINS AN OVERVIEW OF THE ENGINEERING PLASTICS, THE SET OF PROPERTIES THAT CHARACTERIZE THE PLASTICS AS COMMODITIES, OF ENGINEERING OR SPECIAL. FOR THE ENGINEERING PLASTICS, THE WORK CONTAINS THEIR MOST IMPORTANT CHARACTERISTICS AS : FORMULAS, TRADE NAMES, MAIN PROPERTIES, PRICES, CONSUMPTION LEVEL, DEVELOPMENT ENTERPRICES AND EXPECTED GROWTH.

EACH FOLLOWING CHAPTER PRESENTS A DEEPER STUDY OF THE FIVE MOST IMPORTANT FAMILIES OF THE ENGINEERING PLASTICS: POLIACETALS, POLYAMIDES, POLYCARBONATE, POLYESTERS AND POLYPHENILEN OXIDE.

THE TECHNOLOGICAL ROUTES TO PRODUCE THESE MATERIALS ARE SHOWN. BESIDES IT CONTAINS THE PROCESSES DESCRIPTION AS COMMERCIAL AS IN R. & D. AT THE SAME TIME, THERE ARE PRESENTED THE ESTIMATED COSTS OF PRODUCTION AND FIXED CAPITAL.

ABOUT THESE PLASTICS FAMILIES MARKET, THIS REPORT CONTAINS : THE WORLDWIDE PRODUCERS, CAPACITIES, TRADE NAMES, MAIN USES, PRICES HISTORY AND GROWTH EXPECTATIONS.

AT THE END OF EACH CHAPTER A PRELIMINARY COMPARISON IS MADE BETWEEN THE DIFFERENT PROCESSES BASED IN THE MAIN TECHNICAL AND ECONOMICAL CHARACTERISTICS, THAT WILL BE SUGGESTED TO APPLY IN OUR COUNTRY.

.../

FURTHERMORE AND DUE TO THE IMPORTANCE ACQUIRED BY THE PLASTIC MIXES AND ALLOYS, THE CHAPTER SEVEN CONTAINS THE MOST IMPORTANT TECHNICAL AND MARKET DATA OF THE MORE ACCEPTED AND DEVELOPED. ALSO THE MIXES THAT ARE GOING TO BE INTRODUCED IN THE MARKET. THERE ARE INCLUDED THE DERIVED ABS (ACRILONITRILE-BUTADIENE-STYRENE), POLYCARBONATE, POLYSTYRENE AND STYRENE-MALEIC ANHIDRIDE MIXES.

LATER, THE OBTAINED RESULTS WITH THE DELPHI METHOD ABOUT THE FUTURE SITUATION OF THE ENGINEERING PLASTICS IN OUR COUNTRY IS EXPLAINED, WITH THE EXPERTS ASSISTANCE, MENTIONING SOME SUGGESTED POLICIES TO BE FOLLOWED, THE ADVANTAGES AND DISADVANTAGES TO PRODUCE THOSE MATERIALS IN MEXICO AND ITS POSSIBLE IMPACT IN THE INDUSTRY.

AT LAST, THERE ARE SMALL PROJECTS PROFILES FOR THE MOST IMPORTANT PLASTICS WHICH CONTAIN THE CAPACITY, RAW MATERIALS, FIXED CAPITAL REQUIREMENTS AND THE PROBABLE PERIODS FOR THEIR IMPLEMENTATION.

plásticos de ingeniería

prólogo

Este trabajo pretende dar a conocer las principales tecnologías para la producción de los plásticos de ingeniería que más se consumen en el mundo; contiene además datos relevantes del mercado mundial de estos materiales; productores, capacidades instaladas, marcas comerciales y precios; también se realiza un breve análisis de la situación nacional en cuanto a consumo, aplicaciones y materias primas, así como un estudio prospectivo de la misma. La elaboración de este documento tiene como

objetivo apoyar el desarrollo de este subsector industrial en nuestro país, resaltando la importancia que tienen estos plásticos en el crecimiento integral de la industria mexicana.

La realización de este trabajo se llevó a cabo en la Dirección de Tecnología de la Comisión Petroquímica Mexicana, con el apoyo económico suministrado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

índice

Introducción	11	2.3.	Mercado Nacional	49	
Conclusiones	13	2.3.1.	Consumo y/o producción de poliacetales en México	49	
Capítulo 1.	Panorama General	15	2.3.2.	Usos de los poliacetales en México	49
1.1.	Antecedentes	17	2.3.3.	Mercado Nacional de las materias primas	50
1.2.	Propiedades	19	2.4.	Tecnología	53
1.3.	Procesamiento	21	2.4.1.	Rutas tecnológicas existentes para producir resinas poliacetale	53
1.4.	Resinas	23	2.4.2.	Análisis general de la ruta a partir de metanol vía formaldehído	53
1.4.1.	Poliamidaimida	23	2.4.3.	Análisis general de la ruta a partir de metanol vía trioxano	58
1.4.2.	Polieteretercetona	24	2.4.4.	Análisis general de la ruta a partir de trioxano o formaldehído por irradiación	65
1.4.3.	Polisulfonas	25	2.4.5.	Comparación entre los procesos	66
1.4.4.	Poliimididas	25	Capítulo 3.	Poliamididas	69
1.4.5.	Polieterimididas	26	3.1.	Generales	71
1.4.6.	Polisulfuro de fenilo	27	3.1.1.	Propiedades de las diferentes poliamidas	72
1.4.7.	Poliésteres	28	3.1.2.	Usos de las poliamidas	73
1.4.8.	Policarbonatos	30	3.2.	Mercado Internacional de las poliamidas	77
1.4.9.	Poliacetales	31	3.2.1.	Desarrollo histórico	77
1.4.10.	Poliamididas	31	3.2.2.	Distribución porcentual de la demanda por región	77
1.4.11.	Aleaciones de óxido de polifenileno	32	3.2.3.	Situación actual y perspectivas del mercado mundial de poliamidas	78
1.4.12.	Mezclas de plásticos de Ingeniería	33			
1.5.	Panorama actual	35			
Capítulo 2.	Poliacetales	39			
2.1.	Generales	41			
2.1.1.	Propiedades de las resinas acetal	41			
2.1.2.	Usos de las resinas acetal	42			
2.2.	Mercado Internacional de los poliacetales.	45			
2.2.1.	Desarrollo histórico				
2.2.2.	Distribución porcentual de la demanda	45			
2.2.3.	Situación actual y perspectivas	45			
2.2.4.	Precios	47			

3.2.4.	Precios	80	4.4.	Tecnología	109
3.3.	Mercado Nacional de las poliamidas	83	4.4.1.	Rutas Tecnológicas existentes para producir resinas policarbonato	109
3.3.1.	Consumo y/o producción de poliamidas en México	83	4.4.2.	Análisis general de la ruta de fosgenación directa	109
3.3.2.	Usos de las poliamidas en México	83	4.4.3.	Análisis general de la ruta de transesterificación	114
3.3.3.	Materias primas	83	4.4.4.	Comparación entre los procesos	117
3.4.	Tecnología	87	Capítulo 5.	Poliésteres	119
3.4.1.	Rutas existentes para producir nylon 6	87	5.1.	Generales	121
3.4.2.	Análisis general de los procesos catalizados por agua y aniónico	88	5.1.1.	Propiedades de los poliésteres de ingeniería	122
3.4.3.	Rutas tecnológicas existentes para producir nylon 6,6	91	5.1.2.	Usos de las resinas PBT y PET grado ingeniería	122
3.4.4.	Análisis de la ruta para producir la sal de nylon	92	5.2.	Mercado Internacional de los poliésteres de ingeniería	125
3.4.5.	Análisis de las alternativas de polimerización	92	5.2.1.	Desarrollo histórico	
3.4.6.	Otros procesos de polimerización	93	5.2.2.	Distribución porcentual de la demanda	125
Capítulo 4.	Policarbonatos	97	5.2.3.	Situación actual y perspectivas de los poliésteres de ingeniería	127
4.1.	Generales	99	5.2.4.	Precios de los poliésteres de ingeniería	128
4.1.1.	Propiedades de los policarbonatos	99	5.3.	Mercado Nacional de los poliésteres de ingeniería	131
4.1.2.	Usos de los policarbonatos	99	5.3.1.	Producción y/o consumo de poliésteres de ingeniería en México	131
4.2.	Mercado Internacional de los policarbonatos	101	5.3.2.	Materias primas	131
4.2.1.	Desarrollo histórico	101	5.4.	Tecnología	135
4.2.2.	Distribución porcentual de la demanda de policarbonato por región	101	5.4.1.	Rutas tecnológicas existentes para obtener PET y PBT	135
4.2.3.	Situación actual y perspectivas del mercado internacional de policarbonato	102	5.4.2.	Análisis General de las rutas para producir PET grado ingeniería	136
4.2.4.	Precios	103	5.4.3.	Análisis general de las rutas tecnológicas	
4.3.	Mercado Nacional	105			
4.3.1.	Producción y/o consumo de resinas policarbonato en México	105			
4.3.2.	Uso de policarbonato en México	106			
4.3.3.	Materias primas	106			

	cas para producir PBT	144		7.2.2.	Productores de mezclas	175
5.4.4.	Comparación entre los procesos para producir PET	148		7.3.	Tipos de mezclas	179
Capítulo 6.	Oxido de polifenileno	151		7.3.1.	Mezclas miscibles	179
				7.3.2.	Mezclas inmiscibles y parcialmente miscibles	179
6.1.	Generales	153		7.4.	Mezclas de resinas ABS	181
6.1.1.	Propiedades del óxido de polifenileno	153		7.4.1.	Mezclas de ABS y PVC	181
6.1.2.	Usos del óxido de polifenileno	154		7.4.2.	Mezclas de ABS y copolímeros de anhídrido maléico	183
6.2.	Mercado internacional de las resinas de óxido de polifenileno	157		7.4.3.	Copolímeros imidados SMA, terpolímeros SAMA y SMAMM	183
6.2.1.	Desarrollo histórico	157		7.4.4.	Otras mezclas de ABS	184
6.2.2.	Distribución porcentual de la demanda de óxido de polifenileno	157		7.5.	Mezclas de policarbonato	185
6.2.3.	Situación actual y perspectivas	158		7.5.1.	Mezclas de policarbonato y ABS	185
6.2.4.	Precios	159		7.5.2.	Mezclas de policarbonato y poliésteres	186
6.3.	Mercado nacional de las resinas MPPO/MPPE	161		7.5.3.	Otras mezclas de policarbonato	187
6.3.1.	Producción y/o consumo de resinas de polifenileno modificado	161		7.6.	Procedimientos, equipo y costos en la producción de mezclas	189
6.3.2.	Materias primas	161		7.6.1.	Procedimientos	189
6.4.	Tecnología	163		7.6.2.	Equipo	190
6.4.1.	Rutas tecnológicas existentes para producir óxido de polifenileno	163		7.6.3.	Costos del mezclado	190
6.4.2.	Análisis General de la ruta de oxidación	163	Capítulo 8.	Análisis prospectivo		193
6.4.3.	Comparación entre los procesos	168		8.1.	Resultados de la prospectiva nacional	195
Capítulo 7.	Mezclas y aleaciones	171		8.1.1.	Mercado	195
				8.1.2.	Tecnología	196
7.1.	Generales	173		8.1.3.	Estrategias y políticas de apoyo	197
7.1.1.	Usos y aplicaciones	174	Referencias			203
7.2.	Mercado Internacional	175	Apéndices			207
7.2.1.	Desarrollo y marco productivo actual	175		• A1 Perfiles de proyectos		209
				• A2 Generalidades sobre prospectiva y método Delphi		227
				• A3 Condiciones recomendadas para el moldeo		233

introducción

Actualmente los plásticos representan una parte muy importante en la satisfacción de muchas necesidades de cualquier sociedad civilizada del mundo. En países altamente industrializados el consumo per cápita de estos materiales está alrededor de los cien kilogramos; sin duda hemos alcanzado la era del plástico, la cual de acuerdo a ciertas estimaciones, crecerá pronunciadamente en lo que resta del presente siglo. La participación en este sentido de los plásticos de gran volumen (commodities) como los polietilenos, polipropileno, PVC, poliestireno y poliuretanos seguirán creciendo aunque a tasas moderadas; sus mercados de consumo preferencialmente serán los países en vías de desarrollo, que necesitarán satisfacer necesidades básicas e inmediatas de una población creciente. Este tipo de plásticos en los países desarrollados alcanzarán un consumo anual casi estático, sin embargo en éstos, el consumo de otros plásticos como los de ingeniería y los especiales se realizará masivamente.

El grado de desarrollo industrial de México en donde el consumo de plásticos es de casi quince kilogramos por habitante, su potencial como gran consumidor futuro de estos materiales, así como la cercanía geográfica con el país más industrializado del mundo y el mayor mercado mundial de plásticos, lo cual tiene un gran atractivo comercial, hacen necesario para nuestro país el conocimiento de la industria mundial del plástico: cómo ha sido su desarrollo, cuáles son las tecnologías empleadas y cuáles son las proyecciones mundiales, además de que algunos de estos materiales impactarán las estructuras productivas de otros sectores de la industria nacional. En función de todo ésto, y considerando el papel de la Comisión Petroquímica Mexicana como organismo encargado de planear el desarrollo de la industria

petroquímica de México, se realizó el presente trabajo sobre plásticos de ingeniería, su entorno tecnológico, de mercado y comercial, así como la evaluación de futuros escenarios de este subsector de nuestro país.

Los objetivos principales de este trabajo son: conocimiento y evaluación de las tecnologías existentes a nivel mundial para la producción de este tipo de polímeros, así como la selección de algunas de ellas para ser aprovechadas en México dentro de sistemas productivos; el conocimiento del mercado, tanto internacional como nacional, con el fin de identificar cuáles plásticos de ingeniería y en que medida afectarán a la industria mexicana; finalmente la realización de perfiles de proyectos de plásticos de ingeniería, susceptibles de ser realizados en México contabilizando sus principales características.

La metodología empleada para realizar el análisis prospectivo se basó en el método Delphi, cuya aplicación contó con la participación de ejecutivos de empresas involucradas en el negocio de los plásticos de ingeniería. Los resultados aquí emitidos tratarán de conservar la esencia de los comentarios, ideas y observaciones aportadas por el grupo; que a la vez sirvieron para conocer el panorama futuro de estos plásticos en México, su potencial de desarrollo y las oportunidades de nuestro país para entrar en su producción y comercialización.

Al principio del trabajo se describe un panorama general de los plásticos de ingeniería en el mundo, sus propiedades, productos, aplicaciones y mercados, con el fin de identificar cuales son los que mayor demanda tienen y a la vez incidir preferentemente en un estudio de profundidad para algunos de ellos y para mezclas de los mismos.

Cada capítulo posterior (2-7) comprende un plástico de ingeniería en donde se dan generalidades del producto, usos y aplicaciones, capacidad instalada, producción y consumo en el mundo por regiones, empresas productoras, mercado nacional y tecnología. En este último punto se tratan las tecnologías empleadas a nivel comercial y/o en I y D para su producción, aspectos técnicos y económicos para concluir con un análisis comparativo de ellas y seleccionar desde el punto de vista tecnológico, cuál es la mejor opción para ser utilizada en nuestro país. El capítulo de mezclas difiere un poco en estructura a los anteriores básicamente por la disponibilidad de la información, pero en medida de lo posible se conservó la uniformidad del trabajo.

Es importante mencionar que el trabajo tiene el carácter de divulgación de información tecnológica y que en algunas secciones puede resultar tal vez demasiado técnico, no obstante, la utilización de algunos conceptos de esta naturaleza es imprescindible para la objetividad y claridad en la redacción. Por otro lado, se pretende dar en el mismo algunos lineamientos de estrategias y políticas que ayuden a instituir nacionalmente la producción de estos plásticos, así como empezar el desarrollo de mercados hasta hoy muy pequeños y contrados. El presente documento aspira a ser la herramienta que haga ver las ventajas comparativas de emplear estos materiales en nuestra vida.

Conclusiones

Los resultados y las conclusiones obtenidas en la realización del presente trabajo pueden dividirse en dos partes: los obtenidos a partir de la revisión y análisis de las diferentes fuentes de consulta (literatura abierta), y las conclusiones logradas en la prospectiva nacional con base en la aplicación del método Delphi. Dentro de los resultados más importantes de la primera parte se encuentran los siguientes:

- Los plásticos de mayor consumo mundial son, en orden de importancia, las poliamidas (Nylon 6 y 6,6), los poliacetales, el policarbonato, los poliésteres de ingeniería (PET y PBT) y el óxido de polifenileno modificado.
- Se esperan altas tasas de crecimiento para el consumo mundial de los plásticos de ingeniería mencionados anteriormente, lo que los hace atractivos como proyectos de inversión.
- Otros materiales que deben tomarse en cuenta debido a su alto potencial de crecimiento en aplicaciones propias de los plásticos de ingeniería son: las mezclas y aleaciones, entre las que destacan las aleaciones realizadas con resinas de óxido y éter de polifenileno; las mezclas ABS con materiales como el PVC, el policarbonato y los derivados del anhídrido maléico; las mezclas de policarbonato con el propio ABS, los poliésteres de ingeniería, etc.
- Las mejores opciones tecnológicas para los materiales analizados son las siguientes:

Poliacetales	Producción de copolímero vía trióxano
Nylon 6	Proceso catalizado por agua
Nylon 6,6	Proceso vía sal de nylon acuosa

Policarbonato	Proceso de fosgenación directa
PBT	Proceso de transesterificación de DMT y butanodiol
PET	Proceso de transesterificación de DMT y etilenglicol
Oxido de polifenileno	Proceso de oxidación de dimetilfenol de baja energía

En cada caso se presentan las inversiones requeridas así como los costos de producción asociados y las necesidades de materias primas y servicios auxiliares.

- Con base en lo anterior las posibles empresas licenciantes de tecnología para las cinco familias de plásticos estudiados son las siguientes:

Poliacetales	Celanese, BASF, Du Pont
Poliamidas	Du Pont, BASF, Bayer
Poliésteres	Celanese, General Electric, BASF
Policarbonato	General Electric, Bayer, Mobay
Oxido de polifenileno	General Electric, BASF

- El análisis de los costos de producción y los precios internacionales reportados para estos materiales señalan que las capacidades mínimas competitivas, dependiendo del plástico, son de entre 10 mil y 15 mil T/A.

Entre los resultados más sobresalientes de la prospectiva nacional se pueden apuntar los siguientes:

- El realizar un proyecto para producir algún plástico de ingeniería en nuestro

país, contaría con las siguientes ventajas:

- 1) Cercanía al mercado más grande del mundo de estos materiales, lo que abre perspectivas de exportación.
 - 2) En México se cuenta con mano de obra barata.
 - 3) Se podrán implementar nuevas aplicaciones específicas (de estos materiales) para el mercado nacional.
 - 4) Amplias posibilidades de integración horizontal y vertical de la cadena productiva en el mediano plazo.
- Aunque el proceso integral de la manufactura de los plásticos de ingeniería es de alta complejidad tecnológica, se considera que es posible realizarla en el medio industrial mexicano.
 - Se considera que los plásticos de ingeniería de mayor consumo a mediano plazo en el país serán los poliacetales; las poliamidas y el policarbonato seguidos de las aleaciones y mezclas y el óxido de polifenileno modificado.
 - La implementación de un proyecto para la producción se considera atractiva partiendo de dos premisas íntimamente relacionadas: el apoyo de la empresa tecnóloga y la posibilidad de incurrir en mercados extranjeros.
 - El respaldo, apoyo y prestigio de las compañías tecnólogas (en la mayoría de los casos líderes del mercado), se considera un punto muy importante para lograr el éxito de una probable empresa nacional que produzca tales materiales.
 - Por lo anterior el apoyo a las empresas de riesgo compartido "joint venture", puede ser una medida que ayude a impulsar el desarrollo de proyectos en este sub-sector.
 - La disponibilidad de resinas de ingeniería en México sería uno de los factores más importantes para inducir el crecimiento del mercado interno de estos materiales. Además de que se apoyarían con ésto, los planes de inversión y/o crecimiento que tienen para nuestro país empresas como: Nissan, Xerox, Black and Decker, IBM, Hewlett-Packard, Apple, Chrysler, Ford, etc.
 - Las líneas de investigación y desarrollo dentro de este campo que se recomienda apoyar, deben orientarse primordialmente a las siguientes áreas :

- Materias Primas
- Nuevos productos
- Equipo
- Aditivos

capítulo 1

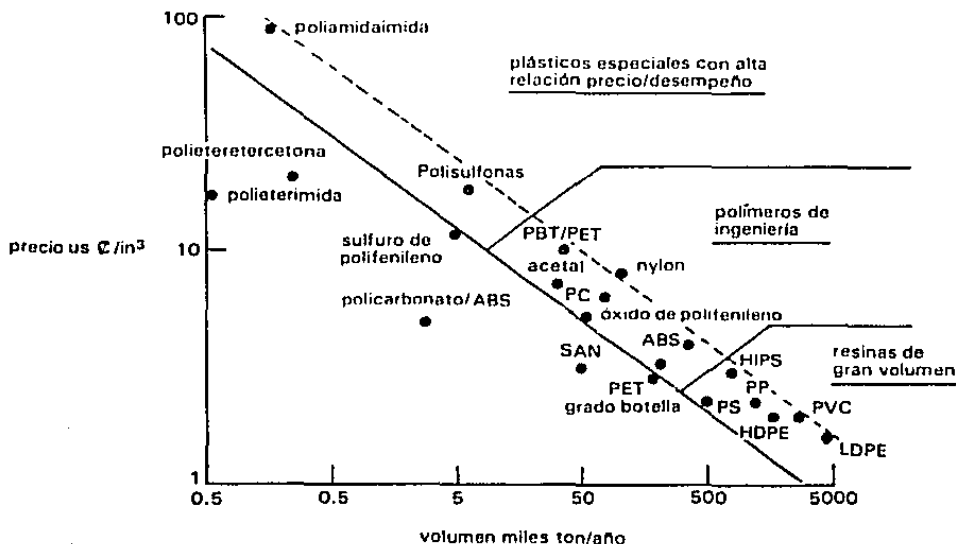
panorama general

El desarrollo de resinas de ingeniería empezó con el trabajo de Carothers sobre los nylons en E.I. Du Pont de Nemours and Co. durante los años 30's. Estos trabajos entraron en una etapa de investigación y desarrollo muy dinámica en las décadas de los 60's y los 70's; en este período emergieron al mercado varios materiales poliméricos que ofrecían una versatilidad muy grande en cuanto a sus propiedades térmicas y mecánicas, todos ellos podían sustituir a materiales tradicionales como la madera, el vidrio, la cerámica, el acero, etc., en varias de sus aplicaciones, gracias a que mantenían su estabilidad dimensional y la mayoría de sus propiedades a temperaturas mayores de 100° C y menores de 0° C.

La disponibilidad de estos materiales hizo que su aplicación en mercados especiales como la electrónica, la aeronáutica y el automotriz creciera pronunciadamente, y a su vez, muchas compañías vieron en este negocio rentabilidad en los proyectos de desarrollo, por lo cual gastaron cada vez más recursos en ellos, teniendo como efecto principal el disminuir el tiempo entre el desarrollo y la comercialización de cada uno de estos plásticos.

Actualmente, los plásticos de ingeniería forman un grupo de materiales con una relación de bajo volumen de producción/alto precio, muy diferente a la de los plásticos de gran volumen/bajo precio, incluso, éste

figura 1.1
sensibilidad de la relación precio/volumen en las resinas de gran volumen y de ingeniería (escala logarítmica)



ha permitido diferenciar a todos los materiales plásticos en aquellos de gran volumen, de ingeniería y plásticos especiales. Las características de los plásticos en estos términos se puede ver en la gráfica 1.1., sus precios son gobernados principalmente por los costos de las materias primas, por lo tanto los monómeros de los plásticos de ingeniería y de los plásticos especiales son mucho más caros que los monómeros de las poliolefinas, no obstante, cuando un plástico de ingeniería se encuentra consolidado en su ciclo de vida, al alcanzar altos niveles de producción les permite aprovechar el efecto de la economía de escala para lograr una disminución en los costos de producción, lo que se refleja en una reducción de sus precios.

A pesar de que en los últimos 20 años se desarrollaron y comercializaron varios plásticos de ingeniería, sólo la polieterimida ha sido el único material comercializado en los 80's; lo cual no es sorprendente a la luz del alto riesgo asociado con la introducción de nuevos materiales, cuyo desarrollo cuesta millones de dólares y años de esfuerzo. Sin embargo ahora se están comercializando nuevas mezclas y aleaciones de plásticos de ingeniería, a menudo diseñados para aplicaciones específicas y para las cuales solo se requieren entre dos y cuatro años para su comercialización. Además, las inversiones en equipo y planta de manufactura son mínimas.

Para las propiedades físicas, térmicas, eléctricas y mecánicas en los plásticos de ingeniería, se emplean métodos de prueba ASTM; los límites de flamabilidad se basan en estándares UL*. La tabla 1.1. muestra las propiedades, métodos de prueba y unidades en el Sistema Internacional (SI).

tabla 1.1. métodos de prueba y unidades para las propiedades de plásticos de ingeniería

propiedad	prueba astm	unidades si
físicas		
densidad relativa	d 792	adimensional
absorción de agua en 24 hrs. a 23°C	d 570	% en peso
encogimiento en el moldeo	d 955	mm/mm
transmitancia	d 1003	%
índice de refracción	— — —	adimensional
índice de amarillamiento	d 1925	adimensional
térmicas		
temperatura de deflexión a 0.46 MN/mm ² (1)	d 648	°C
a 1.82 MN/mm ²	— — —	°C
capacidad calorífica	— — —	jj/(kg. °k)
capacidad térmica	— — —	w/ltm. °k]
coeficiente de expansión térmica	d 696	por °C
nivel de flamabilidad, estandar UL 94		varios códigos
1.6 mm de espesor		varios códigos
2.3 mm de espesor		varios códigos
eléctricas		
resistencia dieléctrica en corto tiempo.	d 149	kv/mm
3.2 mm de espesor		
constante dieléctrica	d 150	adimensional
60 hz		adimensional
10 ⁶ hz		
resistividad volumétrica a 23°C. seco.	d 150	ohms. cm
factor de disipación	d 150	adimensional
60 hz		adimensional
10 ⁶ hz		

(1) N/mm² = MPa

* Underwriters Laboratories.

tabla 1.1 (continúa)

mecánicas		
resistencia a la tensión de cedencia	d 638	MPa o kg/cm ²
máxima	— — —	MPa o kg/cm ²
elongación	d 638	%
resistencia a la flexión	d 790	MPa o kg/cm ²
módulo de flexión	d 790	MPa o kg/cm ²
resistencia al corte	d 732	
de cedencia	— — —	MPa o kg/cm ²
máxima	— — —	MPa o kg/cm ²
resistencia al impacto izod en un espesor de 3.2 mm	d 256	
ranurado	— — —	jj/m
sin ranurar	— — —	jj/m
dureza rockwell	d 785	
m		adimensional
r		adimensional
reológicas		
viscosidad dinámica		pa. s
intrínseca		dl/gr.
cinemática		mm ² /s
flujo en espiral		cm
3.2 mm de espesor		
índice de fluidez	d 1238	gr.

Propiedades físicas: la morfología de los plásticos de ingeniería tiene un efecto determinante en sus propiedades físicas; en general, los polímeros cristalinos no transmiten la luz como los acetales, la mayoría de los nylons, la polieteretercetona, etc., en tanto que los polímeros amorfos sí lo hacen. Otras propiedades afectadas por las características morfológicas son las siguientes:

tabla 1.2. efecto de la morfología sobre las propiedades

propiedad	plástico cristalino	plástico amorfo
transmisión de la luz	nada - baja	alta
lubricidad	alta	baja
estabilidad dimensional	alta	moderada
encogimiento al moldeo	alta	baja
resistencia a solventes	alta	baja

El grado de absorción del agua también afecta profundamente las propiedades finales, de modo que los plásticos que absorben agua no pueden ser seleccionados para la manufactura de partes grandes, en donde se debe mantener la estabilidad dimensional.

Propiedades térmicas: todos los plásticos de ingeniería presentan excelentes propiedades térmicas, lo que permite aplicaciones en altas o muy bajas temperaturas, por ejemplo, los policarbonatos pueden usarse continuamente a 115°C, 25°C más que el acetal y 40°C más que los nylons; presentan una temperatura de deflexión de calor generalmente alta y además, en los grados reforzados estas propiedades se mejoran en forma notable.

Sin embargo, la investigación y desarrollo que los fabricantes de estas resinas están realizando está enfocada a producir materiales con propiedades térmicas predecibles, adecuadas para el tipo de procesamiento. Si cada resina tiene sus parámetros particulares, es posible determinar cuando se puede optimizar la producción; en este sentido se están desarrollando plásticos con mejor temperatura de fluidez, ciclos de manufactura más cortos y grados con alta productividad.

Propiedades eléctricas y mecánicas: las propiedades eléctricas como resistencia dieléctrica, constante dieléctrica, factores de disipación y resistividad volumétrica pueden cambiar con la temperatura y con la absorción de agua, las propiedades mecánicas también se ven afectadas con estos parámetros.

Los plásticos de ingeniería presentan propiedades mecánicas que los hacen ideales para la manufactura de partes pequeñas y muy complejas; ahí donde se requieren paredes delgadas y muy resistentes es imprescindible el uso de estos materiales. Por otro lado, cabe mencionar que se están desarrollando algunos plásticos que presentan propiedades eléctricas especiales como fotosensibilidad, conductividad eléctrica, piezoeléctricidad, etc., todos ellos presentan un panorama halagüeño para la industria eléctrica y electrónica en donde ya se están utilizando.

Resistencia química: este tipo de propiedad está menos definida que las anteriores;

los métodos de prueba incluyen inmersión en vapores o líquidos, tratamiento superficial, pruebas a altas temperaturas, etc., pero la mayoría de las resistencias al ataque químico se evalúan midiendo las propiedades de los plásticos de ingeniería antes y después de las pruebas. Los agentes que afectan la resistencia química son: químicos orgánicos, ácidos y bases acuosas, sales, soluciones tampón, luz de varias longitudes de onda, etc.

En muchos folletos comerciales acerca de plásticos de ingeniería la resistencia química se indica como excelente, buena, regular o pobre y aunque el método de prueba se describe, las interpretaciones pueden ser muy amplias.

Varias resinas de ingeniería contienen moléculas aromáticas que absorben luz visible y ultravioleta, particularmente entre 2,500 y 3,000 nm de longitud de onda, de modo que la susceptibilidad a factores fotoquímicos es importante para aplicaciones en la construcción o uso a la intemperie.

Propiedades reológicas: las propiedades reológicas de los plásticos de ingeniería se determinan tanto en el estado sólido como en el fluido; el comportamiento del flujo es importante para el diseño de partes plásticas y moldes; afecta también la formación de líneas (o zonas) en las que se concentran esfuerzos internos, llenado del molde y las condiciones necesarias de procesamiento. Las curvas de viscosidad contra esfuerzo de corte dan información muy útil y aún cuando un perfil reométrico de extrusión completo no esté disponible, la procesabilidad de la resina puede ser estimada en varias formas; el conocimiento de la clase de plástico, su nivel de reforzamiento y su viscosidad intrínseca son a menudo suficientes para el tecnólogo de plásticos experimentado. Los perfiles de propiedades completos incluyendo datos reológicos no se encuentran disponibles para todos los plásticos de ingeniería, no obstante, esta situación va cambiando como resultado de los esfuerzos analíticos realizados por los fabricantes de resinas. Estos datos son esenciales para la ingeniería y el diseño asistidos por computadora (CAD y CAM) que se están aplicando al diseño de partes con plásticos de ingeniería y al diseño de moldes.

Moldeo por inyección: este tipo de procesamiento es el más comúnmente usado para termoplásticos de ingeniería. Típicamente la resina se procesa como pélets de dos mm de diámetro por tres mm de longitud, que se hacen a partir del corte de filamentos extruídos y sometiéndolos posteriormente a secado.

Los pélets se introducen en una tolva que alimenta a una cámara de fusión actuada con un tornillo o pistón, el plástico fundido se inyecta a un molde en donde solidifica por enfriamiento. El tamaño y complejidad de la parte moldeada está en función de las características de flujo de la resina a las temperaturas de procesamiento, la viscosidad tipo de una resina debe ser 10^5 Pa. seg. a un esfuerzo de corte de 100 seg^{-1} , de este modo se obtendrán condiciones adecuadas para moldeo por inyección.

Una variación del moldeo por inyección convencional es el moldeo por inyección de espuma, en donde a la resina fundida y a presión en la cámara de fusión se le inyecta con un gas inerte o un agente neumatógeno (que mediante una reacción química produce un gas). Cuando la mezcla se encuentra en el molde, la baja presión de éste permite que los gases calientes se expandan y formen una estructura espumosa en la parte moldeada; de esta forma se pueden moldear partes muy grandes y complejas.

Dentro del apéndice de este trabajo, se presentan algunas tablas con los factores de procesamiento recomendados para ciertos plásticos de ingeniería.

Moldeo por soplado: en el moldeo por soplado la resina fundida se extruye como un tubo plástico cilíndrico, el molde se

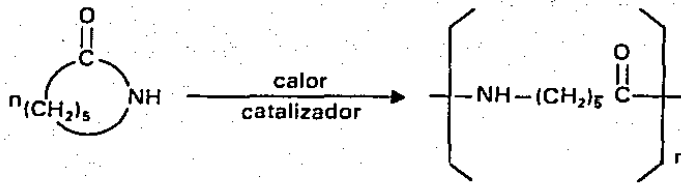
cierra alrededor del tubo y se inyecta súbitamente aire por la parte interior del tubo plástico; con esto las paredes adoptan la forma del molde, que posteriormente se abre para permitir la liberación de la parte moldeada y fría.

Algunos plásticos de ingeniería son específicamente recomendados para el moldeo por soplado, como el policarbonato ligeramente ramificado que ofrecen Bayer, Mobay y General Electric.

Extrusión: este procesamiento permite fabricar artículos como perfiles, láminas y películas. Consiste en fundir y forzar la resina a través de un dado o cabezal, algunas variaciones incluyen aplicaciones multicapas y películas para moldeo por solpado.

En coextrusiones multicapas, combinaciones de diferentes plásticos, se separan y extruyen paralelamente para posteriormente unirlos y formar una lámina o película. Este procesamiento se usa mucho en la industria del empaque para la fabricación de contenedores moldeados por soplado, películas extruídas y láminas. Los plásticos de ingeniería extruídos pueden tratarse como los otros plásticos y pueden maquinarse, cortarse y procesarse en múltiples formas, no obstante, ninguno de ellos puede considerarse un sustituto de los metales en todas las aplicaciones de éstos.

Moldeo por inyección-reacción (RIM) y fundición reactiva: estos procesamientos han sido demostrados sobre el nylon 6, el cual es polimerizado por medio de la apertura catalítica del anillo benicénico y condensación lineal de la caprolactama, la cual se puede ejemplificar por la reacción:



Caprolactama

Nylon 6

Algunos otros plásticos de ingeniería pueden procesarse de esta forma, incluso han sido empleados en construcciones preimpregnadas en donde el termoplástico es totalmente dispersado como una fase

continua con vidrio, otros plásticos, fibra de carbón o cualquier otro reforzamiento.

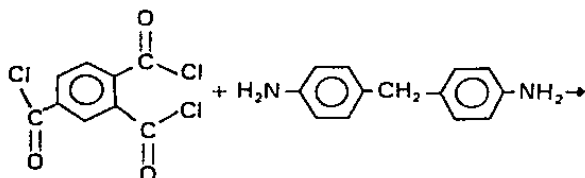
Los artículos de uso final que pueden fabricarse con estas construcciones utilizan técnicas usuales de termoformado.

A continuación se hará una revisión general de los principales plásticos de ingeniería, haciendo mención de algunos puntos relevantes como:

- Historia de su desarrollo
- Materias primas y manufactura
- Propiedades principales
- Precios y mercado internacional

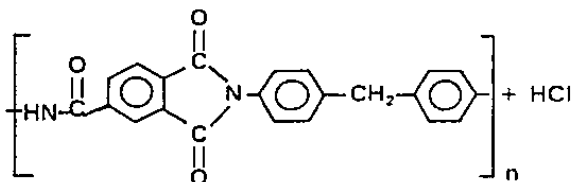
1.4.1. poliamidaimida (PAI).

Esta resina fue introducida comercialmente con el nombre de Torlon a principios de los 70's, AMOCO la desarrolló y la produjo por medio de condensación en solución del tricloruro trimelítico con metilendianilina, la reacción originada es:



Tricloruro
Trimelítico

Metilendianilina



Poliamidaimida

En una ruta alternativa, los diisocianatos aromáticos pueden tratarse con una mezcla de xilenos y n-metilpirrolidinona; esta ruta se usa para hacer materiales de recubrimiento PAI; Rhone-Poulenc produce recubrimientos por este método. La resina Torlon es un polímero amorfo de color amarillento a gris, su temperatura de flexión calórica es 274°C y presenta buena resistencia al impacto; no obstante que contiene ligaduras amidas, dimensionalmente es mucho más estable bajo varias condiciones de humedad que los nylons cristalinos estándar; presenta retardancia a la flama como las poliamidas aromáticas y las imidas y la emisión de humos es muy baja durante su proceso de combustión. La estabilidad y sus propiedades eléctricas, químicas, hidrolíticas y a la radiación son excelentes, debido a ésto se emplea en la fabricación de engranes, conectores y otras partes mecánicas. La PAI se utiliza también en aplicaciones eléctricas donde se requiere resistencia química y resistencia a la alta temperatura.

Otras propiedades se muestran en la siguiente tabla:

tabla 1.3. propiedades de la poliamidaimida

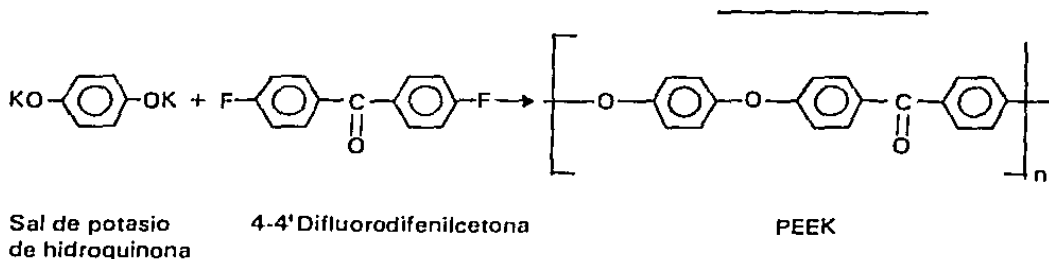
propiedad	torlon 4203 L	torlon 7130
temperatura de deflexión a 18 kg/cm ² , °C	274	278
resistencia al impacto irod á 20°C en muestra de 3.2 mm. de espesor, j/m	135	45
modulo de flexión a 20°C, kg/cm ²	52,106	203,938
densidad relativa	1.38	1.42

La resina PAI se emplea para partes simples y pequeñas, se requieren altas temperaturas y presiones para su moldeo por inyección; su presentación comercial es en pélets con diversos grados, desde resina sin reforzar hasta reforzada con fibra de vidrio en varios porcentajes.

Debido a su precio elevado y a su densidad relativa mayor de 1.3 su mercado potencial es limitado; la producción mundial fue de 90 Tons. durante 1985 con una tasa de crecimiento del 10% anual. Otras resinas competidoras del PAI en sus aplicaciones son las polieterimididas, las poliétersulfonas, los fluoropolímeros, y algunas resinas termofijas.

1.4.2. polieteretercetona (PEEK)

La resina PEEK fue comercializada por Imperial Chemical Industries, Ltd (ICI) a finales de los 70's; actualmente se produce en Inglaterra y Estados Unidos con el nombre comercial de Victrex; su manufactura se realiza a través de una reacción de desplazamiento del 4,4' -difluorodifenilcetona por una sal de potasio de la hidroquinona:



Esta resina es difícil de fabricar debido a la insolubilidad y al procesamiento batch de las materias primas.

La resina PEEK es de color gris cristalina y tiene una excepcional resistencia a los solventes, su temperatura de fusión es 288 °C. La resina base sin reforzar presenta una temperatura de deflexión de 165 °C, la cual se puede incrementar hasta cerca de su temperatura de fusión por medio del reforzamiento con fibra de vidrio; es térmicamente estable y mantiene su ductilidad después de tratamiento a 320 °C durante

una semana y puede conservarse durante años a una temperatura de operación de 200 °C. Además su estabilidad hidrolítica es excelente, presenta retardancia a la flama con poca emisión de humos y puede procesarse entre 340 ° y 400 °C. Otras propiedades de resinas comerciales se muestran a continuación

tabla 1.4. propiedades de la resina PEEK

propiedad	victrex	victrex reforzado	
		30 % fibra de vidrio	30% fibra carbón
temperatura de deflexión a 18 kg/cm ² , °C	165	292	282
resistencia al impacto izoj a 20°C en muestra de 3.2 mm. de espesor. J/m	150	110	70
módulo de flexión a 20°C, kg/cm ²	20,933	78,516	15,703
densidad relativa	1.32	1.44	1.32

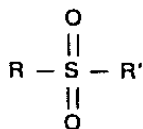
La resina PEEK se comercializa como pélets base o reforzados para moldeo por inyección, como polvo para recubrimientos o como láminas o cintas preimpregnadas con fibras. Sus aplicaciones incluyen partes expuestas a altas temperaturas, a la radiación o a medios químicos agresivos. Su principal

mercado ha sido el aeroespacial y el militar; sus principales resinas competidoras en aplicaciones por arriba de 280 °C son la poliamidimida y los poliariélsulfuros, a temperaturas inferiores, sus competidores son las poliétersulfonas, los nylons amorfos y la polieterimida.

La producción mundial de PEEK durante 1985 fue poco menos de 500 toneladas con una tasa de crecimiento de entre ocho y diez por ciento anual; su precio fue alrededor de 60 dólares/Kg. y es muy probable que continúe alto, ya que se ve afectado muy poco por la economía de escala.

1.4.3. polisulfonas

Las polisulfonas comercialmente importantes son aromáticas y en su fórmula generalizada poseen la unidad:



Donde R y R' continen anillos aromáticos; poseen también ligaduras de éter de modo que la denominación de polisulfonas, poliarilsulfonas, poliarilétersulfonas y poliétersulfonas son arbitrarias e indistintas.

Unión Carbide Corp. introdujo en 1966 la primera resina comercial de este tipo con el nombre de Udel, desde entonces, se han comercializado otros cuatro productos respectivamente por BASF, Unión Carbide, Minnesota Mining and Manufacturing (3M) e ICI.

Estas resinas se fabrican mediante procesos batch empleando reacciones de Friedel-Crafts o sustituciones nucleofílicas aromáticas. Las resinas Udel y Radel (también de UCC), se producen mediante desplazamiento nucleofílico del cloro en la 4,4'-diclorodifenilsulfona por sales de potasio del bisfenol A y 4,4'-bisfenol respectivamente; existen otras polisulfonas cuya manufactura procede vía sustituciones.

Las poliarilétersulfonas son resinas amorfas transparentes de coloración ámbar a amarilla; debido a su alta temperatura de deflexión, su resistencia a condiciones termooxidativas y a su estabilidad hidrolítica son adecuadas para instrumentos, componentes eléctricos y electrónicos, partes interiores de aeronaves y aparatos médicos y biológicos que requieren esterilización con vapor; su flamabilidad y generación de humo son bajas.

Estas resinas son sujetas a ataques por solventes orgánicos, su punto de fluidez es

muy rígido lo cual limita al tamaño y complejidad de las partes moldeadas por inyección, aunque los problemas más serios con esta resina están relacionados con su inestabilidad a la radiación ultravioleta, por lo que para usos exteriores se recomienda la aplicación de recubrimientos sobre ella.

Otras propiedades se dan a continuación

tabla 1.5. propiedades de las poliarilétersulfonas

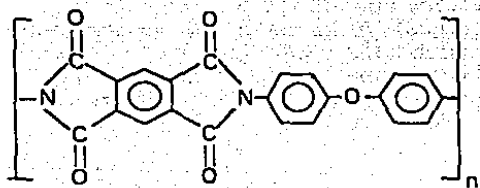
propiedad	udel	radel	astrel 360
temperatura de deflexión a 18 kg/cm ² , °C	174	203	274
resistencia al impacto (rod a 20°C en muestra de 3.2 mm de espesor, j/m	64	90	100-200
módulo de flexión a 20°C, kg/cm ²	27,419	28,512	27,738
densidad relativa	1.24	1.37	1.38
transmisión de la luz, %	85	0	85
resistencia a solventes orgánicos	baja	excelente	baja

Las poliarilétersulfonas compiten en aplicaciones con otras resinas como PEEK, PAI, y Polieterimididas. Durante 1985 las ventas mundiales fueron de 9,000 toneladas, la resina Udel fue la que mayor participación tuvo en este aspecto.

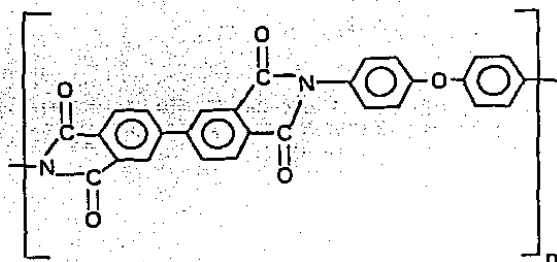
Se espera un crecimiento aproximado del 15 por ciento anual.

1.4.4. poliimididas

Durante 1979, Rohm and Haas introdujo la resina Kamax, que se produjo por medio de una imidización de la n-metilamina a partir de polimetilmetacrilato. En general, las resinas poliimida se usan en ambientes con alta temperatura y químicamente agresivos; la resina Kapton y más recientemente la Upilex se venden como películas, soluciones para recubrimiento parcialmente polimerizadas y como polvos sintetizables, sus estructuras químicas son:



Kapton



Upilex

Estas resinas poliimida tienen amplias aplicaciones en mercados de aislamiento eléctrico, y circuitos impresos flexibles, aunque presentan la desventaja de que no pueden ser reprocesables por fusión.

La Poliimida 2080 de Upjohn, la Kerimida de Rhone-Poulenc, la BT de Mitsubishi y la Imidaloy de Toshiba se basan en la tecnología de la bismaleimida para su producción; en ella el anhídrido maléico reacciona con una diamina para producir un oligómero de la diimida, la polimerización subsecuente con diamina adicional y calor produce la resina.

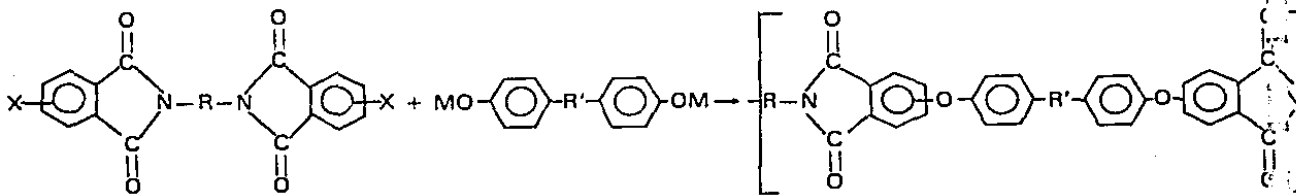
peratura no es mejor que el policarbonato lo cual limita su aplicación.

Aunque estas resinas han estado por algunos años en el mercado, sus volúmenes y aplicaciones permanecen bajos; los principales factores limitantes del crecimiento son su procesabilidad, su precio y su desempeño en altas temperaturas. Actualmente, no parecen estar claras las aplicaciones de ingeniería de estas resinas, los volúmenes de ventas de 1985 ascendieron a 400 toneladas y su crecimiento es un tanto incierto.

1.4.5. polieterimidias (PEI)

Esta resina cristalina posee excelentes características de no-flamabilidad, módulo de flexión, resistencia química y una sorprendente resistencia al impacto; no obstante, su funcionamiento en alta tem-

Las resinas polieterimida son la generación más reciente de plásticos de ingeniería, se producen por reacciones de sustitución nucleofílica poco usuales:



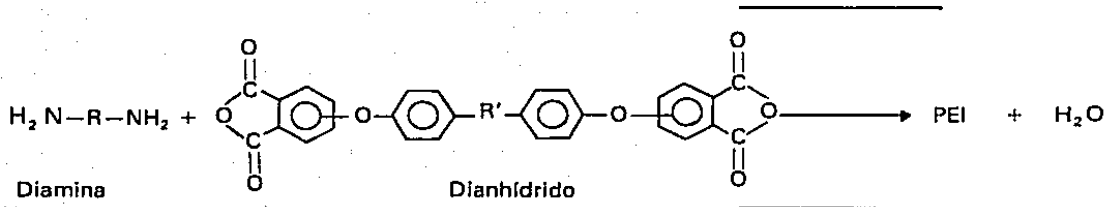
Alquildifalaimida

Sal metálica de alquil diarilato

Poliéterimida

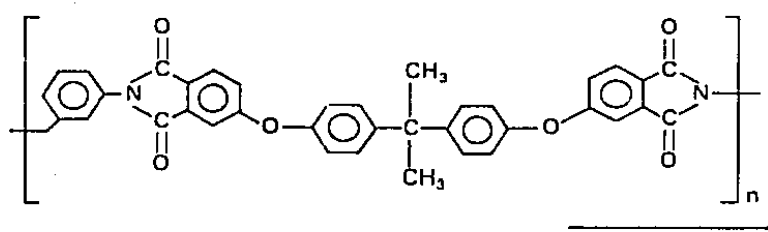
Donde M es un metal; o bien empleando reacciones de condensación convencionales de diaminas y dianhídridos:

Las resinas PEI se utilizan en numerosas aplicaciones de ingeniería donde se requiere estabilidad dimensional, resistencia



Varias resinas diferentes pueden producirse variando R y R', como en las resinas Ultem de General Electric:

a la alta temperatura, al ataque químico y retardancia a la flama. Sus usos típicos incluyen discos rígidos, cuerpos de fu-



Estas resinas Ultem son amorfas de color ámbar con una temperatura de deflexión que está dentro de las del poliarilato y la de los polímeros cristalinos de alta temperatura como PEEK o PAI. Exhiben alto módulo de flexión y son rígidas aún en filamentos, presentan poca transmisión de luz.

sibles, engranes, ventiladores para computadoras y máquinas de negocios, equipo médico esterilizable, componentes de hornos de microondas, interiores de aeronaves, interruptores de alta temperatura, aparatos industriales y militares, etc.

Son adecuadas para procesarse mediante moldeo por inyección, moldeo con espuma estructural o técnicas de extrusión a presiones moderadas y temperaturas entre 340 y 425°C. Presentan retardancia a la flama y generan poco humo durante su combustión; su estabilidad dimensional es excelente, lo cual permite fabricar grandes tableros de circuitos impresos o discos rígidos para computadoras mediante inyección. Otras propiedades se dan en seguida:

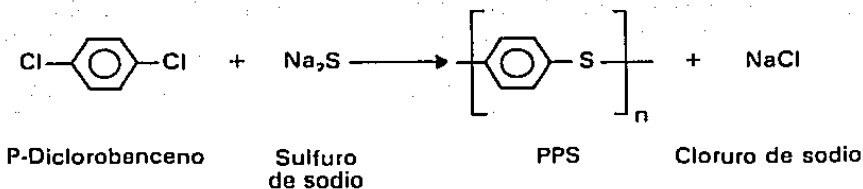
Estos polímeros compiten con PAI, poliari-létersulfona, nylons y resinas poliéster en ciertos mercados. General Electric Co., es el único productor de resinas PEI en EUA; con el crecimiento de mercados de alta tecnología, se espera que (al menos en Japón) la tasa de crecimiento de estas resinas sea de 15 por ciento.

tabla 1.6. propiedades de las polieterimidias

1.4.6. polisulfuro de fenileno (PPS)

propiedad	ultem 8200	ultem 1000
temperatura de deflexión a 18.5 kg/cm ² , °C	223	200
resistencia al impacto Izod a 20°C en muestra de 3.2 mm de espesor, j/in	80	50
módulo de flexión a 20°C, kg/cm ²	68,790	33,140
densidad relativa	1.43	1.70

Esta resina fue introducida comercialmente en 1970 con el nombre de Ryton por Phillips Petroleum Co., quien además es el único productor. Su manufactura se realiza a partir de-p-diclorobenceno y sulfuro de sodio en un solvente dipolar.



Este es un polímero cristalino con punto de fusión de 287°C, retardancia a la flama y una excelente resistencia química e hidrolítica; aunque las partes moldeadas mantienen sus propiedades mecánicas durante calentamiento prolongado, bajo ciertas condiciones la resina continúa polimerizando, lo cual reduce el carácter termoplástico de la resina. A continuación se dan algunas propiedades

tabla 1.7. propiedades del polisulfuro de fenileno

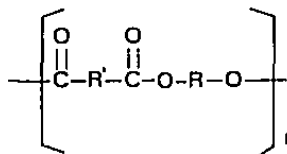
propiedad	resina PPS	zyton R-4*
temperatura de deflexión a 18.5 kg/cm ² , °C	111	241
resistencia al impacto Irod a 20°C en muestra de 3.2 mm de espesor, y/m	11	63
módulo de flexión a 20°C, kg/cm ²	39,207	112,165
densidad relativa	1.36	1.60

* PPS reforzado con 40 por ciento de fibra de vidrio.

Las resinas PPS se usan principalmente para moldeo por inyección, se requieren altas presiones para el procesamiento de las resinas reforzadas y las temperaturas de moldeo son cercanas a los 330°C. Los pélets para este propósito se encuentran disponibles en varios grados incluyendo resina base pigmentada y reforzada con minerales y fibra de vidrio; sus aplicaciones incluyen partes resistentes al ataque químico como en bombas, equipo de proceso, agitadores, etc. Estos polímeros compiten en usos con el PEI, los poliésteres, los nylons, las resinas fenólicas y el teflón. Durante 1985 se vendieron en el mundo 9,000 toneladas de PPS y se cree que su crecimiento anual sea del 10 por ciento.

1.4.7. poliésteres

La mayoría de los poliésteres se basan en ftalatos y se refieren como aromáticos-alifáticos o aromáticos únicamente de acuerdo al diol copolimerizado; la fórmula general de las resinas termoplásticas de ingeniería es:



El polietiléntereftalato (PET) y el polibutiléntereftalato (PBT) son polímeros relacionados y denominados poliésteres aromáticos-alifáticos, en tanto que el poliftalato de bisfenol A se denomina poliéster aromático o poliarilato. El PET y el PBT son los poliésteres con mayor producción, otro poliéster del mismo tipo es el Kodar de Eastman Kodak, que es una resina PET modificada con isoftalato y dimetilolciclohexano. Los poliarilatos por otro lado son los poliésteres de menor consumo.

Poliésteres aromáticos-alifáticos. Con respecto a su producción estos plásticos de ingeniería son comercializados por muchas compañías en el mundo.

Los procesos más comunes envuelven la transesterificación de dimetil tereftalato con etilenglicol o 1,4-butanodiol en presencia de trazas de catalizador metálico para fabricar PET y PBT respectivamente, la reacción es:

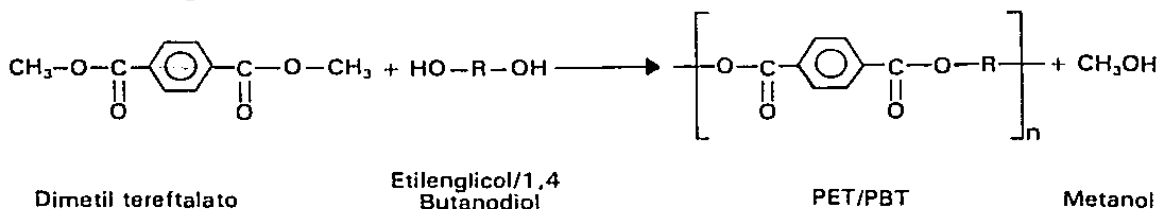


tabla 1.9. propiedades de los poliésteres aromáticos

propiedad	ardel D-100	durel-400
temperatura de deflexión a 18.5 kg/cm ² , °C	174	170
resistencia al impacto Izod a 20°C en muestra de 3.2 mm de espesor, j/m	210	275
módulo de flexión a 20°C, kg/cm ²	21,413	23,453
densidad relativa	1.21	1.21
color	amarillo	incoloro
transmisión de luz, %	75	84-88

Los poliarilatos se emplean para componentes eléctricos y electrónicos y en aplicaciones que requieren alta temperatura de deflexión.

No obstante que varias compañías han producido poliarilatos, solo Unitika y Celanese los fabrican hoy en día, la resina de Unitika la comercializa en EUA Unión Carbide con el nombre de Ardel, en tanto que Celanese planea lanzar al mercado la resina Durel, producida por Occidental Petroleum Co.

Las ventas mundiales de poliarilatos durante 1985 fueron alrededor de 1,000 toneladas y se cree que su crecimiento en el corto plazo sea pequeño.

1.4.8. policarbonatos (PC)

Los policarbonatos son plásticos de ingeniería basados en el bisfenol A que se venden en grandes cantidades, no obstante, pueden producirse empleando otros bisfenoles, aunque éstos no dan los mismos resultados favorables de propiedades y costos. Pequeñas cantidades de PC se basan en el tetrametilbisfenol A, y se emplean en la fabricación de mezclas y copolímeros. Bayer AG junto con su subsidiaria Mobay Chemical Co., y General Electric son los principales productores, aunque estas resinas son fabricadas por más de 12 compañías en todo el mundo.

Este tipo de resinas se fabrican mediante polimerización interfacial del bisfenol A y el fosgeno, la reacción ocuriente es:

en donde los grupos terminales R pueden ser aromáticos o alifáticos, en este tipo de polimerización la mezcla reactiva se disuelve en solución acuosa de sosa.

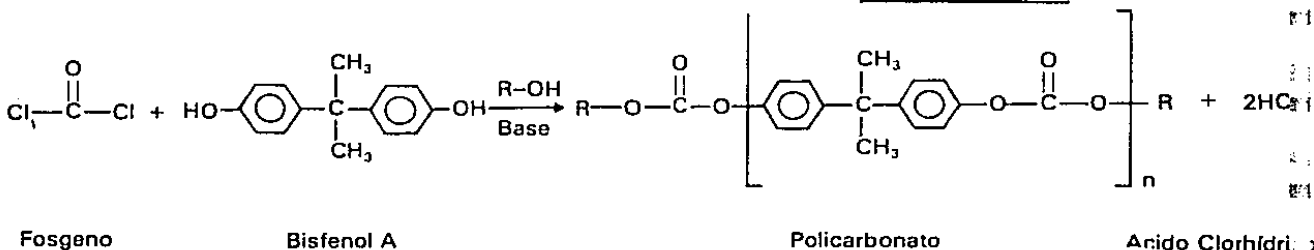
Las resinas PC son de aspecto vítreo, amorfas, casi incoloras y con excelentes propiedades ópticas; su temperatura de deflexión es de 130°C para la resina sin reforzar; poseen buena estabilidad hidrolítica pero no deben usarse en partes y artículos que requieran autoclaveado periódico; como todas las resinas amorfas son susceptibles al ataque de algunos solventes orgánicos. No obstante que los PC poseen buena resistencia a los jugos de frutas, algunas soluciones acuosas de alcoholes e incluso ácido de baterías, se pueden disolver en solventes clorados; algunas propiedades se dan a continuación:

tabla 1.10. propiedades de los policarbonatos

propiedad	lesan 101	merlon 8320 (1)	lesan 4701 (2)
temperatura de deflexión a 18.5 kg/cm ² , °C	132	142	163
resistencia al impacto Izod a 20°C en muestra de 3.2 mm de espesor, j/m	600	100	500
módulo de flexión a 20°C, kg/cm ²	23,452	24,465	23,452
densidad relativa	1.21	1.27	1.20
transmisión de la luz (%)	85	opaco	85

(1) Reforzado con 20 por ciento de fibra de vidrio
(2) PC de poliéster

Los PC se venden principalmente en pélets para moldeo por inyección disponibles en grados transparente, retardante a la flama, reforzado con mineral e impacto; también se venden para moldeo por espuma y algunos grados contienen agentes neumatógenos que se activan por el calor. Algunas resinas PC se hacen específicamente para moldeo por soplado mediante la introducción de monómeros polifuncionales duran-

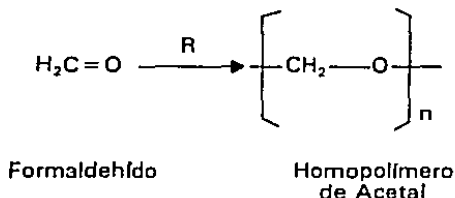


te la polimerización, esta ramificación incrementa la temperatura de fusión.

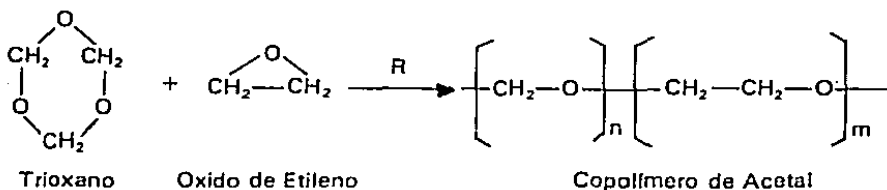
Los PC encuentran usos en muchas áreas como sustituto del vidrio en construcción inmobiliaria, para empaque como componentes de láminas extruídas multicapas, partes electrónicas, conectores, fusibles, aparatos, industria automotriz, etc. Las ventas mundiales de PC ascendieron durante 1985 a 290 mil toneladas y los crecimientos esperados anuales son del 10 por ciento.

1.4.9. poliacetales (PA)

Las resinas acetal son homopolímeros de polióxido de metileno y poliformaldehído, y formaldehído copolimerizado con óxidos alifáticos como el óxido de etileno. La resina homopolímero se produce mediante la polimerización catalítica aniónica del formaldehído y para alcanzar estabilidad térmica, la resina es terminada con una función alquilo.



Los copolímeros se producen por medio de una reacción catiónica catalizada entre el 1, 3, 5-trioxano y el óxido de etileno:



Estos plásticos de ingeniería son fabricados por cerca de seis firmas sin incluir sus subsidiarias, Celanese y Du Pont son los principales productores mundiales.

Los PA son blancos, translúcidos y cristalinos, resistentes a solventes y autolubricantes, sus características de flujo son exce-

lentes, lo cual permite ciclos de moldeo cortos.

La elección del homopolímero o copolímero depende del tipo de aplicación, por ejemplo, los homopolímeros tienen una temperatura de deflexión mayor pero menores resistencias dieléctricas, lo cual es importante en usos eléctricos.

tabla 1.11. propiedades de las resinas acetales

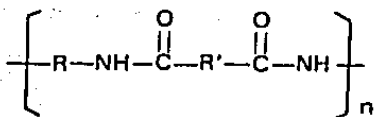
propiedad	delrin 500 (homopolímero)	calcon M90 (copolímero)
temperatura de deflexión a 18.5 kg/cm ² , °C	136	110
resistencia al impacto Izod a 20°C en muestra de 3.2 mm de espesor, j/m	75	70
módulo de flexión a 20°C, kg/cm ²	28,857	26,768
densidad relativa	1.42	1.41

Esta clase de resinas se procesan principalmente por inyección, la mayoría de los productos son vírgenes o resinas base pigmentadas, estabilizados a luz ultravioleta, reforzados con vidrio, etc., que se usan en la fabricación de cassettes, cierres, partes de válvulas, engranes, rodamientos, etc; en la industria de la construcción se fabrican en gran cantidad válvulas y conectores con estas resinas y dado que pueden ser fácilmente plateadas o cromadas, también se usan en plomería.

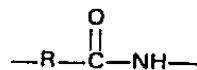
Durante 1985 se vendieron 228 mil toneladas de resinas acetal y se espera un crecimiento entre el 8 y el 10 por ciento en el uso de ellas en algunas áreas de aplicación.

1.4.10. poliamidas (nylon)

Estas resinas de ingeniería tienen las estructuras que a continuación se muestran:



Grupo Diamino-Diácido



Grupo Lactama

El método más común para hacer nylon 6,6 y otros relacionados es a través de la condensación de sales complejas por medio de calor. En este proceso reaccionan cantidades estequiométricas de diácidos y diaminas con agua para formar sales; después de la remoción de agua el calentamiento posterior convierte las funciones carboxilato en funciones amida, aquí la longitud de la cadena se controla mediante la adición de pequeñas cantidades de reactivos monofuncionales.

En los EUA existen 11 compañías que fabrican estas resinas, entre las cuales Du Pont, Monsanto, Celanese y Allied son los líderes; en Europa existen 22 productores y en Japón 6.

Los nylons comerciales son resinas principalmente cristalinas. El nylon 6,6 es el de más grande volumen de ventas, seguido por el nylon 6, aunque existe un gran número de ellos cuyos volúmenes de ventas son mucho menores: nylon 6,9; nylon 6,10; nylon 6,12; nylon 11; nylon 12. Existen pocos nylons que contengan monómeros tanto alifáticos como aromáticos, (nylons amorfos) por ejemplo, el Trogamid T está basado en una mezcla de ácido tereftálico con 2,2,4 y 2,4,4 trimetilhexametildiamina.

La siguiente tabla muestra algunas propiedades de nylons comerciales.

tabla 1.12. propiedades de las poliamidas

propiedad	nylon 6,6 (nylon 6,6)	nylon 6,10 (nylon 6,10)	trogamid T*
temperatura de deflexión a 18.5 kg/cm ² , °C	194	129	124
punto de fusión, °C	270	228	---
resistencia al impacto Izod a 20°C en muestra de 3.2. mm de espesor, J/m	53	80	85
módulo de flexión a 20°C kg/cm ²	5,506-28,551	10,197	27,531
densidad relativa	1.14	1.13	1.12

* Resina amarilla amorfa con transmisión de la luz 85-90 por ciento.

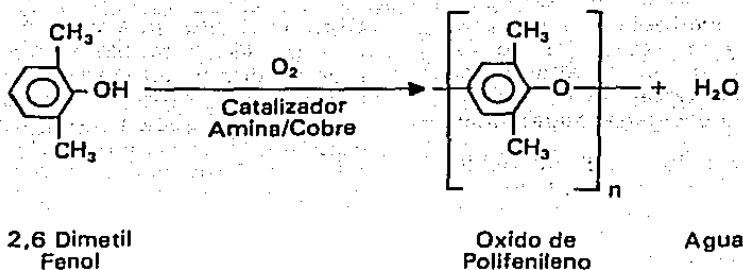
Los nylons amorfos son transparentes, sus temperaturas de deflexión son menores que las de los nylon cristalinos reforzados; además, su punto de fusión es más alto, lo cual hace su procesamiento más difícil. La estabilidad química e hidrolítica es excelente, por el contrario presenta considerable encogimiento al moldeo y sus dimensiones y propiedades varían con el agua absorbida que a veces puede alcanzar hasta el 10 por ciento.

Las poliamidas cristalinas se procesan en moldeo por inyección y extrusión principalmente, sus volúmenes de ventas alcanzaron 560 mil toneladas durante 1985 a nivel mundial y su tasa de crecimiento anual se espera entre 5 y 8 por ciento.

Las ventas de resina amorfa en este mismo período fueron de 900 toneladas y se espera un crecimiento del 8 por ciento. Actualmente esta resina compite en aplicaciones con el PAI y los poliésteres de ingeniería.

1.4.11. aleaciones de óxido de polifenileno

Las resinas de óxido de polifenileno o poliéster de fenileno se componen de monómeros fenólicos y presentan una temperatura de transición vítrea muy alta. Las resinas comerciales se basan en el 2,6-dimetilfenol y se producen mediante una polimerización oxidativa en presencia de un catalizador aminado y solución de tolueno:



Con temperatura de transición vítrea por arriba de 260°C, esta resina es muy difícil de procesar ya que el punto de fusión no está por debajo de los 255°C y a temperaturas entre 300 — 350°C el punto de flujo es muy rígido, de modo que deben tomarse ciertas precauciones para evitar la oxidación. Aunque estas resinas pueden mezclarse en diferentes proporciones con varios polímeros estirénicos, en forma comercial el PPO se distribuye en forma de mezcla con poliestireno alto impacto; al agregar poliestireno se mejora notablemente la procesabilidad del óxido de polifenileno, manteniendo la mayoría de sus propiedades en un nivel aceptable; en la práctica este tipo de aleaciones se componen además de varios aditivos adicionales como estabilizadores y retardantes de flama. Algunas propiedades de estas resinas se muestran en la tabla 1.13.

tabla 1.13. propiedades de resinas basadas en óxido de polifenileno

propiedad	noryl se 100	preves VQA	noryl gln3*
temperatura de deflexión a 18.5 kg/cm ² , °C	100	129	135
resistencia al impacto (rod # 20°C en muestra de 3.2 mm de espesor, j/m)	250	258	120
módulo de flexión a 20°C, kg/cm ²	25.492	26.512	78.516
densidad relativa	1.10	1.06	1.36

* Reforzado con fibra de vidrio.

Actualmente se están investigando otras resinas para mezclas, por ejemplo el poliéster de fenileno mezclado con poliamidas produce materiales con gran estabilidad dimensional y resistencia a solventes. Estas aleaciones se pueden emplear en el moldeo de partes que requieran estabilidad a altas temperaturas y estabilidad hidrolítica como estructura de filtros de desalinización y aparatos médicos. También se puede producir espuma plástica útil en la fabricación

de gabinetes para máquinas de negocios, computadoras, copiadoras, etc.

Las ventas mundiales en 1985 de aleaciones con poliestireno fueron de 160 mil toneladas, se espera un crecimiento anual del 9 por ciento; sus principales competidores en algunas aplicaciones son los polímeros ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno) y mezclas ABS/PC.

1.4.12. mezclas de plásticos de ingeniería

Las mezclas de plásticos de ingeniería algunas veces llamadas aleaciones de resinas de ingeniería, son mezclas de resinas de ingeniería o mezclas de ellas con plásticos de gran volumen, a continuación se dan algunas de las más importantes.

Resina de ingeniería con resina de ingeniería

- Polibutilén tereftalato — polietilén tereftalato
- Policarbonato — polibutilén tereftalato
- Policarbonato — poliéster carbonato
- Polisulfona — polietilén tereftalato
- Poliarilato — nylon
- Oxido de polifenileno — nylon
- Policarbonato — polietilén tereftalato

Resina de ingeniería con otra resina

- Polisulfona — ABS
- Poliacetal modificado
- Nylon modificado
- Polibutilén tereftalato modificado
- Policarbonato — ABS
- Policarbonato — anhídrido maléico/estireno
- Oxido de polifenileno — poliestireno

Las compañías producen estas mezclas para ampliar su capacidad de resinas existentes y sus líneas de productos sin altas inversiones de capital y así lograr perfiles de productos para cubrir necesidades específicas.

Para realizar el mezclado se debe considerar la compatibilidad de la resina, la incompatibilidad es más común y la mezcla de resinas incompatibles es inestable a menos que se empleen técnicas de compatibilización, lo cual es información confidencial de las compañías. En general la compatibilización promueve la formación de enlaces químicos entre las resinas y esto no da por resultado una mezcla homogénea, sino inclusive resulta en algunos casos laminaciones de una resina en el seno de otra.

Durante 1985 se vendieron aproximadamente 100 mil toneladas de mezclas en el mundo, principalmente empleadas en la industria automotriz y del transporte, en máquinas de negocios, computadoras, en la industria eléctrica y en la de instrumentos, su crecimiento anual se espera cercano al 17 por ciento.

Actualmente se están probando en campo nuevas mezclas, principalmente basadas en PC, tereftalatos y nylons; se cree que si las aplicaciones automotrices sustituyendo partes metálicas que se están ensayando hoy en día tiene éxito, las proyecciones pueden ser superadas.

1.5 panorama actual

Después de haber hecho una breve revisión acerca del desarrollo, producción, procesamiento y mercados de los principales plásticos de ingeniería, es innegable la importancia que hoy en día tienen estos materiales en la sociedad. Cada uno de ellos, así como sus diversos grados, han cubierto necesidades específicas de sectores industriales de gran importancia como la electrónica, la construcción, el automotriz, el de la medicina, etc., así mismo el panorama de aplicabilidad es cada vez más amplio.

Nuevos materiales

Hoy en día existen más de 30 plásticos de ingeniería en el mercado, aunque en el presente trabajo se analizaron los que observan los mayores volúmenes en el consumo, hay varios más que se han especializado tanto que ocupan nichos de mercado y que a la vez, sus volúmenes de producción se pueden medir incluso en kilogramos; sus precios de venta son muy altos y su aplicación es muy específica. Las razones del crecimiento pronunciado en el desarrollo, aplicación y comercialización de estos materiales son:

- Sus procesos de manufactura son poco intensivos en energía, además de que tienen flexibilidad y facilidad en su procesamiento.
- Son ligeros, fáciles de transportar y manejar.
- Entre sus características se pueden mencionar: resistencia al calor, gran rigidez, alta resistencia al impacto, estabilidad dimensional y excelente resistencia al ataque químico.

La investigación y desarrollo en esta área está orientada al desarrollo de polímeros tipo aromático altamente condensado y su tecnología de procesamiento. Otro aspecto relevante en el desarrollo de nuevos mate-

riales plásticos, es el mejoramiento de los mismos por medio de aleaciones poliméricas, materiales compuestos, reforzados y mezclas, en donde la calidad y funcionalidad se mejoran por medio de mutua complementariedad de propiedades de diferentes resinas, ya sea entre resinas de ingeniería o entre una de ingeniería y otra de gran volumen; también a través de la combinación diversificada de resinas con relleños y fibras (entre ellas están la fibra de carbón, fibra de boro, fibra poliamida aromática, etc.).

Nuevas aplicaciones

Hoy en día, no existe un solo producto que por su forma no pueda ser fabricado en plástico, y debido a las propiedades de los plásticos de ingeniería, sus nuevas aplicaciones en la electrónica/electricidad aprovechan las características de piezoelectricidad, fotoelectricidad y conductividad que se han desarrollado en algunos de ellos. Todo esto se usa para la fabricación de circuitos integrados y componentes electrónicos, así como algunos plásticos que gracias a sus propiedades dieléctricas o aislantes se usan ampliamente en la industria eléctrica.

En la industria aeroespacial, muchas compañías aéreas están aplicando plásticos de ingeniería reforzados especialmente desarrollados para cumplir con un objetivo dentro del aeronave, ya sea para piezas interiores o incluso para componentes estructurales (principalmente en las alas); en algunos países se está promocionando este tipo de aplicaciones para construir aviones más ligeros.

Una de las aplicaciones más revolucionarias de éstos productos es en la medicina, la fabricación de instrumental, partes de algunos equipos médicos y además se apro-

vechan las propiedades de biocompatibilidad para fabricar venas sintéticas, huesos, órganos internos, piel sintética, etc., lo que presenta un panorama prometedor para el futuro de la salud social.

En cuanto a la tecnología de procesos, se cree que con el desarrollo de membranas de separación por medio de ultrafiltración, ósmosis inversa y diálisis se reduzcan enormemente los consumos energéticos de los procesos; la selectividad de separación rendirá mejores resultados que las operaciones actuales; las membranas de enriquecimiento de oxígeno además mejorarán los procesos de combustión con el consecuente ahorro energético, en fin, los polímeros se presentan como una gran posibilidad para aumentar la autosuficiencia energética de los procesos químicos y así, se pueden enumerar un sinnúmero de aplicaciones que están teniendo los plásticos.

Procesamiento/maquinaria

El procesamiento de los materiales plásticos siempre ha estado en evolución, desde las primeras inyectoras manuales, hasta las máquinas totalmente automatizadas para procesos de coextrusión que producen miles de piezas muy complejas por hora; es ciertamente impresionante encontrar máquinas tan grandes y sofisticadas que pueden moldear una carrocería de automóvil de una sola pieza o bien tan pequeñas que pueden ser transportadas fácilmente. Hoy en día, toda máquina procesadora posee sistemas de control muy precisos empleando software especializado como inteligencia artificial o sistemas expertos para cambiar la línea de productos o de procesamiento, todo sin la intervención del operador.

El uso de la robótica acentúa la dependencia que están alcanzando estas líneas de producción totalmente automatizadas, en países desarrollados ya se tienen plantas con estos sistemas integrados. Por otro lado, los procesos de fabricación de estos materiales están ahora encaminados a mejorar las propiedades de procesamiento sin disminuir las otras características de las mismas. La adición de algunos compuestos ha permitido que se mejoren sustancialmente los índices de fluidez a ciertas temperaturas, con lo cual, los procesadores del plástico de ingeniería han mejorado la productividad y el consumo energético de los

procesos de manufactura. La complejidad de formas no es impedimento para estos plásticos, paredes delgadas y resistentes en algunas piezas se pueden lograr empleando un plástico con alto índice de fluidez, sin menoscabo de su resistencia y estabilidad dimensional.

Estos dos grandes aspectos de los plásticos de ingeniería no pueden avanzar sin un apoyo económico que soporte las actividades de I y D. En países desarrollados se invierte mucho dinero en estos programas, además de que ya se tiene la infraestructura especializada y recursos humanos suficientes y de alto nivel, de ahí nacen todas estas innovaciones tecnológicas para la satisfacción de algunas necesidades sociales e industriales.

Para concluir esta parte del trabajo, es conveniente mencionar que los plásticos de ingeniería comprenden una parte muy importante del volumen de las ventas mundiales de plástico, al grado tal, que en algunas regiones del mundo, específicamente Estados Unidos, Europa Occidental y Japón, se habla ya de los plásticos de ingeniería de gran volumen. Esta terminología contempla a aquellos cinco plásticos de ingeniería que más se consumen mundialmente y que son:

- Poliamidas
- Poliacetales
- Policarbonatos
- Oxido de polifenileno modificado
- Poliésteres alifáticos

Sin embargo, esto no quiere decir que dichos materiales satisfagan todas las necesidades de uso y aplicación, por el contrario, la sustitución intermaterial entre ellos es muy dinámica, el desarrollo de nuevas aplicaciones y nuevos materiales viene a reforzar este patrón de comportamiento comercial.

De forma paralela, se ha dado un giro a la utilización de estos materiales considerándolos ahora como elementos constituyentes de mezclas o aleaciones, en las que se pueden aprovechar óptimamente las ventajas de propiedades específicas de diferentes materiales termoplásticos y que presentan ventajas adicionales con respecto al desarrollo de nuevos plásticos de ingeniería.

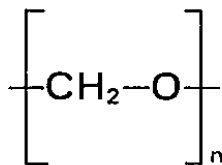
Considerando ahora el crecimiento histórico de la industria mexicana del plástico así como su desarrollo futuro, existen altas probabilidades de que sean los plásticos de ingeniería con mayor volumen de ventas mundiales los que primeramente inunden el mercado nacional; asimismo, puede pensarse que necesariamente son los que primero se deberán producir en nuestro país y de esta forma, estar acordes con los line-

amientos del desarrollo industrial del país para el sector petroquímico.

En función de lo anterior, el resto del trabajo contempla un análisis profundo de estos cinco plásticos de ingeniería así como de mezclas y aleaciones desde el punto de vista comercial, de mercado y principalmente tecnológico.

capítulo 2

poliacetales



2.1. generales

Los polímeros del formaldehído de alto peso molecular se conocen desde la década de los treinta, pero eran inestables y su aplicación comercial limitada. A principio de los años 50's y después de varios años de investigación, E.I. Dupont de Nemours & Company descubrió que los polímeros sólidos del formaldehído a los que denominaron "Resinas Acetal", se podían producir a partir de formaldehído de alta pureza y se hacían estables al reemplazar a sus grupos terminales hidroxilo por grupo éster. El polímero resultante presentó una excelente resistencia al impacto, a la compresión y al uso o desgaste lo que le permitió competir favorablemente en muchas de las funciones normalmente reservadas a los metales.

De esta forma, a finales de 1959 Du Pont lanzó la primera resina acetal comercial. Casi al mismo tiempo Celanese Corporation desarrolló un producto similar usando trioxano como materia prima e incorporando moléculas de óxido de etileno a la cadena principal del polímero, dando como resultado un copolímero de características semejantes a las del homopolímero.

Hasta 1961 Celanese y Du Pont eran los únicos productores de resinas acetal. Las aplicaciones de estas resinas incluían construcción de válvulas, uniones, engranes y partes eléctricas normalmente fabricadas con metales y resinas como Nylon y ABS (Acrilonitrililo-Butadieno-Estireno).

A principios de 1983 Du Pont introdujo un poliacetal de alto impacto super duro (de la serie conocida con el nombre comercial DELRIN), al mezclarlo con un elastómero. Al combinar estos materiales se obtiene una estructura del polímero en forma de red interpenetrada (IPN), que comparada con otros grados de DELRIN ofrece una mayor resistencia y dureza, manteniendo su fácil procesabilidad con lo que esta desplazando

a metales y a otros termoplásticos de ingeniería.

A mediados de 1985 Celanese introdujo una nueva línea de acetales modificados de alto impacto, usados principalmente en aplicaciones de extrusión y moldeo por soplado, éstos acetales son aleaciones de nombre comercial "DURALOY 1000".

Otros desarrollos recientes incluyen grados de recubrimiento con propiedades de flujo mejoradas y con características antiestáticas para aplicaciones en la industria de videocassettes.

2.1.1. propiedades de las resinas acetal

Las principales propiedades, intermedias entre las de los plásticos y los metales, de las resinas acetal son las siguientes:

- Excelente resistencia mecánica y rigidez
- Excelente resistencia a la fatiga
- Excelente estabilidad dimensional
- Alta resistencia al impacto
- Buena flexibilidad
- Bajo coeficiente de fricción
- Excelente resistencia a la humedad y solventes
- Buenas características de aislamiento eléctrico
- Rango normal de temperaturas de operación: 51 °C a 160 °C
- Buena apariencia
- Lubricabilidad natural

En la tabla 2.1. se dan los valores numéricos de las principales propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas tanto del copolímero como del homopolímero.

tabla 2.1. propiedades de las resinas poliactal

propiedad	homopolimero	copolimero	prueba A S T M
mecánicas			
resistencia a la tensión a 23°C (Kg/cm ²)	702.56	617.93	D 638
% de elongación a ruptura	23 - 75	40 - 75	D 638
módulo de tensión a 23°C (Kg/cm ²)	31,610	28,806	D 638
módulo de flexión a 23°C (Kg/cm ²)	28,857	26,348	D 790
esfuerzo a compresión a 23°C (Kg/cm ²)			D 695
1% de deflexión	365	316	
10% de deflexión	1264	1121	
Resistencia al corte a 23°C (Kg/cm ²)	662	540	
resistencia al impacto izod a 23°C ranurado (J/m)			D 732
23°C	69-122	53-80	
-40°C	53-95	43-64	
% de absorción de agua después de 24 hrs. a equilibrio (50% de humedad relativa) a 23°C	0.25	0.22	D 570
a equilibrio (en inmersión)	0.22	0.18	
dureza rockwell, escala m	94	80	D 785
coeficiente de fricción dinámica con acero	0.1-0.3	0.15	D 1894
con aluminio	--	0.15	
contra sí misma	--	0.35	
gravedad específica	1.42	1.41	D 792
térmicas			
temperatura de deflexión (°C)			D 648
a 18 Kg/cm ²	136	110	
a 4 Kg/cm ²	172	158	
coeficiente de expansión térmica lineal X 10 ⁻⁶ /°C	75	84	D 696
conductividad térmica (W/m °K)	0.2307	0.2307	
capacidad calorífica (J/KG °K)	1465	1465	
punto de fusión (°C)	175	165	
temperatura de flujo, °C	184	174	D 569
eléctricas			
constante dieléctrica			D 150
10 ² - 10 ⁶ Hz	3.7	3.7	
factor de disipación			D 150
10 ² Hz	--	0.00010	
10 ³ Hz	--	0.00010	
10 ⁴ Hz	--	0.00015	
10 ⁶ Hz	0.0048	0.006	
resistencia dieléctrica (Kv/mm)			D 149
corto tiempo en hojas de 2.29 mm	20	20	
resistividad superficial (ohm)	1X10 ¹⁵	1.3X10 ¹⁶	D 257
resistividad volumétrica (ohm cm)	1X10 ¹⁵	1X10 ¹⁴	D 257

2.1.2. usos de las resinas acetal

Las resinas acetal tienen sus principales usos en los mercados automotriz, de bienes de consumo final, componentes de maquinaria industrial, fabricación de tuberías, partes eléctricas y electrónicas e

instrumentos. La descripción de cada uno de éstos mercados se dá a continuación.

automotriz

El uso principal de los poliacetales se encuentra en las partes para automóviles y camiones, principalmente en pequeños componentes mecánicos donde se re-

quieren buena resistencia y apariencia agradable. Ejemplos comunes de estas partes son manijas de puertas y ventanas, limpiadores, broches de cinturones de seguridad y partes para el sistema de combustible. En algunas partes automotrices el uso de los poliacetales está limitado a las temperaturas que éstos soportan.

artículos de consumo

Este es el segundo mercado en importancia para los poliacetales, y aunque en los artículos de consumo las preferencias del consumidor juegan un papel muy importante, los poliacetales suelen seleccionarse para fabricar objetos que requieren de dureza y estabilidad como son: fabricación de cierres para ropa y bolsas, rollos de cintas para grabar, partes de plumas, dispositivos para encendedores, etc.

Para los próximos cinco años se espera un crecimiento moderado de este mercado debido a que se prevee que en el mercado de las cintas de video cassetteras, las resinas de ABS desplacen a los poliacetales en base a su menor costo.

maquinaria industrial

En este mercado las propiedades que se requieren son de lubricancia, estabilidad dimensional y rigidez, propiedades que reúnen las resinas acetal, lo que las hace competir favorablemente con los metales en la fabricación de pequeñas piezas, teniendo como ventajas adicionales su bajo precio, fácil procesabilidad y una mejor absorción del ruido. Algunos ejemplos de estas aplicaciones son la fabricación de coji-

netes, poleas, engranes, etc. Los nuevos poliacetales superduros también se usan en recipientes para fluidos, ductos para áreas industriales, etc.

tubería

Así como otros materiales usados en la industria de la construcción, la demanda de las resinas acetal en tuberías está determinada grandemente por el nivel de actividad en esta industria, que fluctúa de igual forma a como lo hace la economía. A pesar de ello, los poliacetales han mantenido una gran proporción de las ventas de resinas para este fin.

Los poliacetales pueden utilizarse en regaderas, válvulas, grifos y partes de lavabo.

componentes eléctricos y electrónicos

En este mercado las resinas poliacetal tienden a ser usadas principalmente en tres aplicaciones: partes de teléfono, teclados e interruptores.

herrería

Este es un mercado que normalmente era ocupado por metales y en el que se incluyen partes cuyo crecimiento también (al igual que el mercado de tubería) está determinado por el crecimiento de la industria de la construcción. Algunos de los ejemplos típicos de aplicación son mecanismos de cerradura, perillas, etc.

2.2 mercado internacional de los poliacetales

2.2.1. desarrollo histórico

La producción a nivel comercial de poliacetales se inició en 1961 en Estados Unidos, mientras que al parecer la fecha correspondiente para Japón y Europa Occidental fue 1976 y 1980 respectivamente. El consumo histórico mundial de la resina creció en promedio en un 23 por ciento anual, durante el período comprendido entre 1975 y 1985. Las gráficas 2.1 y 2.2. muestran los datos de producción y consumo histórico para las principales regiones del mundo.

2.2.2. distribución porcentual de la demanda

La distribución porcentual de la demanda en los mercados de Europa Occidental, Japón y Estados Unidos en 1985 se muestra en la tabla 2.2.

2.2.3. situación actual y perspectivas

En 1985 se produjeron 247 mil toneladas de resinas poliacetal distribuidas en forma equilibrada entre Estados Unidos, Europa y Japón. Estos mercados consumieron el 86 por ciento de la producción total. La gráfica 2.3 muestra como se distribuye la capacidad, producción y el consumo mundial de resinas acetal entre las regiones anteriores.

tabla 2.2. distribución porcentual de la demanda de resinas poliacetal por región en 1985

mercado	estados unidos	japón	europa occidental
componentes y partes automotrices	26.6	30.3	26.3
artículos de consumo	22.5	(c)	10.5
maquinaria industrial	16.6	13.9	17.1
eléctrico/electrónico	8.3	41.7 ^(a)	14.4
tubería y herrería	15.8	3.7	9.2
instrumentos	7.5	(b)	19.7 ^(d)
otros	2.7	10.4	2.8
total	100.0%	100.0%	100.0%

(a) se incluyen videocassettes y discos

(b) se incluyen en el renglón de maquinaria industrial

(c) incluido en "otros"

(d) incluye equipo de oficina

En la tabla 2.3 se muestran las compañías que soportan la producción de resinas acetal en los mercados antes mencionados.

tabla 2.3. principales productores de resinas acetal a nivel mundial (enero de 1986)

compañía	capacidad (miles de toneladas)	región	nombre comercial
celanese	64	e.u.a.	celcon (copolímero) ⁽¹⁾
polyplastics co.	65 ⁽²⁾	japón	duracón (copolímero)
du pont	45	e.u.a.	darlin (homopolímero)
	35 ⁽³⁾	europa	darlin (homopolímero)
ticona polymer werke GmbH	43 ⁽⁴⁾	europa	hosiaform (copolímero)
ultraform GmbH	20	europa	ultraform (copolímero)
asahi	20	japón	tenac (homopolímero)
	5	japón	tenac (copolímero)
mitsubishi gas chemical co. ltd.	20	japón	lupital (copolímero)

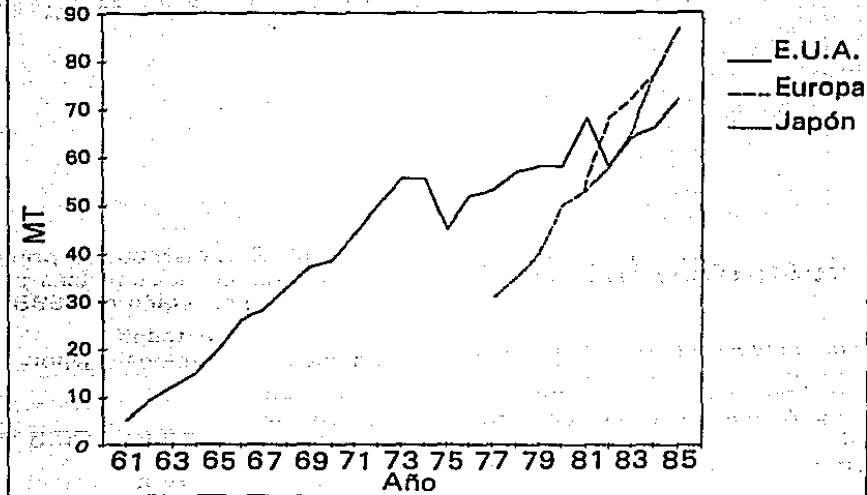
(1) el nombre comercial de este producto en europa es kematal

(2) esta empresa tiene planes de aumentar su capacidad a 100 mil toneladas a principios de 1988.

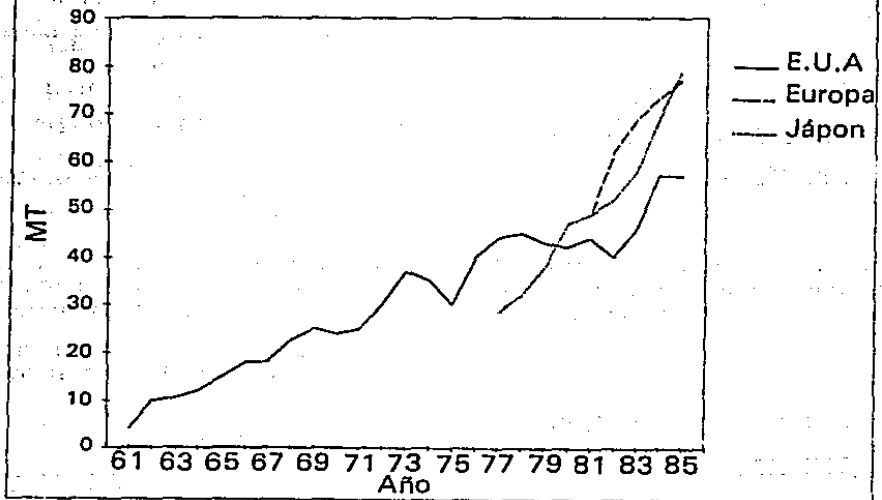
(3) se esperaba un aumento de capacidad en 1987.

(4) esta capacidad debió aumentarse a 45 mil toneladas en 1986 y se espera una expansión mayor en los próximos años.

gráfica 2.1
producción mundial de resinas acetal



gráfica 2.2
consumo mundial de resinas acetal



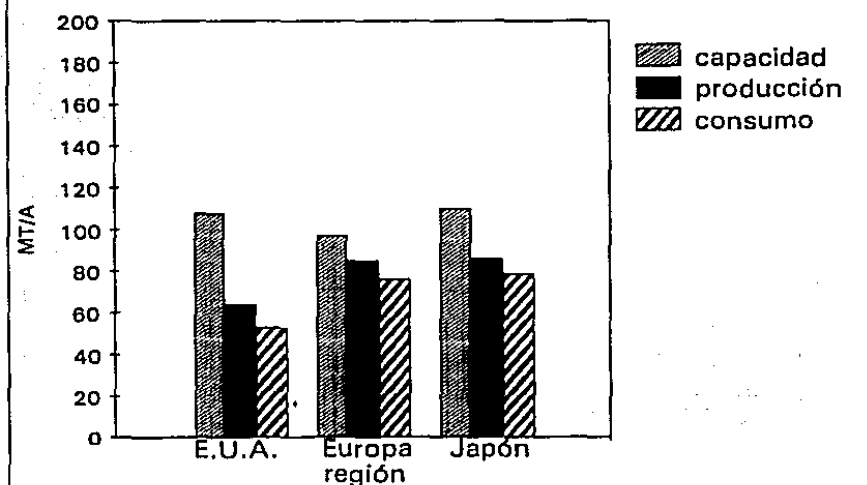
La situación actual y perspectivas para cada uno de los principales mercados de las resinas acetal es la siguiente:

— estados unidos

En Estados Unidos Celanese y Du Pont dominan el mercado doméstico de las resinas

acetal, siendo las importaciones menores a 2 por ciento. En los próximos cinco años la capacidad instalada seguirá aumentando con la terminación de una expansión de Celanese a mediados de 1986 (a 70 mil T/A), y se espera además que BASF opere una nueva planta en 1988 con 11 mil T/A de producción.

gráfica 2.3
mercado mundial de las resinas acetal en 1985



Por otra parte, desde 1980, el mercado automotriz se convirtió en el principal consumidor de poliacetales, alcanzando cerca del 27 por ciento de la demanda total en 1985. En el futuro el crecimiento de este mercado será del 4 por ciento hasta 1995. Otro mercado que mantendrá un ritmo de crecimiento moderadamente alto es el de la tubería (plomaría) con 7 por ciento anual. Finalmente se espera que el crecimiento global aproximado para las resinas acetal en Estados Unidos sea de 5 por ciento anual hasta 1995.

— europa occidental

La capacidad de los tres principales productores de resina en Europa Occidental aumentó ligeramente de 1979 a 1984, de aproximadamente 75 mil a 90 mil Tons. Una expansión de Ultraform permitirá llegar a 96 mil Tons. En total se espera que para 1986 la capacidad total de Europa Occidental sea de 100 mil toneladas métricas.

El consumo de poliactal ha tenido un incremento estable; en 1985 el consumo fue de 76 mil Tons, sobresaliendo en este año Alemania. De forma similar a Estados Unidos, el mercado automotriz es el que más consume poliacetales como producto final, seguido por las herramientas, equipo

de oficina, y maquinaria industrial. En general se espera un crecimiento de 5 a 6 por ciento en promedio anual hasta 1995.

— japón

En 1985 Japón tuvo la mayor capacidad mundial para producir poliacetales. Se espera una expansión de aproximadamente 35 mil Tons. para mediados de 1987 de Polyplastics Co., y no obstante, aun se requiere importar resina.

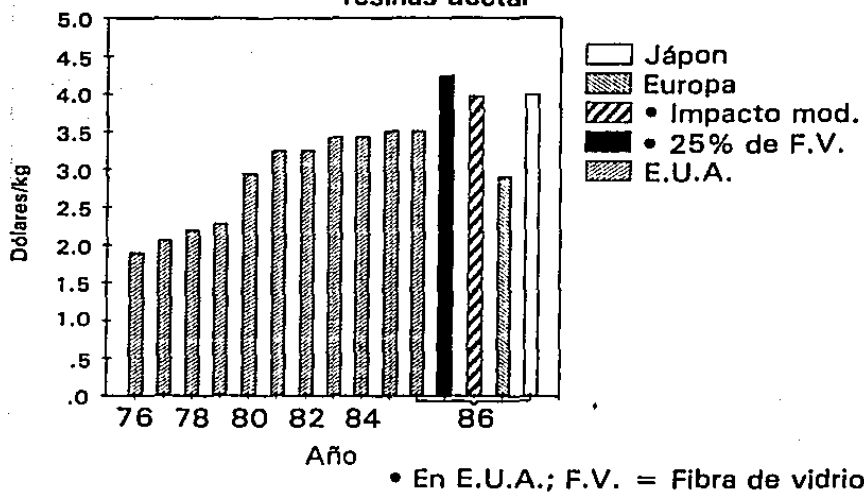
El consumo japonés de poliactal ha crecido rápidamente debido a la demanda de los mercados eléctrico/electrónico y automotriz, aunque se espera que dicho crecimiento no sea tan elevado en los próximos 10 años; éste deberá ser en promedio de 8 por ciento anual.

2.2.4. precios

2.2.4.1. desarrollo histórico y situación actual

En la gráfica 2.4. se muestra el desarrollo histórico de los precios de la resina acetal de uso general, de 1975 a 1986 en Estados Unidos; así como los precios de otros grados de resina para 1986. El promedio de

gráfica 2.4
desarrollo histórico del precio internacional de las resinas acetal



crecimiento en el precio para este periodo fue de 2.8 por ciento anual.

2.2.4.2. proyecciones a 1990

En base a los datos disponibles y suponiendo un crecimiento uniforme se tienen las siguientes estimaciones para 1990 en las tres regiones más importantes del mundo:

país	precio estimado para 1990 (dólares/kg)
E.U.A.	4.08
Japón	4.60
Europa Occidental	3.35

2.3.1. consumo y/o producción de poliacetales en México

En México no se producen las resinas acetal ni existe hasta el momento ningún proyecto para producirlas, por lo que el consumo interno se cubre con importaciones. En el período 1975-1985 la tendencia global aunque un poco irregular, ha sido de crecimiento. Sin embargo, los niveles de dichas importaciones continúan siendo bajos.

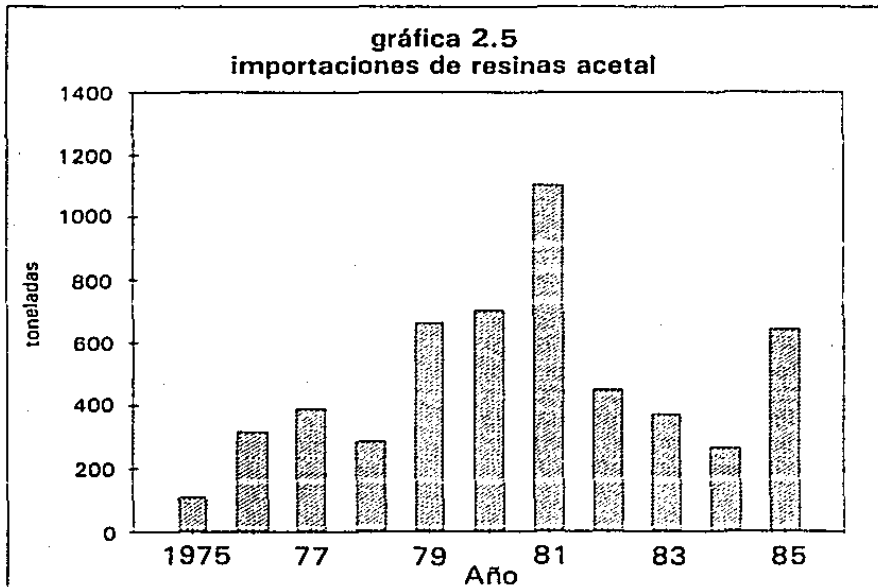
Aunque las cifras de importación reportadas para 1985 no alcanzan las 700 toneladas, la cantidad total de resinas acetal trans-

formadas en México en este año fue cercana a las 1,000 toneladas.

2.3.2. usos de los poliacetales en México

Por la confianza que éstos materiales han generado, tienen amplias perspectivas de uso en aplicaciones industriales y mecánicas o como sustitutos de piezas y artículos que tradicionalmente eran de metal colado.

En la industria automotriz estos plásticos son utilizados en diversos componentes del sistema de combustible, cubiertas para hebillas del cinturón de seguridad, en piezas



de la columna de dirección, manijas para cristales y varios artículos para el tablero.

En la industria de plomería se aprovecha la no corrosión y autolubricación de esta resina para fabricar regaderas, cartuchos para sanitario y lavabo, reemplazando a las piezas de latón y zinc.

Otros de los usos es en la fabricación de componentes para accesorios domésticos, así como partes para máquinas como engranes, levas, bujes, clips, argollas o agarraderas, carcasas, etc.

También se utilizan estas resinas para producir cuerpos de encendedores contenedores de butano, cartuchos reemplazables en rasuradoras, juguetes mecánicos y sus componentes, partes de teléfono, cuerpo de cassettes de audio y video, etc.

Una distribución aproximada de estas aplicaciones es la siguiente:

tabla 2.4. distribución porcentual de la demanda de poliacetales en México (1985)

mercado	%
cuerpo de encendedores	20
cuerpo de cassettes de audio y video	17
electrodomésticos	15
juguetes	15
industria automotriz	13
artículos de plomería	10
otros	10
total	100%

2.3.3. mercado nacional de las materias primas

La materia prima inicial para producir las resinas acetal puede ser tanto el metanol como el formaldehído, aunque desde los puntos de vista de integración y económico es deseable utilizar la primera como materia de arranque. A continuación se analiza la situación nacional de ambos productos.

• metanol

El metanol es uno de los petroquímicos que más sano desarrollo ha tenido, pasando de producto de importación a producto de exportación, logrando además relaciones de producción-capacidad instalada bastante buenas. La capacidad instalada en 1985 era de 171 mil 500 toneladas y no obstante en el mismo año se produjeron 192 mil tons.; las proyecciones para el producto indican que la capacidad actual será insuficiente para cubrir la demanda del mercado nacional en 1990 (gráfica 2.6).

Pemex tiene un proyecto en fase de ingeniería para instalar una planta de metanol de una capacidad de 825 mil toneladas anuales, pero la realización de esta obra aún está siendo estudiada.

Otras aplicaciones del metanol están en la producción de formaldehído, dimetil tereftalato y metacrilato de metilo, además de usarse como solvente.

• formaldehído

Existen 14 empresas productoras de formaldehído en México. El crecimiento anual promedio del consumo de formaldehído para el período 1975-1985 fue de 10 por ciento. Las principales cifras para 1985 son:

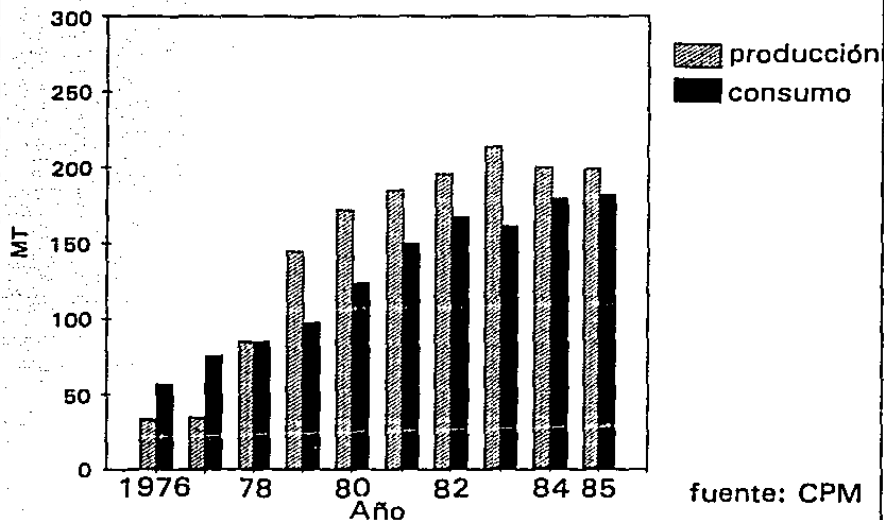
Capacidad instalada	178,280 tons.
Producción	81,543 tons.

Como se observa, el consumo doméstico se cubre íntegramente con la producción nacional sin que se recurra a importaciones o se realicen exportaciones de los excedentes. La distribución porcentual de la demanda no se conoce con exactitud pero se sabe que los principales usos del formaldehído incluyen la elaboración de los siguientes productos:

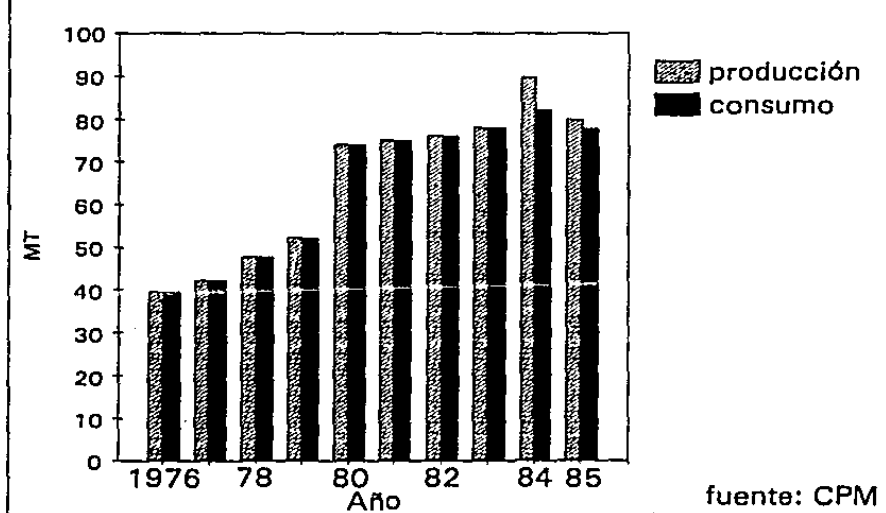
- Resinas fenólicas
- Hexametileno tetramina
- Resinas Urea - Formaldehído
- Resinas Melamina Formaldehído

Actualmente no existen nuevos proyectos para producir formaldehído.

gráfica 2.6
producción y consumo nacional de metanol



gráfica 2.7
producción y consumo nacional de formaldehído



2.4.1. rutas tecnológicas existentes para producir resinas poliactal

Son tres las principales rutas tecnológicas utilizadas para producir las resinas acetal y son las siguientes:

- Ruta a partir de metanol vía formaldehído
- Ruta a partir de metanol vía trioxano
- Ruta a partir de metanol vía trioxano o formaldehído por irradiación.

En el primer caso se obtiene resina acetal homopolímero y corresponde a tecnología desarrollada principalmente por Du Pont. La ruta que utiliza trioxano como un paso intermedio se debe al proceso desarrollado por Celanese y produce copolímero denominado polioximetileno. Los procesos que utilizan estas dos rutas son los que han alcanzado mayor desarrollo a escala comercial; el proceso que utiliza la tercera ruta fue desarrollado por el Instituto de Investigación en Energía Atómica de Japón y su aplicación en escala comercial ha sido limitada.

A continuación se hace una descripción de las rutas tecnológicas antes mencionadas para producir las resinas poliactal.

2.4.2. análisis general de la ruta a partir de metanol vía formaldehído

Esta ruta de procesamiento del homopolímero de resinas acetal se puede dividir en

seis áreas o secciones mayores bien definidas y que son:

- Preparación del formaldehído
- Polimerización del formaldehído
- Separación y purificación del polímero
- Acetalización de los grupos terminales
- Estabilización y purificado del polímero
- Procesado y acabado del polímero

La ruta de procesamiento puede variar dependiendo de la materia prima inicial, el tipo de sistema de polimerización a utilizar y las propiedades finales deseadas del polímero tal como se muestra en la figura 2.1.

Las materias primas iniciales pueden ser trioxano, formaldehído gaseoso, paraformaldehído sólido, formaldehído acuoso o metanol.

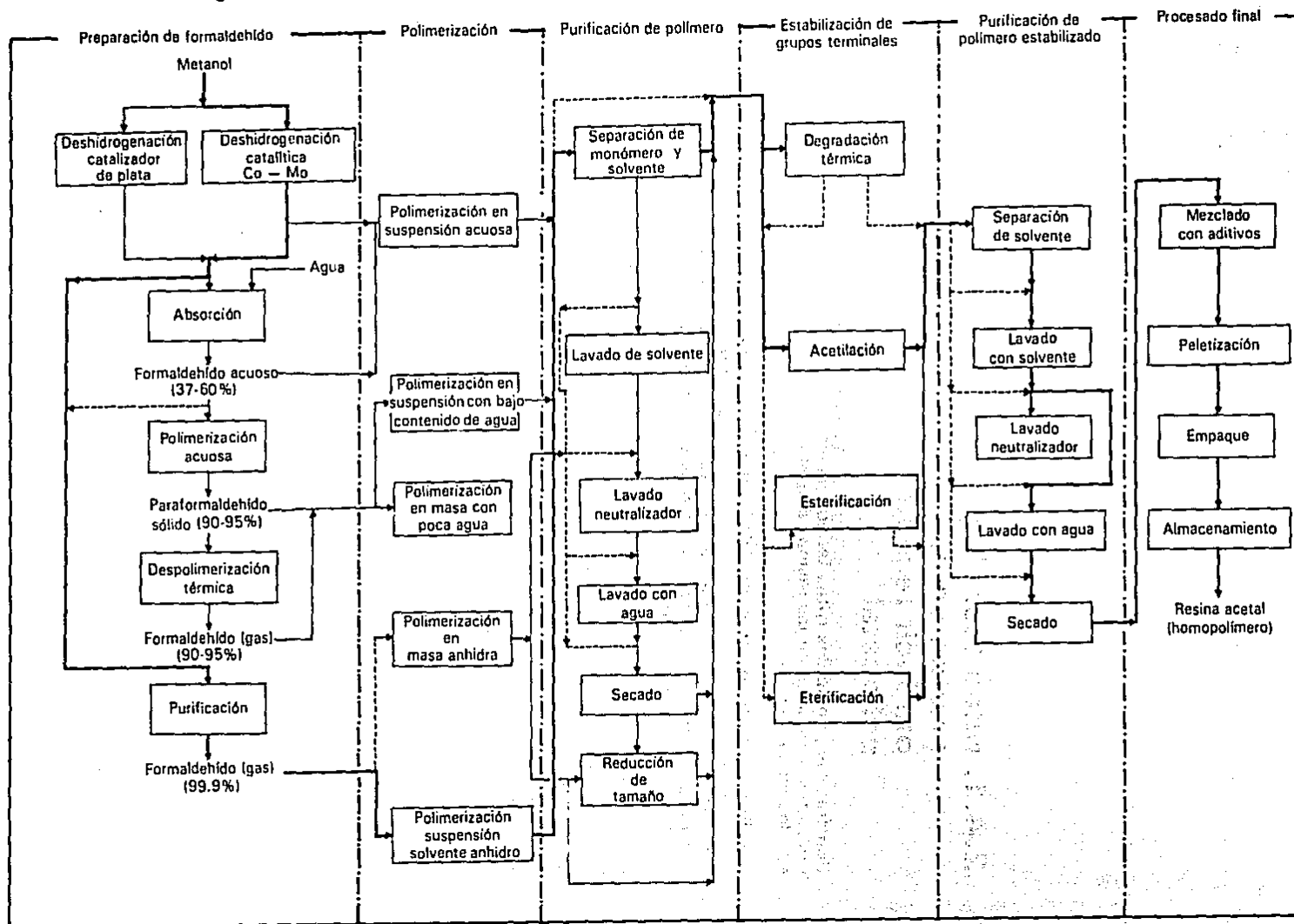
La selección del sistema de polimerización es probablemente el factor más importante para caracterizar la economía del sistema de manufactura completo.

Los sistemas a utilizar pueden ser:

- Polimerización en solución-suspensión anhidra
- Polimerización en solución-suspensión en medio acuoso o metanólico
- Polimerización en masa anhidra

Un sistema de polimerización acuoso elimina los pasos de procesamiento necesarios para purificar el formaldehído. La polimerización en masa evita el inconveniente de manejar y recuperar el líquido en suspensión, sin embargo, la reacción es más difícil, el diseño del reactor más complejo y las propiedades del polímero obtenido son diferentes a las obtenidas mediante polimerización en suspensión.

figura 2.1 rutas alternativas para la obtención de resinas acetal a partir de metanol vía formaldehído



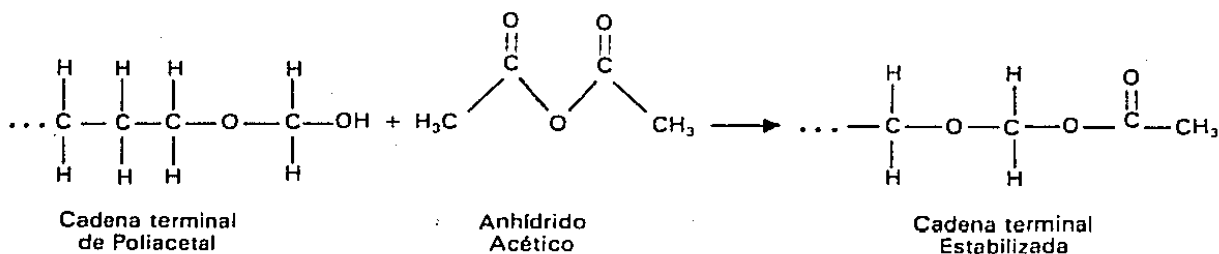
En un principio se creyó que el peso molecular de los polímeros de formaldehído no podía ser muy alto si en el sistema se encontraban materiales como agua o metanol, los cuales al actuar como agentes de transferencia, detenían el crecimiento de las moléculas del polímero, sin embargo, después se encontró que tales materiales pueden tolerarse si se utilizan sales de estaño como catalizadores.

Posteriormente Du Pont desarrolló la polimerización de formaldehído en medios altamente metanólicos o acuosos con estabilidad final comparable a los obtenidos por medios anhídros. La mayor desventaja de trabajar con sistemas acuosos o metanólicos de polimerización, además del control

se realiza mediante la adición de agentes de transferencia de la cadena como alcoholes, amidas, anhídros y fosfatos entre otros.

Después de la polimerización el polímero se separa y filtra, una vez que esto sucede se procede a estabilizar la cadena del polímero mediante la reacción con ésteres o éteres principalmente. La siguiente tabla muestra una lista de algunos de los compuestos utilizados para tal propósito, así como las condiciones requeridas en cada caso.

Como puede observarse el anhídrido acético es uno de los compuestos que mejores resultados da. Cuando se utiliza, la reacción es la siguiente:



más estricto que requiere, está en que la reacción requiere más tiempo (en ocasiones se requieren hasta días).

La mayor parte de la polimerización de formaldehído de alto peso molecular se realiza en sistemas agitados con polimerización en solución-suspensión anhídros. El control del peso molecular en este sistema

2.4.2.1. descripción del proceso

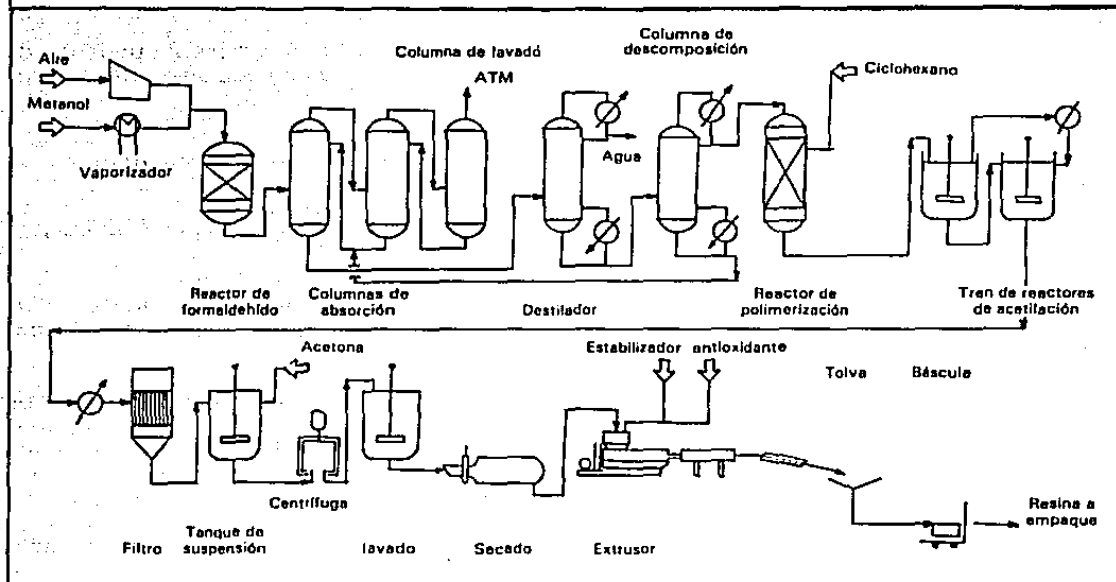
A continuación se presenta una descripción más detallada de un proceso para producir resinas acetal que sigue la ruta tecnológica mostrada en la Figura 2.1. (marcada con línea gruesa). El proceso se deriva de las patentes asignadas a Du Pont (excepto en las secciones de preparación de formal-

tabla 2.5. condiciones en la estabilización de grupos terminales de las resinas acetal

reactivo	condiciones de reacción	catalizador	rendimiento (%)	estabilidad*
anhídrido acético	20 min. a 140°C	acetato de sodio	95	4 - 6%
anhídrido benzóico	3 hrs. a 100°C	piridina	88	31
cloruro de t-butilo	2 hrs. a 50°C	óxido de plata	100	34
óxido de propileno	3 hrs. a 125°C	piridina	95	30 - 35
estireno	2 hrs. a 125°C	acetato de sodio	90	38
acetato de vinilo	3 hrs. a 125°C	piridina	90	15
acroleína	2 hrs. a 125°C	acetato de sodio	85	5
acrilonitrilo	3 hrs. a 125°C	acetato de sodio	90	30
alcohol alílico	1 hr. a 125°C	hidróxido de potasio	75	6
alcohol propargílico	3 hrs. a 125°C	piridina	30	5
p-nitrofenil isocianato	3 hrs. a 110°C	— — —	100	91

* porcentaje de descomposición después de una hora, sobre nitrógeno a 190°C.

figura 2.2 producción de resina acetal a partir de metanol
vía formaldehído



composición térmica inferior a 0.2 por ciento en peso.

Una resina de baja densidad, un grado más fácilmente extruible, puede producirse agregando pequeñas cantidades de agentes de transferencia de cadena al sistema de polimerización.

Se eligió para el análisis la polimerización de formaldehído, tipo solución-suspensión anhidra por ser el método más flexible y económico para producir resina acetal de las propiedades deseadas. La utilización de formaldehído acuoso no es necesaria y se prefiere un sistema integral que no requiere la deshidratación y el secado del formaldehído previo a la polimerización.

consumos unitarios de materias primas y servicios auxiliares

Los consumos unitarios tanto de materias primas como de servicios auxiliares requeridos para el proceso anterior se muestran en la siguiente tabla:

tabla 2.6. consumos unitarios en la producción de homopolímero de acetal

materias primas ⁽¹⁾	consumo por tonelada
metanol	1.32 tons.
ciclohexano	0.012 tons.
acetona	0.033 tons.
anhídrido acético	0.096 tons.
nitrógeno	106.3 m ³
servicios auxiliares	
agua de enfriamiento	83 m ³
vapor	2 tons.
electricidad	132 KwH.
gas inerte	9.3 nm ³

⁽¹⁾ No se incluyen los consumos de catalizadores y otros químicos utilizados así como las cantidades adicionales de aditivos como son agentes antioxidantes y estabilizantes.

costos de inversión y producción

La tabla 2.7. muestra los costos totales de inversión como capital fijo, reportado para tres tamaños de plantas de homopolímeros de acetal que utilizan el proceso descrito anteriormente.

Los costos que en este trabajo se dan corresponden a precios reportados para E.U.A. (Costa del Golfo), en Junio de 1986.

tabla 2.7. costos de inversión para la producción del homopolímero de resina acetel

costo de inversión (millones de dfa.)	capacidad en miles de toneladas		
	10	20	40
límites de batería	48.0	74.0	118.0
servicios auxiliares	20.0	33.0	56.0
capital fijo total	68.0	107.0	174.0

A fin de observar el efecto de la economía de escala, la gráfica 2.8 muestra la forma en que varía la inversión (en límites de batería) al modificar la capacidad de la planta.

Por lo que a los costos de producción se refiere, éstos se muestran para las mismas capacidades como función del nivel de aprovechamiento de dicha capacidad (gráfica 2.9).

2.4.3 análisis general de la ruta a partir de metanol vía trioxano

Como se mencionó anteriormente, la otra ruta tecnológica de importancia comercial para producir resinas acetel, es la que parte de trioxano como materia prima y el producto final es un copolímero (aunque también se puede producir el homopolímero),

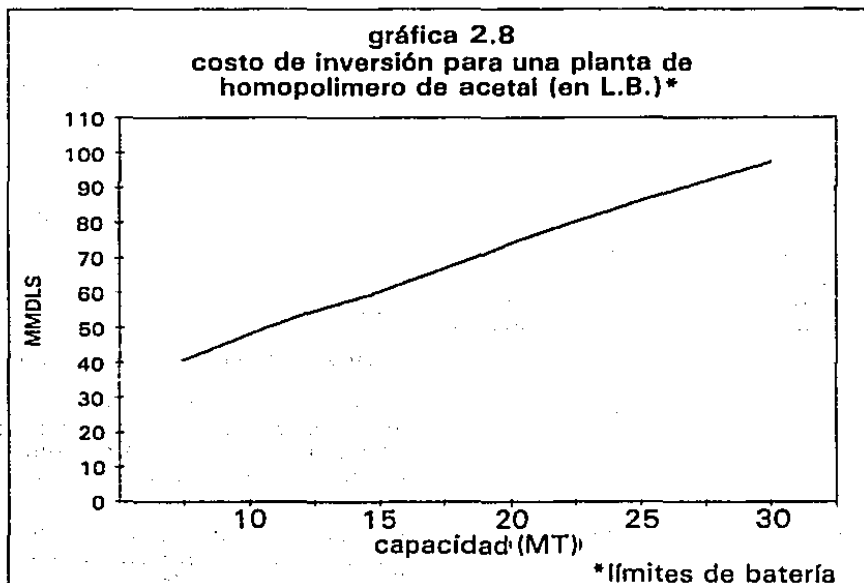
formado por el aldehído y el óxido de etileno, con propiedades ligeramente mejores a las del homopolímero.

La ruta tecnológica completa puede dividirse en siete zonas o secciones mayores generales (ver figura 2.3).

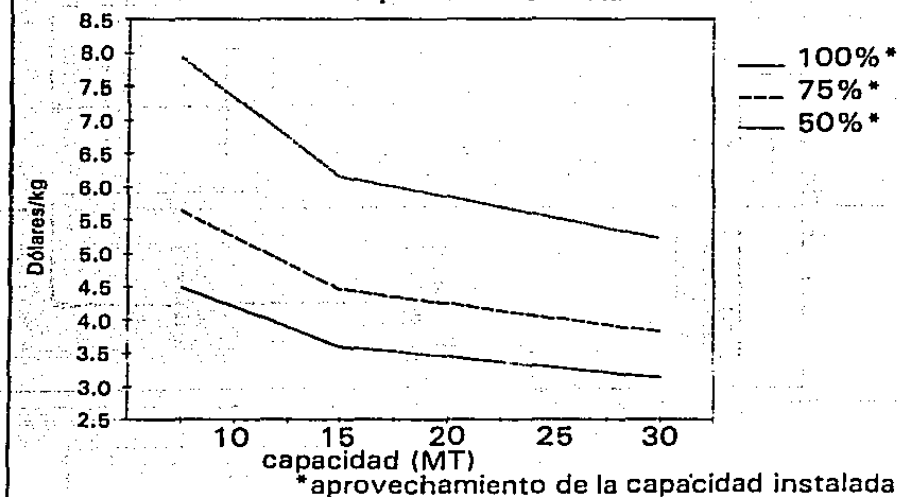
Estas secciones son las siguientes:

- Síntesis de trioxano
- Remoción del agua residual del trioxano
- Polimerización
- Separación de polímero
- Estabilización y terminación de cadena
- Purificación de polímero estabilizado
- Procesado

El trioxano presenta algunas ventajas sobre el formaldehído como materia prima, puesto que es un sólido fácilmente polimerizable en su forma de trímero de formaldehído y su manejo es más sencillo. El formaldehído, en cambio, es un gas que para ser transportado a distancias considerables debe convertirse a solución acuosa (usualmente de 37 - 60 por ciento). De esta forma cuando se emplea formaldehído como materia prima es deseable tener una planta adyacente de formaldehído para eliminar, con su transportación, el manejo de grandes cantidades de agua.



gráfica 2.9
costo de producción en la obtención de resina
homopolímero de acetal



El paraformaldehído, que puede usarse en forma sólida, también requiere purificarse para producir trioxano o regresarse a formaldehído (concentrado).

El trioxano comercial tiene un contenido mayor de 1 por ciento de agua, lo que resulta elevado para los requerimientos de la polimerización, particularmente para los procesos de solución - suspensión, ya que el agua actúa como agente de transferencia de cadena lo que limita el crecimiento del polímero. Sin embargo, los métodos convencionales de deshidratación como son el reflujo con hidrato de calcio, el paso a través de resinas de intercambio, alúmina activada, sodio fundido, etc. pueden emplearse para reducir el contenido de agua en trioxano a 40 ppm o menos.

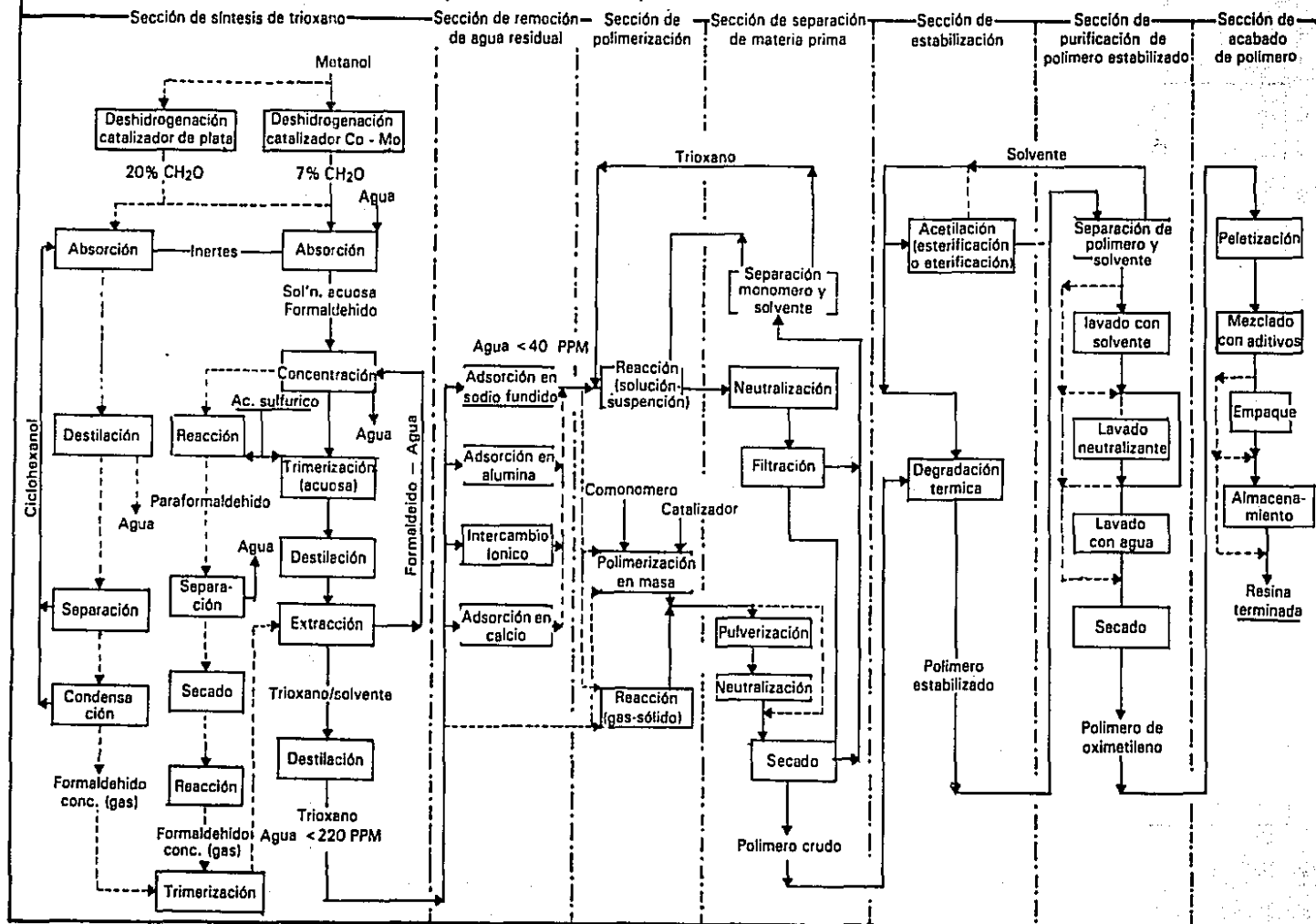
Como se muestra en la figura 2.3. la síntesis de trioxano a partir de metanol se puede realizar por seis rutas diferentes; mientras que la polimerización de trioxano, sola o con un comonomero, puede realizarse en sistemas de solución-suspensión, gas-sólido y en fase fundida. Las velocidades de reacción son muy grandes para los sistemas gas-sólido y sistemas fundidos, sin embargo, el equipo requerido es más complejo y el control de la polimerización en una escala comercial es más difícil que

en el proceso de solución-suspensión. En los procesos de polimerización en solución-suspensión, tanto del homopolímero como del copolímero se usa un sistema formado por hidrocarburos aromáticos, alifáticos o halogenados inertes, usualmente entre temperaturas de 45 a 90°C en presencia de trifluoruro de boro o estearato de trifluoruro de boro como catalizadores.

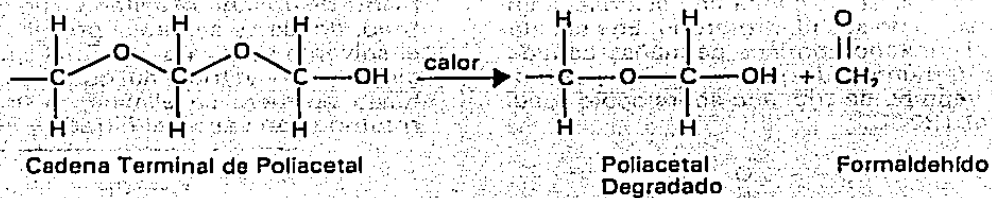
Por lo que respecta a los catalizadores utilizados en la polimerización de trioxano en general son, en número, menores a los que pueden utilizarse en la polimerización del formaldehído. Los más comunes son de tipo catiónico como el trifluoruro de boro o complejos de éter como son p-clorofenilendiazonio hexafluoroestearato, hexafluoroantimoniato de trifenil metileno, fluoroborato de p-nitrofenildiazonio, entre otros. De estos últimos se dice que producen mayores rendimientos en polímeros de alto peso molecular, que los complejos de trifluoruro de boro. Otros compuestos también utilizados para tal propósito y que son más fácilmente manejables que el trifluoruro de boro, son los sulfonatos comunes o anhídros.

No obstante, como se mencionó anteriormente, los enlaces oxígeno - carbono de los polímeros del oximetileno tienden a

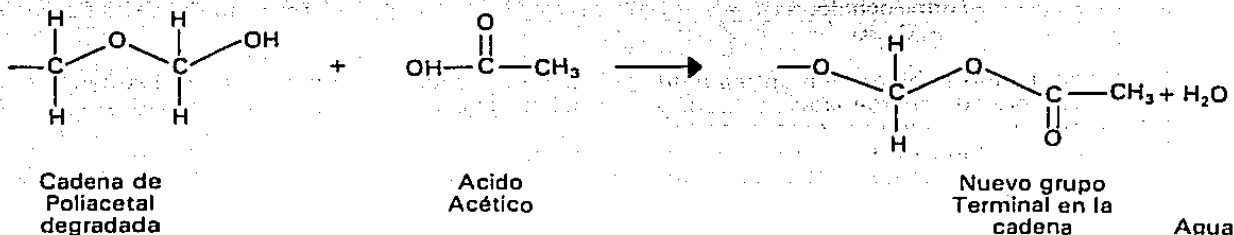
figura 2.3 rutas alternativas en la producción de homo y copolímero de acetal a partir de metanol vía trioxano



degradarse sufriendo la siguiente reacción:



Esto puede evitarse estabilizando estos grupos finales vía acetalización (esterificación o eterificación).



Cuando el formaldehído o trioxano se copolimerizan con un monómero como el óxido de etileno, la cadena resultante en el polímero contiene enlaces entrelazados carbono-carbono, lo que detiene la degradación de las moléculas del formaldehído.

Sin embargo, los enlaces carbono-carbono no necesariamente coinciden con los grupos terminales de la cadena del polímero por lo que la degradación térmica es posible. Esto podría limitarse si se aumentara la proporción de óxido de etileno a trioxano, pero esto reduce las propiedades deseadas en el polímero de oximetileno como son resistencia a la tensión, flexión y compresión; por lo que se prefiere alguna de las siguientes aproximaciones para estabilizar el copolímero de acetal:

- Acetilar los grupos finales de las cadenas del polímero.
- Inducir la degradación térmica de los grupos terminales de la cadena del polímero hasta el primer enlace carbono-carbono.

Los procesos para controlar la degradación térmica de los grupos terminales de la cadena del polímero normalmente consisten en calentar una suspensión de polímero en un solvente inerte a una temperatura de entre 130 y 200 °C, usando un catalizador de degradación como el hidróxido de sodio, acetato de sodio o trietanolamina. La degradación alcalina también sirve para

neutralizar los residuos del catalizador, los cuales contribuyen a la inestabilidad del polímero final.

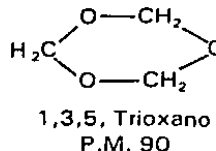
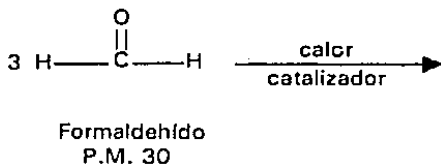
En general la resina acetal con grupos terminales no estabilizados tiene una velocidad de degradación en aire a 222 °C mayor a 2 por ciento. Después de la acetalización o degradación térmica del copolímero, esta velocidad se reduce a menos de 0.5 por ciento por minuto y con la adición de estabilizadores se reduce a menos de 0.2 por ciento por minuto.

2.4.3.1. descripción del proceso

El proceso ilustrado en la figura 2.4. para producir resina copolímero de acetal a partir de trioxano y óxido de etileno, con excepción de la síntesis de trioxano y óxido de etileno, se obtuvo en base a las patentes de Celanese Corp., aunque no se conoce el proceso usado comercialmente por ésta.

El formaldehído se sintetiza haciendo pasar metanol en fase vapor y aire sobre un catalizador de molibdato férrico, el formaldehído gaseoso resultante se absorbe en agua para dar una solución al 37 por ciento, esta solución se concentra al 60 por ciento, para pasar al reactor de trimerización en el que se obtiene el trioxano utilizando ácido sulfúrico como catalizador. El trioxano obtenido se concentra por destilación y se separa del destilado por extracción con cloro-naftaleno y se purifica hasta 99.9 por cien-

to, destilándolo de este solvente; el trioxano fundido se solidifica en escamas al enfriarse en un secador rotatorio. En esta etapa el trioxano contiene pequeñas cantidades de humedad, que se elimina pasando los vapores de trioxano sobre sodio fundido al 132°C.

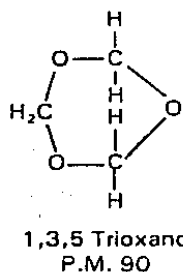


El trioxano líquido anhidro se bombea a un tren de reactores de polimerización intermitente, a los que se les agrega cantidades de ciclohexano y óxido de etileno equivalentes al 15 y 5 por ciento de trioxano, respectivamente, junto con 120 ppm de dietil éterato de trifluoruro de boro (catalizador).

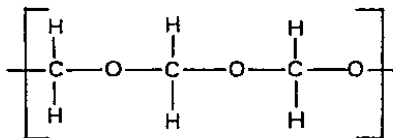
La mayor parte del óxido de etileno y el 70 por ciento del trioxano copolimerizan con un peso molecular promedio cercano a 40 mil, después de un período de entre dos y cuatro horas a una temperatura de 60-71°C, se detiene la reacción mediante la adición de 0.5 por ciento en peso de tri-n-butilamina (en base al trioxano alimentado) con el tiempo de carga y descarga de cada reactor, el período de cada ciclo es entre tres y cinco horas:

sado del secador se combinan y destilan a 82-121°C para recuperar el ciclohexano y recircularlo a los reactores; el trioxano se recupera de residuos no volátiles por una destilación al vacío. El rendimiento de polímero crudo de la polimerización y la recuperación son de 96-97 por ciento en ambos casos, en base a la alimentación de trioxano y óxido de etileno.

El polímero sólido, después del filtrado y secado se suspende en agua y 5 por ciento de amoniaco; esta solución amoniacal se calienta a 149°C y 7 kg/cm² y se bombea continuamente a un tren de reactores en serie de terminación de cadena y degradado. El tiempo de residencia del tren de reactores es de dos hrs. y las pérdidas de polímero son de 17 por ciento. El formal-



catalizador



polimerización

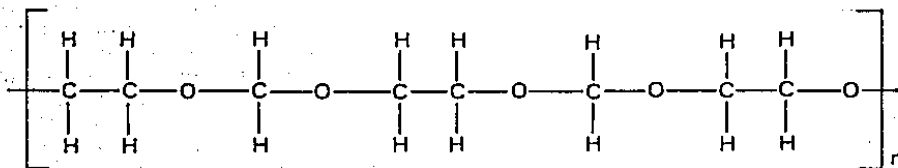
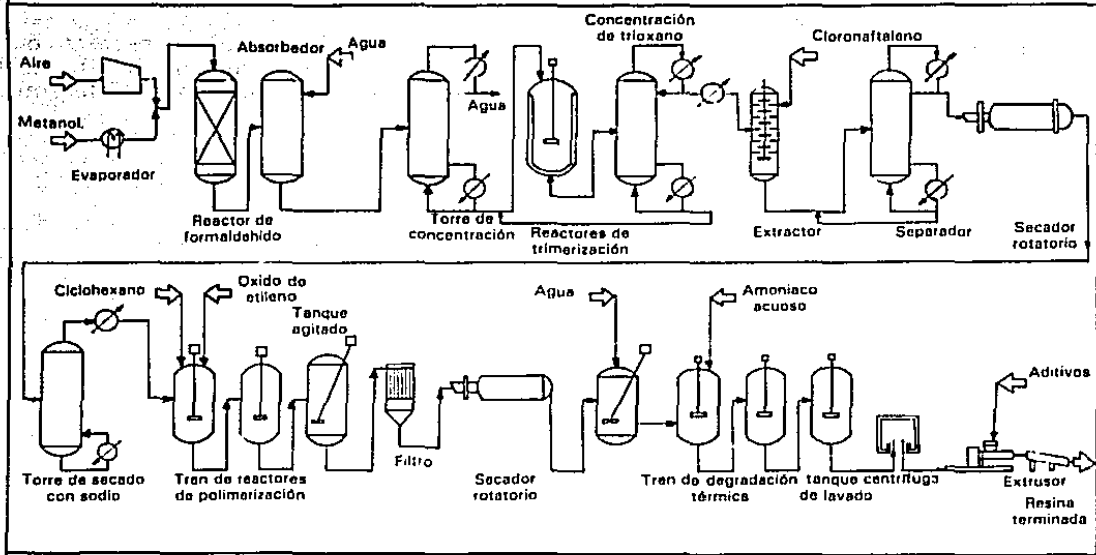


figura 2.4
producción de copolímero de acetal a partir de metanol vía trioxano



dehído resultante de la degradación del polímero reacciona con el amoníaco acuoso para formar hexametileno tetramina soluble. Se utiliza una atmósfera de nitrógeno en la polimerización, recuperación y degradación con lo que se evita la operación con oxígeno.

La solución efluente del último reactor de degradación se enfría a 38°C y se bombea a un tanque para su lavado y centrifugado repitiéndose ambas operaciones en tres ocasiones.

Finalmente el polímero se extruye en un extrusor convencional en donde se agregan los aditivos necesarios.

El producto contiene 5 por ciento molar de óxido de etileno en la estructura de la cadena (C-C-O-). El peso molecular promedio es de entre 30 y 50 moles, el rendimiento de copolímero final es de 80 por ciento sobre el trioxano y óxido de etileno alimentados a los reactores de polimerización.

consumo de materias primas y servicios auxiliares

Los consumos unitarios tanto de materias primas como de servicios auxiliares para obtener el polímero mediante el proceso anterior se muestran en la siguiente tabla.

tabla 2.8. consumos unitarios en la producción de resinas copolímeros de acetal vía trioxano

materias primas ⁽¹⁾	consumo por tonelada
metanol	1.48 tons.
óxido de etileno	0.0823 tons.
ciclohexano	0.0098 tons.
1-cloro naftaleno	0.006 tons.
amoníaco acuoso	0.037 tons.
ácido sulfúrico	0.0088 tons.
nitrógeno	24.22 m ³
servicios auxiliares	
agua de enfriamiento	1,000 m ³
vapor	18 tons.
agua de proceso	25 m ³
electricidad	604 Kw-Hr.
gas natural	610 K-Cal

⁽¹⁾ no se incluyen los consumos de catalizador y otros químicos, así como tampoco se muestran las cantidades adicionales de otros aditivos (antioxidantes, estabilizantes, etc.).

2.8. costos de inversión y producción

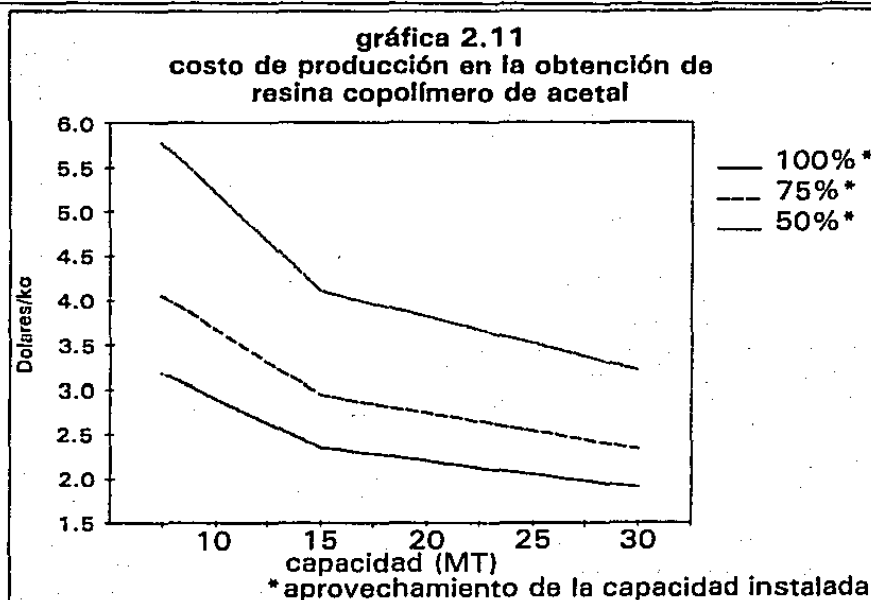
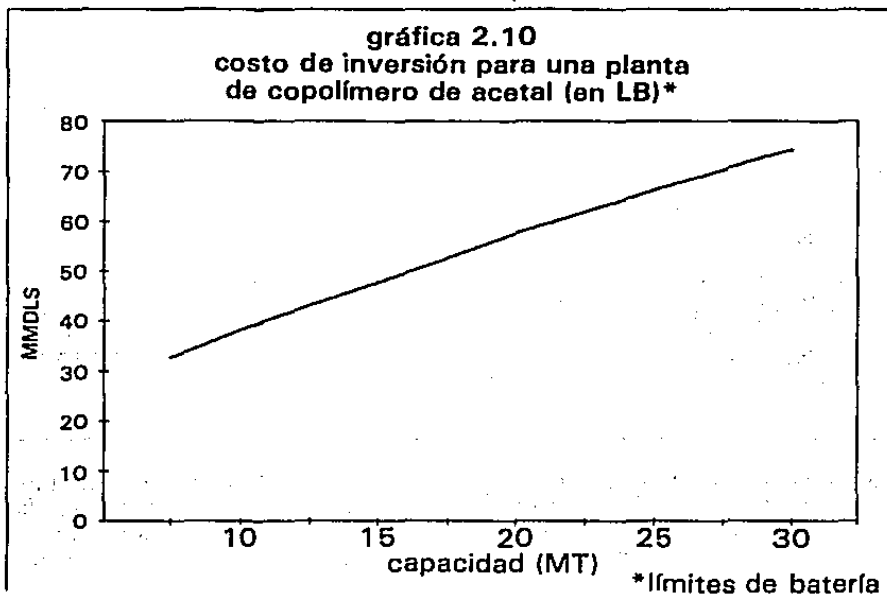
En la tabla 2.9. se presentan los costos totales de inversión como capital fijo reportado para tres capacidades diferentes, con el proceso descrito anteriormente, a precios de 1986. A fin de observar el efecto de la economía de escala sobre el costo de inver-

tabla 2.9. costos de inversión para el copolímero acetal-óxido de etileno a diferentes capacidades (miles de tons. anuales)

	10	20	40
inversión (millones de dólares) en límites de batería	38.0	57.0	89.0
en servicios	14.0	22.0	34.0
capital fijo total	52.0	79.0	123.0

sión en la gráfica 2.10., se muestra la forma en que varía la inversión (en límites de batería) al modificar la capacidad de la planta.

En la gráfica 2.11. se muestra el efecto que sobre el costo de producción total tiene el nivel de operación de la planta, a diferentes capacidades.



2.4.4. análisis general de la ruta a partir de trioxano o formaldehído por irradiación

La tercera ruta tecnológica para producir las resinas acetal, es la que consiste en polimerizar tanto el formaldehído como el trioxano mediante irradiación y aunque su implementación a escala comercial ha sido limitada, se ha realizado una considerable cantidad de investigación sobre este proceso (principalmente en Japón).

Las resinas acetal son formadas mediante la acción de la radiación alfa, beta, gama, ultravioleta, rayos X o flujo de neutrones, éstos procesos son interesantes por varias razones. Primero: la polimerización por irradiación elimina la necesidad de un catalizador y los requerimientos de purificación de la resina del propio catalizador (que afecta la estabilidad de la resina). Segundo: al realizar la polimerización en masa se evitan las operaciones de manejo y recuperación del solvente. Tercero: con la polimerización por irradiación se logran productos de alto peso molecular y un alto grado de orientación o cristalinidad de las moléculas del polímero.

Las fuentes de radiación son variadas aunque se prefieren el Cobalto 60 y los aceleradores de electrones del tipo generadores de Van der Graff. La exposición a la radiación es de 5×10^4 rads para el formaldehído y de 0.1 a 0.5×10^6 rads para el trioxano. El formaldehído se polimeriza espontáneamente a temperaturas tan bajas como -50°C , la polimerización también ocurre cuando sufre una irradiación gama o de otro tipo a temperatura de -160°C . La polimerización en masa de trioxano mediante radiación puede efectuarse a temperaturas ligeramente arriba de la del ambiente; además de contar con un calor de reacción menor que el del formaldehído, por lo que su control es más sencillo. Por esta razón se prefiere realizar la polimerización del trioxano a la de formaldehído. Los polímeros preparados por irradiación pueden ser acetilados o tratados térmicamente para al-

canzar la estabilidad requerida en aplicaciones comerciales.

2.4.4.1. descripción del proceso de irradiación

En el proceso de polimerización por irradiación se pueden utilizar las mismas rutas de procesamiento de monómero de trioxano y estabilización del polímero resultante utilizadas en los procesos anteriores, por lo que en este punto nos limitaremos a describir la sección de polimerización.

Tal como se observa en la figura 2.5. el trioxano fundido anhidro se solidifica en un tambor rotatorio, se transporta y se hace pasar a través de las líneas de radiación en donde se efectúa una primera irradiación.

El trioxano irradiado se lleva a través de unos canales de concreto y luego de elevarlo se pasa a través de los reactores de post-polimerización. Cada reactor consta de un cinturón perforado de acero inoxidable encerrado en una atmósfera de nitrógeno y con nitrógeno circulando a través de las escamas de trioxano para mantener una temperatura constante de 55°C . El tiempo de residencia de trioxano en el reactor es de $3\frac{1}{2}$ horas y la conversión de trioxano del 60 por ciento. La mezcla de polioximetileno y de trioxano sin reaccionar se disuelve en tres tanques con acetona. A continuación el polímero se vuelve a lavar en un contactor de múltiple efecto a contracorriente para pasar después a una centrífuga y un secador. La solución de trioxano y acetona se separa por destilación fraccionada para recircularse. El rendimiento global de resina acetal estabilizada y empacada, a metanol es de 89.5 por ciento.

consumos unitarios de materias primas

Los consumos unitarios de materias primas requeridas en el proceso de irradiación se muestran a continuación. No se cuenta con los datos de consumo de servicios auxiliares, ni de costos.

figura 2.5 polimerización por irradiación de trióxano

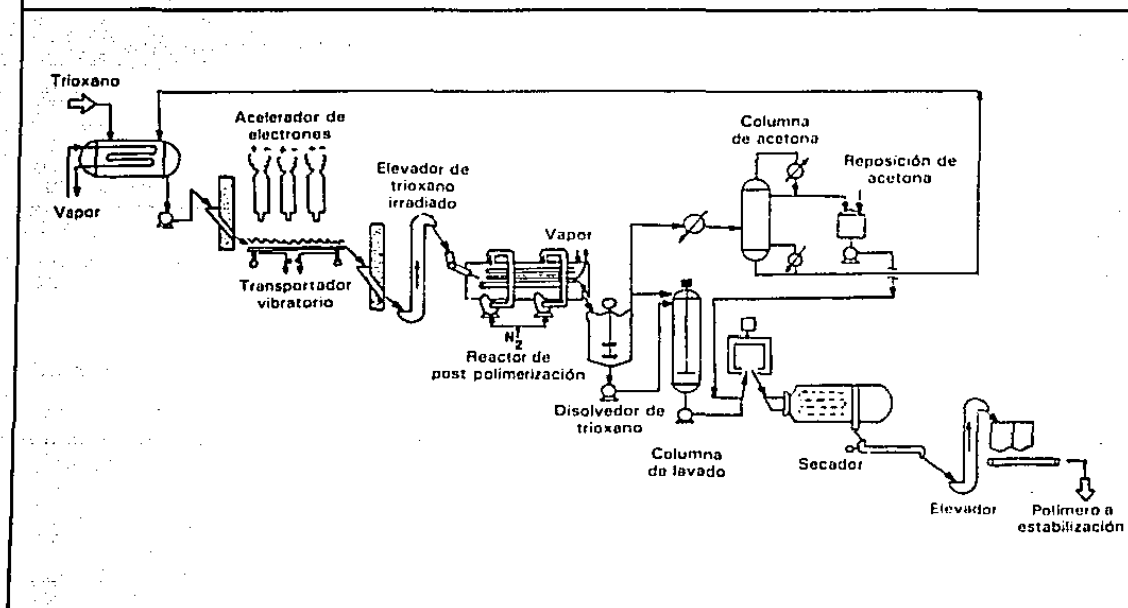


tabla 2.11. consumos de materias primas para producir poliactal vía irradiación

materias primas ⁽¹⁾	consumo por tonelada
metanol	1.330 tons.
ácido sulfúrico	0.033 tons.
cloro naftaleno	0.054 tons.
sodio metálico	0.052 tons.
acetona	0.053 tons.
anhídrido acético	0.096 tons.

⁽¹⁾ no se incluyen el consumo de catalizador, otros químicos y agentes antioxidantes y estabilizantes.

propiedades un tanto mejores a las del copolímero producido vía trióxano, tal como se muestra en la siguiente tabla.

tabla 2.12. propiedades comparativas del homopolímero y copolímero de acetato

propiedad	homopolímero	copolímero
resistencia a la tensión a 23°C (kg/cm ²)	703	618
temperatura de deflexión a 18 kg/cm ² (°C)	136	110
módulo de flexión (kg/cm ²)	28,857	26,349
resistencia al impacto izod a 23°C (l/m)	69-122	53-80

2.4.5. comparación entre los procesos

En cuanto a las propiedades de la resina obtenida, el homopolímero presenta pro-

El proceso de irradiación de trióxano sólido puede producir resina acetato con un peso molecular de hasta 100 mil, comparado con 30 mil - 60 mil de las resinas comerciales. La producción de dicho tipo de material resultaría más económico usando este proceso, sin embargo la tecnología de estabilización de tal material aún no está desarrollada completamente.

Por lo que a las características de los procesos en sí se refiere, la implantación del pro-

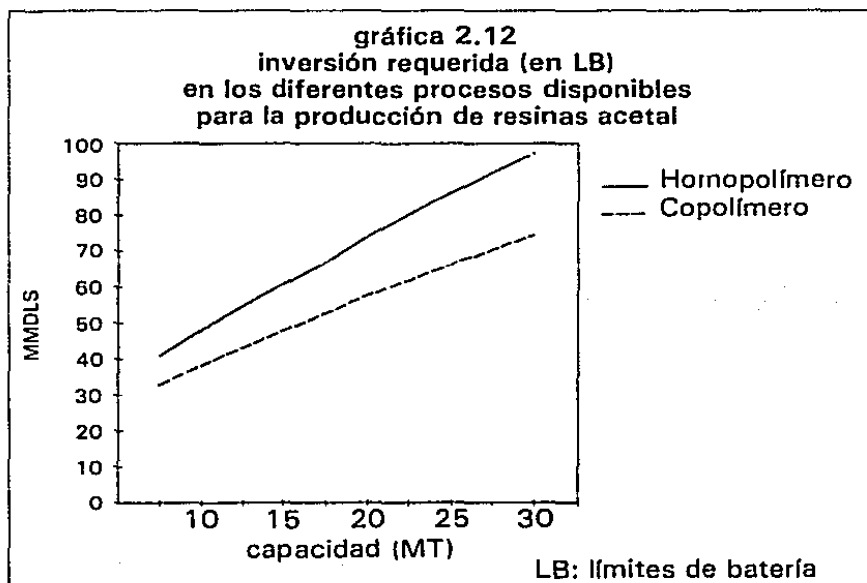
ceso de polimerización por irradiación a escala comercial ha sido limitada y aunque no se conocen sus costos de inversión y producción a detalle, sí se sabe, que para una misma capacidad, la inversión requerida (en límites de batería) para una planta que utiliza este proceso, resulta 44 y 7 por ciento más alta que las requeridas en los procesos de copolímeros y homopolímeros respectivamente; mientras que sus costos de producción son entre cinco y 16 por ciento superiores a las de los otros procesos. Esto resulta de la dificultad de utilizar el proceso de irradiación con formaldehído a temperaturas moderadas, con lo que el proceso completo combina las secciones más costosas de las otras dos rutas alternativas; ésto es, utilizar trioxano como materia prima y acetalización como método de estabilización.

En cuanto a los procesos de homopolímero vía formaldehído y copolímero vía trioxano, la gráfica 2.12. muestra las inversiones requeridas para estos procesos a diferentes capacidades (en límites de batería).

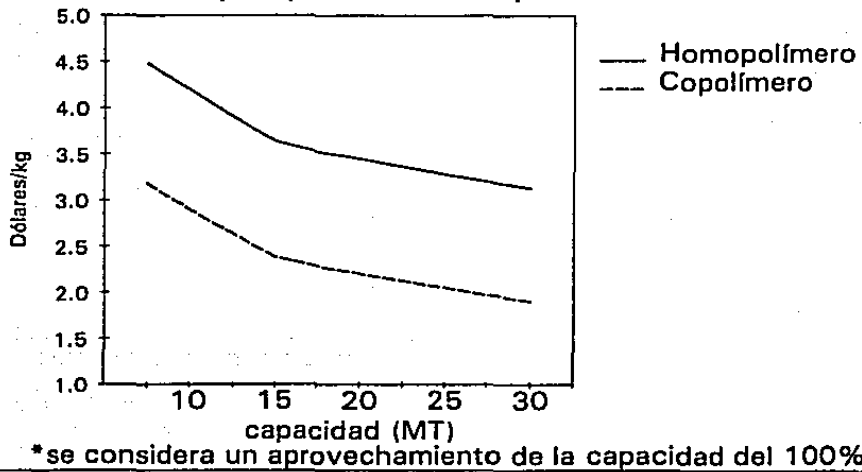
Tal como se observa en la gráfica el proceso que utiliza la ruta vía trioxano para producir copolímero de acetal, requiere una inversión en límites de batería menor en 24 y 31 por ciento (dependiendo de la capacidad), con respecto a la requerida para el proceso que usa la ruta vía formaldehído para producir resina homopolímero de acetal.

Los costos de producción asociados a los procesos anteriores se muestran en la gráfica 2.13. Como se desprende de la misma, el proceso para producir resina copolímero presenta los menores costos de producción.

En base a lo anterior y a menos de que la diferencia entre las características del producto final (homopolímero y copolímero respectivamente), sea considerada como determinante, la mejor opción tecnológica la representa la ruta para obtener resina copolímero de acetal vía trioxano.



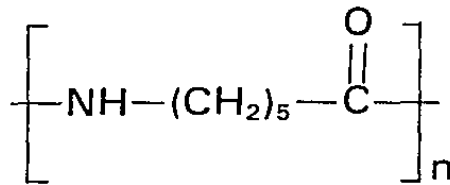
gráfica 2.13
costos de producción
de los diferentes procesos existentes
para producir resinas poliacetal



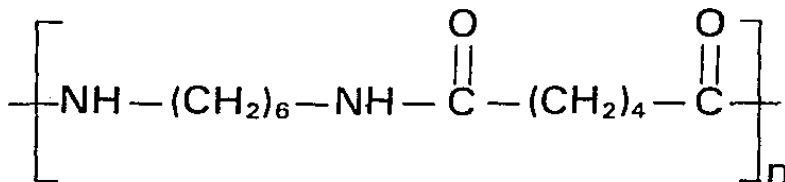
capítulo 3

poliamidas

nylon 6



nylon 6,6



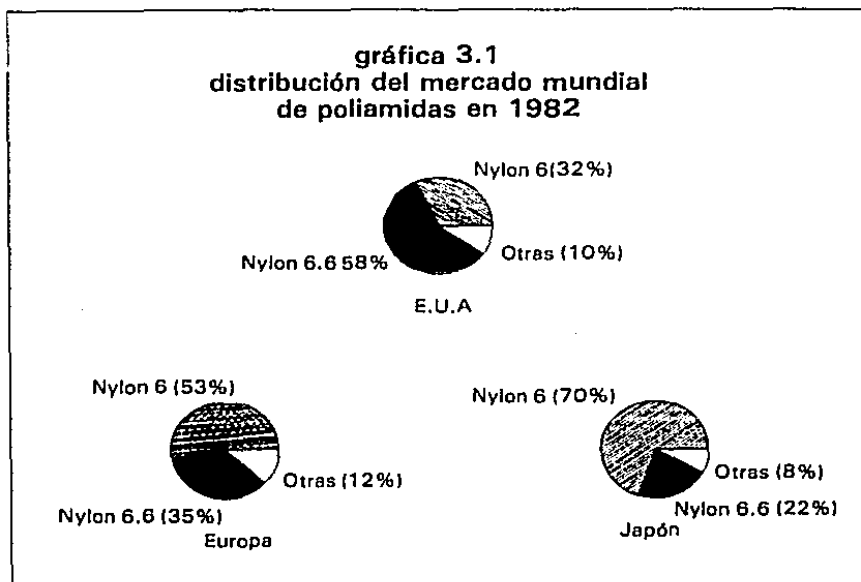
Las poliamidas son los polímeros comúnmente conocidos como nylons, resultantes de la condensación de una diamina y un ácido dicarboxílico o sus monómeros equivalentes. La identificación de los diferentes nylons se realiza escribiendo la palabra genérica nylon seguida de uno o dos números, cuando el nombre solo contiene un número, éste indica el número de átomos de carbono del monómero del que proviene. Por ejemplo el nylon-6 se obtiene a partir de la polimerización de la caprolactama (amida de 6 carbonos), el nylon-11 proviene del ácido 11-amino undecanoico (de 11 carbonos), cuando se utilizan dos números, éstos números indican los números de los átomos de carbono de los dos reactivos (comonómeros de los que proviene). Por ejemplo, el nylon 6,6 se prepara a partir de la reacción entre la hexametilendiamina

(de 6 átomos de carbono) y el ácido adípico (también de 6 átomos de carbono).

Aunque existe una gran variedad de poliamidas las más importantes desde el punto de vista comercial son:

- Nylon-6
- Nylon-6,6
- Nylon-11
- Nylon-12
- Nylon-6,9
- Nylon-6,12

De estos productos el nylon-6 y nylon-6,6 son los más importantes ya que representan el 85-90 por ciento del mercado total de poliamidas. La distribución del mercado entre los diferentes nylons por región, para 1982, se muestra en la gráfica 3.1.



3.1.1. propiedades de las diferentes poliamidas

La diferencia en el número de átomo de carbono en la amida provoca una diferencia importante en las propiedades mecánicas y físicas del nylon resultante, tal como se muestra en la tabla 3.1.

tabla 3.1. propiedades de los nylons comerciales (moldeados)

propiedades	nylon-6	nylon 6,6	nylon-11	nylon-12	nylon 6-9	nylon 6-12	prueba astm
gravedad específica	1.13	1.14	1.04	1.02	1.09	1.07	D 792
% absorción de agua en 24 hrs. a equilibrio a 50% de H R. a saturación	1.8 2.7	1.5 2.5	0.3 0.8	0.25 0.70	0.5 1.8	0.5 1.4	D 570
punto de fusión, °C	10.5	9.5	1.9	1.5	4.5	3.0	
resistencia a la tensión, kg/cm ²	215	265	194	179	205	217	D 638
% de elongación a ruptura	826	847	501	501	591	581	D 638
módulo de flexión kg/cm ²	50,200	40,800	200	200	125	150	D 638
resistencia al impacto izod, i/m	27,240	28,560	12,240	11,270	20,400	20,400	D 256
dureza rockwell	54	68	40	95	58	58	D 638
temperatura de flexión a carga, °C	119	120	108	107	111	114	D 785
5 kg/cm ²							
18 kg/cm ²	185	245	150	150	150	165	
resistencia dieléctrica, tiempo cortocvmm.	65	75	55	55	55	82	
paso a peso	17	24	18.7	18	24	16	
constante dieléctrica a 60 Hz.	15	11	.....	16	20	.....	D 150
a 10 ³ Hz.	3.8	4.0	3.7	4.2	3.7	4.0	
a 10 ⁶ Hz.	3.7	3.9	3.7	3.8	3.6	4.0	
materia (s) prima (s)	3.4	3.5	3.1	3.1	3.3	3.5	
	caprolactama	Hexametilendiamina y ácido adipico	ácido 11-undecanóico	polilaurilactama	Hexametilendiamina y ácido nonanoico	Hexametilendiamina y ácido decanoico	

Tanto el nylon 6 como el nylon 6,6 han sido objeto de importantes desarrollos modificando su composición, grado de copolimerización, etc. La tabla 3.2 muestra una comparación entre las propiedades de estas poliamidas sin modificar y modificadas.

tabla 3.2. comparación de propiedades de nylon 6 y nylon 6,6 grados estándar y modificados

propiedad	estándar	modificador de olefinas	modificador de olefinas y plasticante	prueba astm
resistencia a la tensión (kg/cm ²)	846	632	550	D 638
módulo de flexión kg/cm ²	28,143	21,107	7,749	D 790
impacto izod renurado (i/m ²)	53	135	530	D 256

El refuerzo con fibra de vidrio también es utilizado para mejorar algunas propiedades en niveles de contenido que van del 5 al 50 por ciento en peso, siendo las más comunes entre 30 y 33 por ciento (tabla 3.3).

tabla 3.3. efecto del reforzamiento del nylon 6,6 con 33% en peso de fibra de vidrio

propiedad	nylon 6,6 estándar	nylon 6,6, + 33% peso de fibra de vidrio	prueba astm
resistencia a la tensión (kg/cm ²)	846	1866	D 638
% de elongación final	60	2	D 638
módulo de flexión (kg/cm ²)	28,806	91,364	D 790
Impacto izod renurado (i/m ²)	54	108	D 256

Como puede observarse el reforzamiento no afecta por igual a todas las propiedades.

Los plásticos de nylon 6 tienen muchas cualidades que los hacen atractivos para gran variedad de aplicaciones mecánicas y eléctricas, son fuertes, tenaces, tienen buena resistencia eléctrica, propiedades dieléctricas, resistencia al uso, al calor, a la corrosión y tienen un bajo coeficiente de fricción. Esto los hace ideales para aplicaciones como cierres, conexiones y abrazaderas entre otras, sin embargo, a causa de sus precios relativamente altos comparado con los de los plásticos de uso generalizado, su uso se suele reservar para aplicaciones en las que se requieren sus propiedades especiales.

Las poliamidas generalmente se procesan en estado líquido para evitar la absorción de agua (son altamente higroscópicas), inclusive cuando se empaquetan pueden requerir de un secado posterior. La presencia de humedad provoca la modificación de algunas propiedades de las poliamidas (como puede observarse en la siguiente tabla), pero salvo que se sumerjan en agua caliente,

las velocidades de absorción de agua son bastante bajas.

tabla 3.4. efecto de la humedad en las propiedades mecánicas del nylon 6 y nylon 6.6

propiedad	nylon 6		nylon 6.6	
	seco	50% H.R.(1)	seco	50% H.R.(1)
resistencia a la tensión, (kg cm ²)	825	458	846	591
módulo de tensión (kg cm ²)	27.531	9890	28.551	12.236
impacto (rod ranurado) (m)	58	215	54	113

(1) humedad relativa

Por otro lado, las poliamidas experimentan degradación (en el peso molecular y las propiedades mecánicas) cuando se exponen a temperaturas elevadas, aunque esta degradación depende en gran medida del período de exposición. El agregar estabilizadores de calor permite el uso continuo de las poliamidas a temperaturas de 90-120°C, no obstante, todos los grados de poliamidas pueden resistir exposiciones a altas temperaturas si el período de exposición es pequeño; en caso contrario, aunque la estructura del polímero no se ve grandemente afectada, las propiedades mecánicas si se modifican severamente.

La exposición a la luz ultravioleta también produce degradación en las poliamidas, sin embargo, esta degradación puede retardarse con el uso de estabilizadores.

3.1.2. usos de las poliamidas

Los usos de las resinas nylon se clasifican de acuerdo al método usado para transformarlas.

- Moldeo por inyección
- Extrusión

La distribución de las aplicaciones de acuerdo al método de transformación en las diferentes regiones en 1982 fue el siguiente:

tipo de aplicaciones	E.U.A.	Japón	Europa Occidental
De plástico moldeado por inyección	65%	--	78%
De plástico extruido	35%	--	22%

Como puede observarse, la mayor parte de las aplicaciones corresponden a las derivadas de las resinas moldeadas por inyección. Una porción importante de éstas se destinan a usos en partes automotrices tanto internas como externas y en grados que incluyen a aquellos reforzados con fibra de vidrio.

El nylon extruido también se utiliza en partes automotrices; otro mercado importante para el nylon es el de películas plásticas y cables.

Otra aplicación de los nylons son los componentes y partes de maquinaria industrial, componentes de equipo, mobiliario y bienes de uso final. La descripción de los principales mercados de las poliamidas se presenta a continuación.

A. aplicaciones de poliamidas transformadas por moldeo mediante inyección

a) automotriz

El mercado automotriz es el principal mercado de las resinas de nylon, las categorías en las que se utilizan son:

- Componentes exteriores: extensiones de salpicaderas y paneles
- Componentes bajo el toldo: hojas del ventilador, depósito para el fluido de frenos, flujidos de la dirección y tapas del radiador.
- Componentes del sistema eléctrico: conectores de alambreado y aislamiento de cables en general.
- Componentes mecánicos: engranes del velocímetro, soportes del acondicionador de aire.

El incremento en las aplicaciones automotrices se debe a sus ventajas comparativas con respecto a los metales, principalmente causadas por su alto nivel de rigidez, alta resistencia al impacto, además de su estabilidad dimensional logradas con el reforzamiento con fibra de vidrio y mineral. Una ventaja adicional está en el hecho de que los componentes externos del cuerpo no requieren de exposición a la pintura horneada en la línea de ensamble.

El crecimiento potencial de las aplicaciones de nylon en automóviles se considera bueno, siempre y cuando los diseñadores

se acostumbren a utilizar nylon en lugar de metales sobre todo en componentes grandes. Las partes pequeñas tales como las tapas del tanque de radiador que han aparecido en años recientes, tienen poco efecto en el consumo total.

b) componentes eléctricos y electrónicos

El segundo mercado más importante de la resina nylon es la producción de componentes eléctricos y electrónicos, entre los que se pueden anotar: cable, alambre de amarrado (usado en el empaquetado de alambrado eléctrico y cable), conectores de alambre, cajas de baterías, cubiertas de motores pequeños, bastidores de interruptores, portafusibles, etc. Se espera que esta aplicación se incremente en el futuro.

c) componentes y partes de maquinaria industrial

Este es el mercado más fragmentado de las resinas nylon, en él se incluyen engranes de arrancador, silenciadores de aire y carburadores; otros componentes que también se hacen de nylon son dientes de cadenas, poleas, abrazaderas, válvulas, hojas de ventilador, etc.

Se espera que este mercado continúe creciendo ya que el costo de las partes hechas con nylon resulta menor que las de partes moldeadas del metal que sustituyen, sin embargo, compiten con otros plásticos de ingeniería en este campo.

d) componentes de equipo y mobiliario

En este mercado se incluyen las siguientes aplicaciones:

- Broches
- Equipo de colgar
- Estructura de ventanas
- Mobiliario y accesorios
- Partes de herramientas

El nylon 6 y nylon 6,6 comparten el mercado de broches, los cuales se utilizan donde se requiere resistencia a la corrosión, propiedades no magnéticas y/o sellado especial o buena presentación y se emplean en automóviles, vestidos, equipo y aparatos eléctricos. Por lo que al equipo de colgar y ventanas se refiere, éstas aplicaciones in-

volucran pequeños rodamientos (mecanismos de suspensión de cajones de gabinetes o puertas corredizas) y partes de cerraduras.

e) bienes de uso final

Entre los artículos de consumo producidos mediante moldeado por inyección se incluyen válvulas para envases de aerosol, cuerpos de encendedores, espátulas y artículos de cuidado personal (cepillos, peines, etc.).

Otro tipo de componentes moldeados son los de equipo médico, laboratorio y artículos militares.

B . aplicaciones de poliamidas transformadas por extrusión

En este apartado la resina de nylon-6 se utiliza ampliamente para recubrimientos y aplicaciones en forma de película. Para usos de empaque, esta película es relativamente cara, pero sobresale sobre otras películas para empaque por su baja transmisión de gas y resistencia a la grasa. Debido a que la película de nylon tiene una transmisión de humedad relativamente alta, se adhiere a películas de PVC o polietileno de baja densidad; las aplicaciones típicas de tales laminados son el envolver carnes procesadas y quesos. La película de nylon también se utiliza en el empaquetado de productos médicos.

Las bandas de nylon 6,6 son otra aplicación en empaque donde este material compete con el acero, el poliéster de tereftalato y las poliolefinas lineales.

Otras aplicaciones del nylon extruido son las que utilizan monofilamento no textil, que en su mayoría se usa en cerdas para brochas y cepillos de dientes o bien para fabricar cuerdas especiales como las de pescar, cables automotrices bajo el toldo y otros cables industriales; en estas aplicaciones se prefiere al nylon 6 y al nylon 6,9.

La tubería de nylon puede ser semiflexible (nylon 6, 11 o 6, 12 semiflexible) o rígida (nylon 6 o 6,6) y sus usos típicos son en componentes de automóviles y acondicionadores de aire como tubería del radiador, otro uso es en equipo de procesamiento de carne.

C. otras aplicaciones

Se incluyen aquí los grados de polvo de nylon para recubrimiento (nylon 11) y resinas usadas para mezclado, cantidades rela-

tivamente pequeñas de resinas empleadas para aplicaciones de adhesivo y otras usadas mediante moldeo por soplado y roto-moldeo, así como en forma de copolímeros solubles.

3.2 mercado internacional de las poliamidas

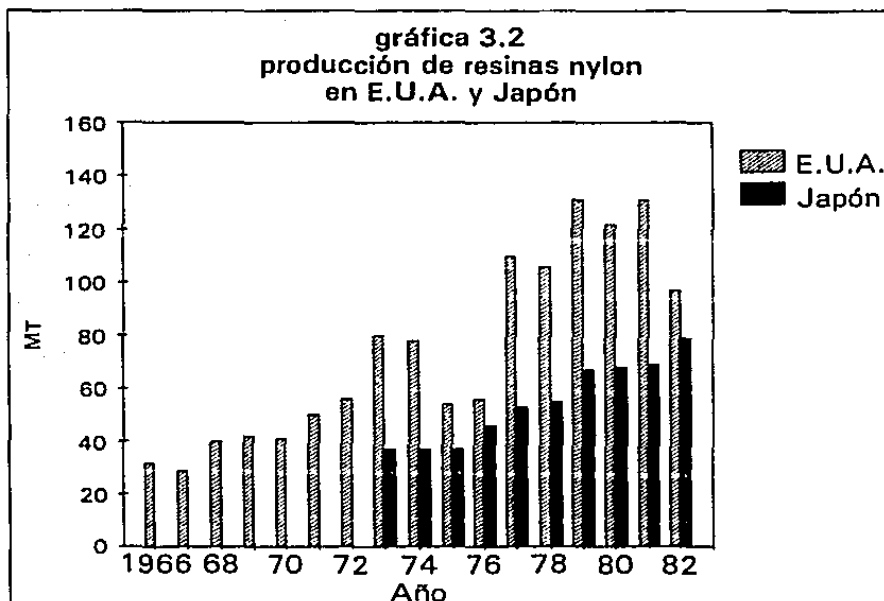
3.2.1 desarrollo histórico

Los primeros datos de producción de resinas de nylon son para el mercado de Estados Unidos en 1965, en Japón, estos datos son de 1973. El crecimiento histórico en este renglón para el período comprendido entre estos años y 1982 fue de aproximadamente 8 por ciento promedio anual en ambos mercados. Se desconocen los datos históricos del mercado europeo aunque en general los datos de producción para este mercado son superiores a los correspondientes para Japón y Estados Unidos.

3.2.2 distribución porcentual de la demanda por región

La distribución porcentual de la demanda de las poliamidas en los principales mercados se muestra en la tabla 3.5 (1982).

El análisis del destino final del consumo considerando el tipo de procesamiento de las poliamidas con mayor detalle, se muestra en las tablas 3.6, 3.7 y 3.8.



3.5. distribución porcentual de la demanda de poliamidas

aplicación	E.U.A.	Europa Occidental	Japón
automóviles	31	29	28
eléctrico/electrónico	12	18	16
maquinaria	6	....	8
películas y hojas	15	13	20
bienes de consumo	5	17	9
partes de equipo y muebles	4	8	....
monofilamento (no textil)	4	6	10
otros	22	9	9
	100%	100%	100%

tabla 3.6. demanda japonesa de resinas nylon 6 y 6,6 en 1982

(miles de toneladas)

aplicación	nylon 6	nylon 6,6	total
eléctrico/electrónico	6.0	5.5	11.5
automóviles y vehículos	12.5	7.5	20.0
maquinaria	3.5	2.0	5.5
materiales de construcción	4.0	....	4.0
artículos de consumo	6.0	....	6.0
película y hoja	14.0	....	14.0
monofilamento	7.0	....	7.0
otros	....	2.0	2.0
total	53.0	17.0	70.0

tabla 3.7. consumo estimado por tipo de resina en E.U.A. en 1982

(miles de toneladas)

aplicación de moldeo por inyección	nylon 6,6	nylon 6	otros nylons	total
partes automotrices	24.1	7.7	0.4	32.2
partes eléctricas/electrónicas	10.4	0.9	0.9	12.2
partes de maquinaria industrial	5.4	1.4	....	6.8
partes de equipo y ornato	4.0	0.9	....	4.9
partes de instrumentos	4.0	0.9	0.9	5.8
artículos de consumo	3.6	0.9	....	4.5
otros	1.4	0.4	....	1.8
total	52.9	13.1	2.2	68.0
aplicaciones por extrusión				
películas y recubrimientos	0.9	14.5	0.4	15.8
monofilamento no textil	5.4	0.9	2.3	8.6
alambre y cable	....	4.5	1.8	6.3
tubería	0.4	0.9	1.8	3.1
otros	1.1	0.4	....	1.8
total	8.1	21.2	6.3	35.6
demanda interna	61.2	34.6	9.5	105.2
exportación	6.8	0.9	0.4	8.1
demanda total	68.0	35.4	9.9	113.3

tabla 3.8. consumo de nylon 6 y 6,6 para Europa occidental en 1982

(miles de toneladas)

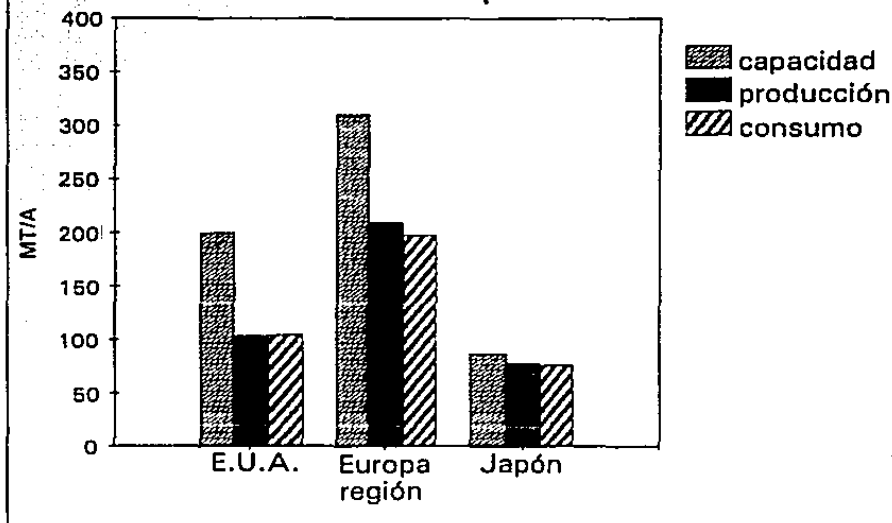
moldeo por inyección	nylon 6 y 6,6
transportación	50.7
eléctrico/electrónico	31.5
aparatos y herramientas	29.8
muebles y decoración	14.0
artículos técnicos	10.5
total	136.5
extrusión	
películas	22.7
monofilamentos	10.5
hojas	5.3
total	38.5

3.2.3 situación actual y perspectivas del mercado mundial de poliamidas

La producción mundial de poliamidas en 1982 fue cercana a las 400 mil toneladas, de las cuales 51 por ciento correspondió a las resinas de nylon 6; 39 por ciento correspondió al nylon 6,6, mientras que el restante 10 por ciento correspondió a las resinas de nylon 6,9; 12; 6,10 y 6,12. Para ese mismo año la capacidad instalada total fue 597 mil toneladas.

En la gráfica 3.3 se muestra la capacidad, producción y consumo de poliamidas en los principales mercados del mundo.

gráfica 3.3
mercado mundial de las poliamidas en 1982



En 1985 el consumo mundial de poliamidas fue de aproximadamente 550 mil toneladas, de las cuales cerca de 500 mil correspondieron a nylon 6 y nylon 6,6. El pronóstico para el crecimiento en el consumo mundial es de 5 por ciento promedio anual

hasta 1995, por lo que el consumo alcanzaría la cifra de 814 mil toneladas. La capacidad instalada por productor así como los nombres comerciales de sus productos en 1983 se muestran en la tabla 3.9.

tabla 3.9 productores de resinas nylon (enero 1984)

compañía	capacidad (miles de tons)	región	tipo de resina producida y nombres comerciales
basf	85	Europa (Alemania)	nylon 6,6 y 6,10 ultramid
du pont	75	E.U.A.	nylon 6,6 y 6,12 zytel
bayer	40	Europa (Alemania)	nylon 6 durethan
allied co.	32	E.U.A.	nylon 6 caprón
monsanto	32	E.U.A.	nylon 6 y 6,9 vidyne
techno polimeri	28	Europa (Italia)	nylon 6 snicimid
rhone poulenc	25	Europa (Francia)	nylon 6,6 y 6,10 teconyl
ube industries	27	Japón	nylon 6 y 6,6
toray industries	23	Japón	nylon 6 y 6,6
akzo	20	Europa (países bajos)	nylon 6 skulan
calanese	18	E.U.A.	nylon 6,6
ici	18	Europa (Inglaterra)	nylon 6,6 moranyl
	6	Europa (Holanda)	nylon 6,6 moranyl
serquigny	18	Europa (Francia)	nylon 6 orgamid
chemische werke huels	14	Europa (Alemania)	nylon 6 durethan
unitika	12	Japón	nylon 6
asahi	10	Japón	nylon 6,6
mitsubishi chemical inc.	10	Japón	nylon 6
caprol	10	Europa (Italia)	nylon 6 nivanplast
varias (con manos de 10,000 t/a)	97	---	---
total	600		

3.2.4. precios

3.2.4.1. desarrollo histórico

El desarrollo histórico de los precios de las poliamidas en Europa Occidental y Estados Unidos se muestra en la gráfica 3.4, la tasa de crecimiento de dichos precios en estos mercados es la siguiente:

	período	tasa de crecimiento
estados unidos	1972-1982	8.6
europa occidental	1974-1982	7.5

La caída de los precios en el mercado europeo en 1982 obedece al aumento que experimentó el dólar en este año con respecto al franco francés (moneda en la que se tienen reportados los datos originales).

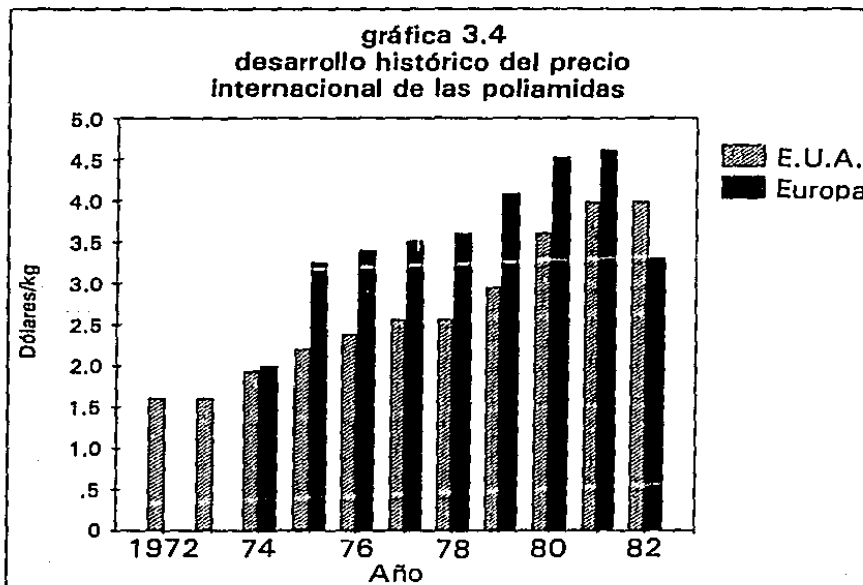
A fin de comparar los precios promedio de las poliamidas en el panorama mundial, en

la gráfica 3.5 se muestran los datos correspondientes a los tres principales mercados durante 1982. Como puede observarse el precio de la resina en Estados Unidos (4.0 dólares/Kg) resulta superior a los respectivos para Europa Occidental (3.31 dólares/Kg) y Japón (3.20 dólares/Kg).

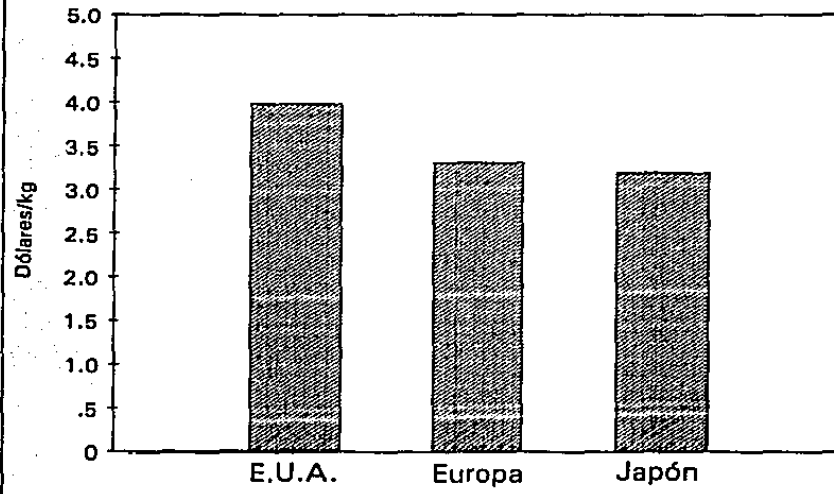
Los datos disponibles más recientes corresponden a Estados Unidos. Para enero de 1986 el nivel de precios promedio de ambas resinas (nylon 6 y 6,6) es muy similar al reportado en este mismo país en 1982; es decir, cercano a los cuatro dólares/Kg. Los precios de las resinas reforzadas con 30 por ciento de fibra de vidrio son entre un 9 y un 10 por ciento inferiores a las resinas de uso general.

3.2.4.2. proyecciones

De mantenerse la tendencia observada en los últimos años (cuando menos para el mercado de Estados Unidos), el precio promedio internacional de las resinas nylon 6 y nylon 6,6 en 1990 oscilará entre valores cercanos a los cuatro dólares/Kg (dependiendo del grado).



gráfica 3.5
precio internacional de las resinas nylon
en 1982



3.3.1. consumo y/o producción de poliamidas en México

Como se observa en las cifras internacionales, las dos poliamidas de mayor importancia (con aproximadamente 90 por ciento del mercado total) son el nylon 6 y el nylon 6,6; por lo que a partir de este punto nuestra atención se enfocará hacia estos dos productos y tanto el análisis de mercado nacional como los aspectos tecnológicos se realizarán exclusivamente para las dos resinas antes mencionadas.

El nylon 6 (policaprolactama) es producido en México por varias empresas en su grado fibra y dos de ellas producen, aunque en pequeña cantidad, nylon 6 en su grado resina. En 1986 se produjeron aproximadamente 1,500 toneladas de resina de nylon 6. Por lo que a el nylon 6,6 se refiere, el consumo interno se cubre íntegramente con importaciones aunque, al igual que para el nylon 6, los niveles de dichas importaciones son bajos ya que entre ambos nylons no se alcanzan (cuando menos en forma de resina virgen) las 1,000 toneladas. La gráfica 3.6 muestra el desarrollo histórico de dichas importaciones.

3.3.2 uso de las poliamidas en México

El nylon 6 se utiliza principalmente en las siguientes aplicaciones:

- Fabricación de cuerdas para pescar
- Partes automotrices
- Fabricación de juguetes
- Enseres domésticos

Por lo que al nylon 6,6 se refiere, se desconoce el destino final de las importaciones.

3.3.3. materias primas

caprolactama

La caprolactama se produce en México desde finales de 1972, para el período de 1975 a 1985 la tasa de crecimiento fue de 4.5 por ciento anual. Las cifras para 1985 fueron:

Capacidad instalada	50,000 tons.
Producción	52,000 tons.
Importaciones	7,936 tons.

El 100 por ciento de la caprolactama se utiliza para producir nylon 6 (principalmente en grado fibra). La gráfica 3.7 muestra el desarrollo histórico de este producto.

En fecha reciente la empresa que produce caprolactama en México, obtuvo autorización para ampliar su capacidad de 50 mil a 75 mil T/A; esperando que se esté operando a la nueva capacidad a finales de 1987.

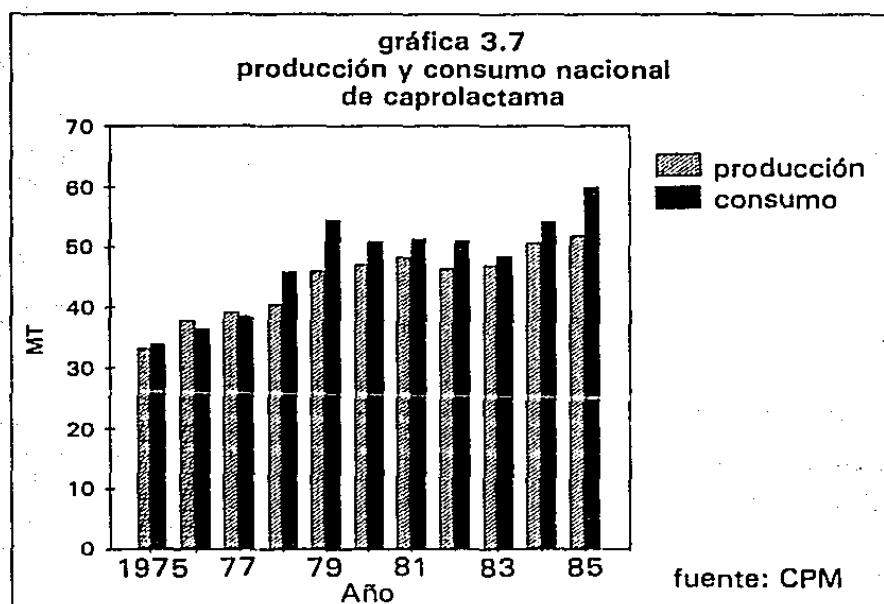
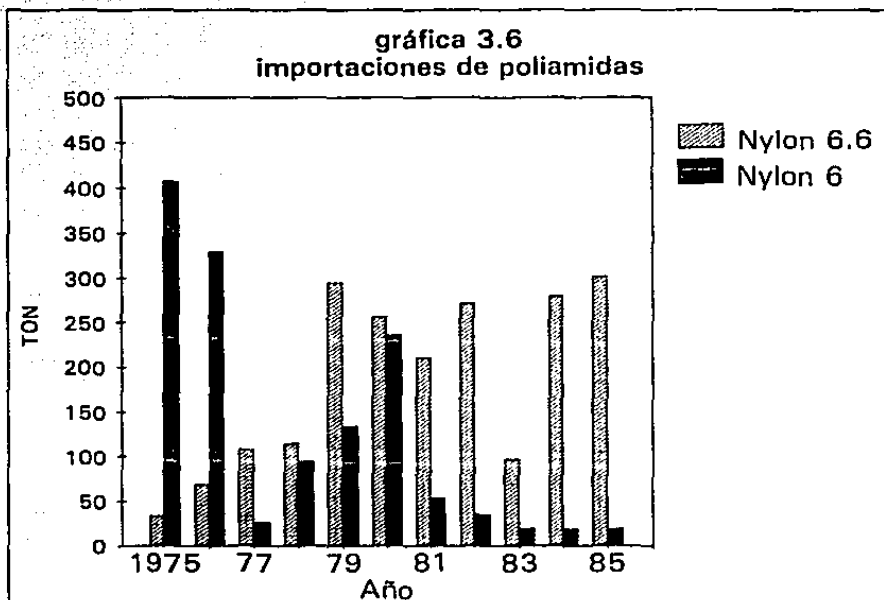
ácido adipico

El ácido adipico es un ácido dicarboxílico producido a partir de ciclohexano via ciclohexanona, además de su uso en la producción de nylon 6,6 se emplea en la producción de fibras sintéticas, ésteres para plastificantes y producción de poliuretanos, aunque se desconoce la distribución porcentual de la demanda en México.

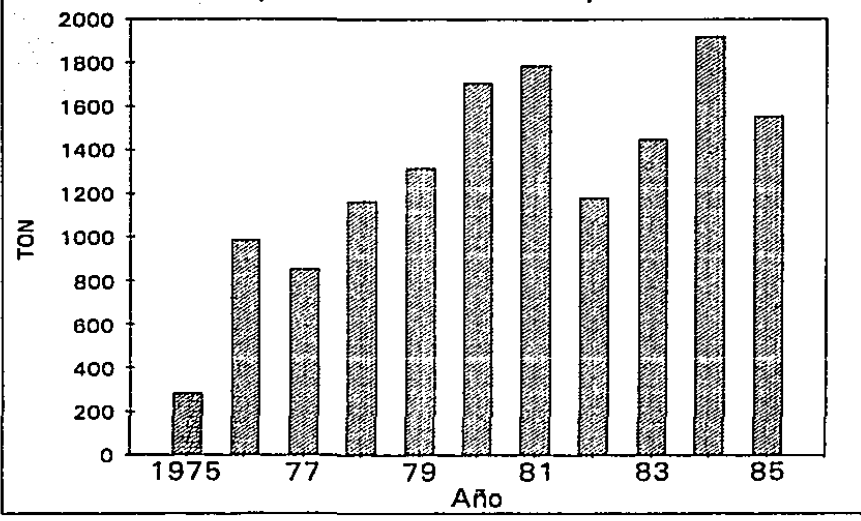
No existe producción nacional de este producto, por lo que el consumo interno se cubre con importaciones, las cuales crecieron a una tasa de 17 por ciento para el periodo de 1975-1985 (ver gráfica 3.8).

hexametilendiamina (HMDA)

Aunque varias empresas en el país producen la hexametilentriamina y hexametilentetramina, en ningún caso se reporta producción de HMDA en forma separada. De igual forma no hay datos reportados de exportación o importación de este producto.



gráfica 3.8
importaciones de ácido adípico



3.4.1. rutas tecnológicas existentes para producir nylon 6

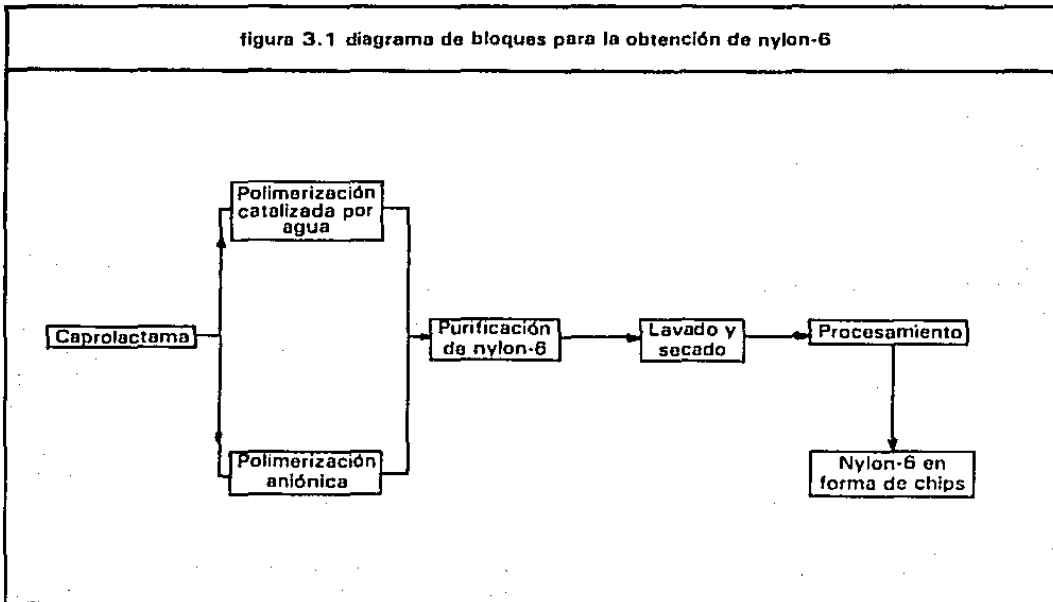
Aunque la única vía para producir nylon 6 es la de polimerización de caprolactama, existen dos métodos de procesamiento en base a las condiciones empleadas en la etapa de polimerización.

- Proceso hidrolítico o catalizado por agua
- Proceso aniónico o catalizado por una base (anhidro).

Existe un tercer proceso que utiliza un catalizador ácido, pero hasta el momento no se ha utilizado a escala comercial y su interés ha sido meramente académico.

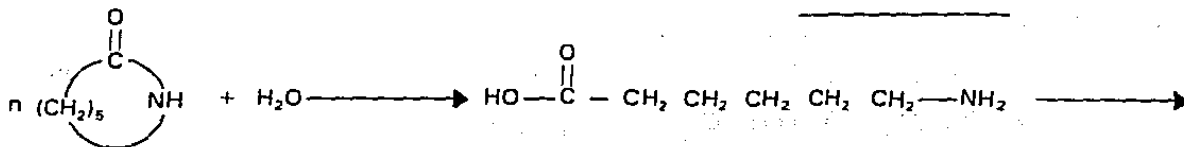
En ambos casos se parte de la misma materia prima (caprolactama) y se tienen prácticamente las mismas etapas de purificación y procesamiento final; aunque, como ya se dijo, las condiciones de reacción son diferentes y lógicamente las operaciones de separación presentan las diferencias de acuerdo con las características del polímero obtenido.

figura 3.1 diagrama de bloques para la obtención de nylon-6



3.4.2 análisis general de los procesos catalizado por agua y aniónico

El proceso catalizado por agua se inicia con la hidrólisis de la caprolactama, formando el ácido amino capríónico, el cual reacciona con más caprolactama. La reacción que se lleva a cabo es:



Caprolactama

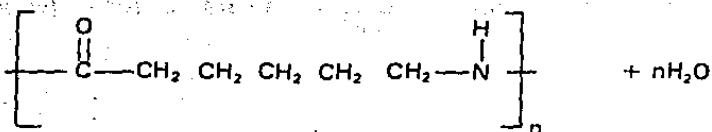
Agua

Ácido Amino Capríónico

P.M. 113

P.M. 18

P.M. 131



Nylon-6

Agua

P.M. 14,000 - 20,000

P.M. 18

Una mayor polimerización ocurre por reacciones de condensación, en las cuales dos moléculas reaccionan formando una cadena de mayor tamaño y agua.

El tamaño de la cadena o peso molecular del polímero final se controla agregando agentes de terminación de cadena, que por otro lado también hacen las veces de estabilizadores. Uno de los más usados es el ácido acético, aunque también se pueden usar algunas aminas. Estos reaccionan con los grupos terminales hidroxilo o amino del polímero.

En la práctica las reacciones de iniciación, adición, condensación y terminación ocurren en forma simultánea y el resultado es un equilibrio entre el polímero de nylon-6 con aproximadamente 10 por ciento de compuestos de bajo peso molecular, que

deben eliminarse en la sección de purificación o mediante el lavado de las píldoras sólidas obtenidas (Chips).

Las ventajas más sobresalientes de este proceso son:

- a) Fácil control
- b) Apropriado para trabajar a gran escala
- c) Logra un alto grado de conversión

En contraste con la polimerización catalizada por agua, la polimerización aniónica se

lleva a cabo en condiciones anhidras. La reacción se conduce generalmente a temperaturas que van desde 69°C (temperatura de fusión de la caprolactama) y los 215°C (temperatura de fusión del polímero). El catalizador es usualmente lactamato de potasio, pero pueden utilizarse otros compuestos básicos.

Las polimerizaciones aniónicas son especialmente sensibles al agua, la cual en varios casos ataca al catalizador y afecta la velocidad de reacción y el grado de polimerización. Los tiempos de reacción de esta polimerización son más bajos que los utilizados en el proceso catalizado por agua (de unos minutos a horas, contra cerca de 15 horas).

Las principales ventajas del proceso aniónico son, que además de poder utilizar equipo

simple a pequeña escala, el polímero obtenido puede (cuando se usa la técnica de vaciado de monómero) utilizar equipo de procesamiento más económico.

Cualquiera de los procesos pueden trabajar en forma continua o por lotes, aunque la polimerización aniónica resulta más adecuada para el trabajo por lotes. Ambos también pueden usarse para producir el polímero en grado fibra.

A nivel comercial el proceso que ha tenido mayor aceptación es el catalizado por agua, debido en gran parte a la facilidad de control por lo que se analizará a continuación con más detalle.

3.4.2.1. descripción del proceso para obtener nylon 6 usando el proceso catalizado por agua

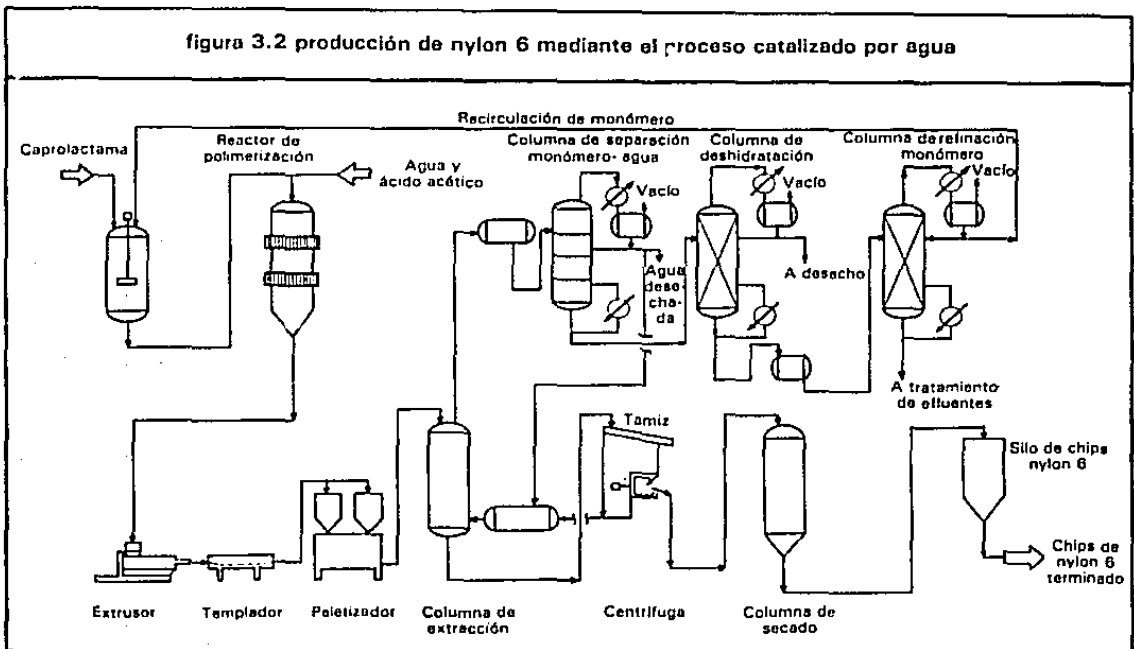
La materia prima, caprolactama, se recibe a una temperatura ligeramente superior a su temperatura de fusión y se alimenta junto con el agua (catalizador) y el ácido acético (agente de terminación o control de tamaño de cadena), al reactor de polimerización, este reactor consiste en un tubo vertical que tiene tiempos de residencia de aproximadamente 15 horas.

La mezcla reaccionante se calienta a 260°C mediante un serpentín interno que utiliza aceite como medio de calentamiento y el agua formada se elimina en forma continua de la mezcla reaccionante vaporizándola a presiones bajas o atmosféricas. La remoción de agua es necesaria para obtener productos de buena calidad.

El polímero obtenido junto con el monómero sin reaccionar y oligómeros de bajo peso molecular, se alimentan a un extrusor en el que se forman pequeñas varillas con el polímero; las cuales se hacen pasar a través de un recipiente en el que se templan para posteriormente pasar a un peletizador.

Las píldoras o chips de plástico se alimentan a una columna de lavado en la que con agua caliente se eliminan las impurezas y el monómero residual. El monómero separado se manda a un tren de purificación donde se separa del agua mientras que los chips lavados pasan a través de un tamiz para finalmente secarse en una columna usando nitrógeno caliente como medio de secado. En este momento el nylon-6, en forma de chip, está listo y puede pasar a almacenamiento.

El diagrama de flujo de este proceso puede verse en la figura 3.2.



consumos unitarios de materias primas y servicios auxiliares

Los consumos unitarios para el proceso catalizado por agua descrito anteriormente, tanto de servicios auxiliares como de materias primas se muestran en la tabla 3.10.

tabla 3.10 consumos unitarios en la producción de nylon 6 vía proceso catalizado por agua

materias primas	consumo por tonelada de nylon-6
caprolactama	1.048 tons.
ácido acético	0.002 tons.
nylon residual	0.065 tons.
servicios auxiliares	
agua de enfriamiento	1.89 m ³
vapor de agua	3.8 tons.
electricidad	368 KwH
gas inerte	7.1 nm ³
gas natural	222 K-Cal

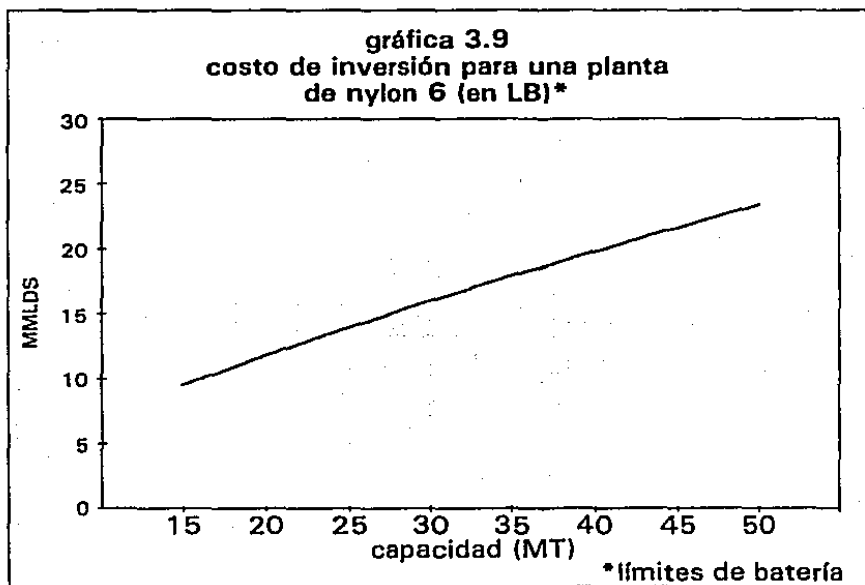
costos de inversión y producción

El costo de inversión para una planta de nylon 6 que utiliza la tecnología descrita anteriormente, a tres capacidades diferentes, se muestran en la tabla 3.11.

tabla 3.11 costos de inversión para obtener nylon 6 (millones de dólares)

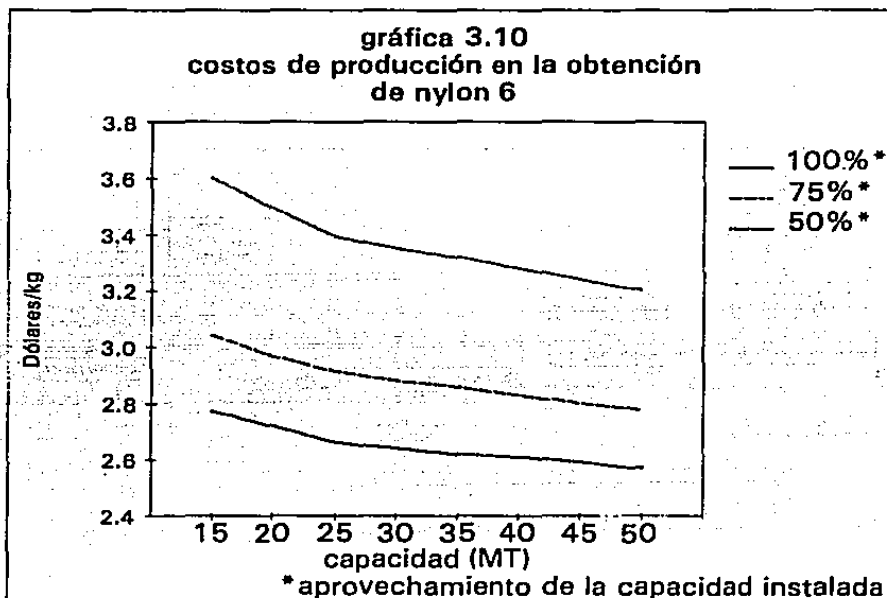
	capacidad en miles de toneladas anuales		
	10	20	40
límites de batería	7.0	12.0	20.0
servicios auxiliares	3.0	5.0	8.0
capital fijo total	10.0	17.0	28.0

A fin de observar el efecto de la economía de escala en esta tecnología, la siguiente gráfica muestra el costo de inversión (en límites de batería) en función de la capacidad de la planta.



Por otro lado el costo de producción para las mismas capacidades de planta y fecha reportados para Estados Unidos, se muestra en la siguiente gráfica como una función del nivel de operación.

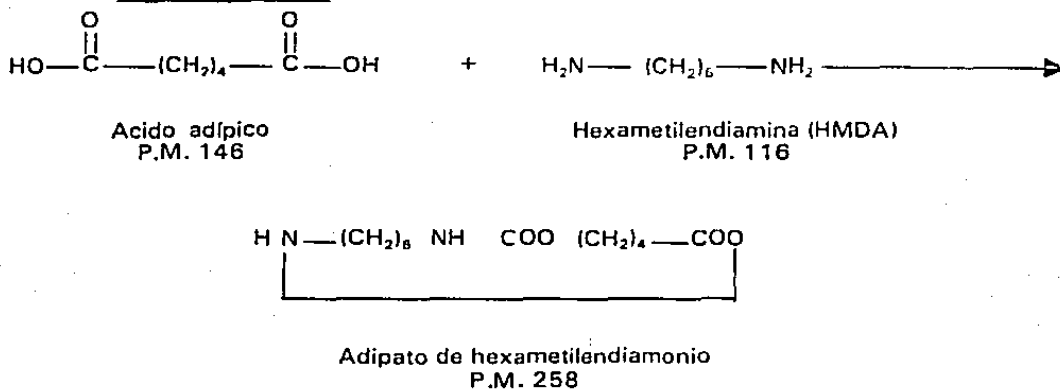
- Producción de la sal de nylon
- Concentración de la sal de nylon
- Polimerización
- Acabado y procesado



3.4.3. rutas tecnológicas existentes para producir nylon 6,6

El nylon 6,6 se produce mediante la reacción entre el ácido adípico y la hexametildiamina en un proceso que abarca las siguientes etapas:

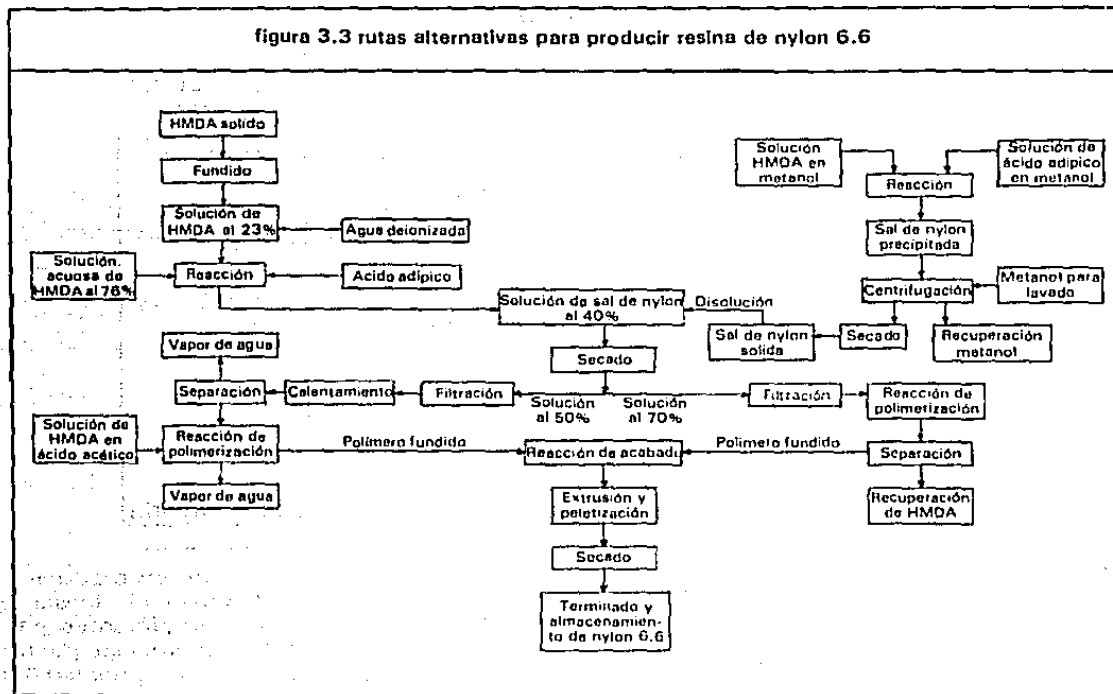
La primera etapa, consiste en producir el adipato de hexametildiamonio (o sal de nylon). Hay dos procesos diferentes para producir la sal de nylon: el proceso que utiliza alcohol como solvente y el proceso que utiliza agua como solvente; ese último produce una solución acuosa de sal de nylon, mientras que el primero da como resultado una sal de nylon sólida. La reacción de producción de esta sal es la siguiente:



De igual forma, en la etapa de polimerización existen dos rutas alternativas de procesamiento, la diferencia entre ambas rutas se debe básicamente al tipo de reactor utilizado en la primera fase de polimerización (figura 3.3).

cierta ventaja en la transportación, no obstante, normalmente la sal se consume inmediatamente y la ruta más utilizada a escala comercial es la que produce la solución acuosa (tiene costos de producción menores).

figura 3.3 rutas alternativas para producir resina de nylon 6.6



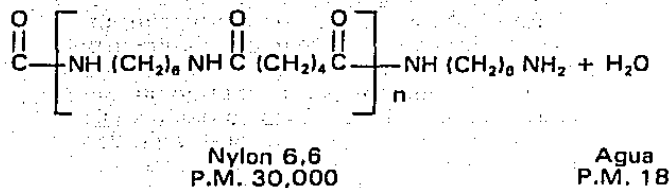
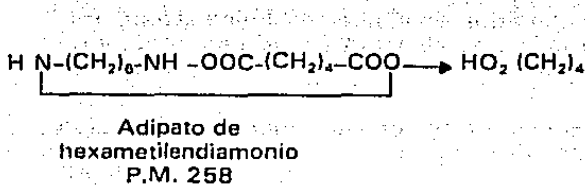
3.4.4. análisis de la ruta para producir la sal de nylon

Generalmente se prefiere la solución de sal de nylon acuosa siempre y cuando la solución de nylon se consume continuamente; estas soluciones acuosas no son estables en aire, por lo que el tiempo de almacenamiento debe limitarse a menos de un día. El proceso que utiliza alcohol como solvente al producir la sal en forma sólida, presenta

Si así se requiere, la solución de nylon acuosa puede pasarse a la forma sólida agregando a la primera ácido adipico y hexametildiamina, para obtener un precipitado que se lava con metanol y se seca para obtener el sólido deseado.

3.4.5. análisis de las alternativas de polimerización

La polimerización consiste en una policondensación en la que el nylon 6,6 se produce de acuerdo a la siguiente reacción:



El proceso de polimerización se puede efectuar tanto en forma continua como por lotes o proceso intermitente; el proceso por lotes presenta la inconveniencia de que la calidad del producto puede variar de lote a lote y las cantidades de producto que se pueden manejar son relativamente pequeñas.

En general, el proceso continuo opera de la siguiente forma: la reacción tiene lugar en varias etapas y en diferentes equipos; la primera etapa de reacción se lleva a cabo a presiones mayores a las 18 atmósferas para prevenir la pérdida de HMDA (producido anteriormente), el vapor de agua que aquí se produce se elimina en un separador subsecuente; la última etapa de polimerización se efectúa a presiones atmosféricas o sub-atmosféricas a fin de facilitar la remoción del agua formada. A lo largo de la reacción la temperatura varía entre 200 y 300°C, más comúnmente entre 270 y 290°C, para prevenir el congelamiento debido a la evaporación del agua (al variar la presión).

En la polimerización, las dos alternativas viables se realizan en tres etapas aunque en un caso se parte de una solución de nylon al 50 por ciento mientras que en otro la concentración de la sal es de 70 por ciento. La diferencia fundamental se encuentra en los tipos de reactores utilizados y las características del polímero manejado. Las principales diferencias entre los procesos se muestran en la siguiente tabla:

tabla 3.12. principales diferencias entre las rutas de polimerización (policondensación de nylon 6,6)

concepto	alternativa 1 (DuPont-Canadá)	alternativa 2 ("tanque reactor")
tipo de reactor en la primera etapa	-----	tanque reactor
tiempo de residencia	corto (horas)	grande (hasta un día)*
concentración de sal requerida en la alimentación	50%	70%
conversión	95%	50%
cantidad de agua en producto	10%	15%
relación de carga entre las alternativas	1	2

* este tiempo de residencia alto puede ocasionar un producto ligeramente más oscuro

La comparación técnica muestra que el proceso de polimerización de Du Pont resulta mejor que el proceso del tanque-reactor en varios factores de tipo operacional. Por lo que al tipo de producto se refiere, las características del producto final son similares lo mismo que los costos de inversión requeridos en ambos casos.

3.4.6. otros procesos de polimerización

Existen otros procesos de polimerización no convencionales para producir el nylon 6,6, como es el proceso de polimerización en masa, el proceso no acuoso y el proceso interfacial. El proceso de polimerización en masa parte de una sal de nylon sólida a una temperatura por debajo de su punto de fusión (197°C). El proceso consta de tres pasos de reacción y requiere de un tiempo de reacción largo y los aditivos no pueden agregarse en forma uniforme; la ventaja del proceso se encuentra en que evita la necesidad de evaporar el agua formada, con lo que se pueden lograr ahorros energéticos significativos. Al igual que los otros procesos mencionados en este apartado su implementación a escala comercial es limitada.

3.4.6.1. descripción de un proceso para producir nylon 6,6 vía solución acuosa de sal de nylon

A continuación se describe un proceso para obtener nylon 6,6 a partir de ácido adípico y hexametildiamina mediante solución acuosa de sal de nylon en un reactor del tipo usado en la alternativa de Du Pont.

La figura 3.4 muestra un esquema simplificado del proceso; éste se inicia bombeando la HMDA a un disolvidor en donde se mezcla con agua desionizada formando una solución al 23 por ciento. Esta solución se lleva a una serie de dos reactores agitados; en el segundo reactor se agrega una solución de HMDA al 70 por ciento para mantener un Ph de 7.7 - 7.9, la corriente que abandona este reactor es una sal de nylon con una concentración de 40 por ciento que se envía a la sección de policondensación.

En la sección de policondensación se evapora la solución de sal de nylon hasta tener una concentración del 50 por ciento; esta solución se filtra y calienta hasta 210°C y se alimenta a un separador de platos que trabaja acoplado al primer reactor de policondensación. Este reactor es básicamente un intercambiador de calor que utiliza aceite como medio de calentamiento; el efluente de este reactor se alimenta a un segundo reactor "flasheador", consistente en una serie de tubos inmersos en un medio de calentamiento. La conversión de la sal de nylon alcanzada en este reactor es de aproximadamente 98 por ciento, la corriente que sale de él pasa a través de un

separador, en el que se elimina el agua formada y se alimenta a un último reactor de acabado.

El reactor de acabado opera a una presión de 300 mm Hg y a una temperatura de 271°C con un tiempo de residencia de 40 minutos. En este reactor se obtiene el nylon 6,6 fundido, mezclado con algunas impurezas como HMDA, amoniaco, otras aminas, etc.; que pueden alimentarse a un extrusor en el que se obtiene la resina en forma de varillas; éstas se cortan con un pelletizador de donde envían por medio de una corriente de agua a un secador fluidizado para secar la resina con nitrógeno. El nylon en este punto está listo para mezclarse con los aditivos deseados y procesarse.

consumos unitarios de materias primas y servicios auxiliares

Los consumos unitarios para el proceso de nylon 6,6 descrito brevemente en la sección anterior, tanto de servicios auxiliares como de materias primas se muestran en la tabla 3.13.

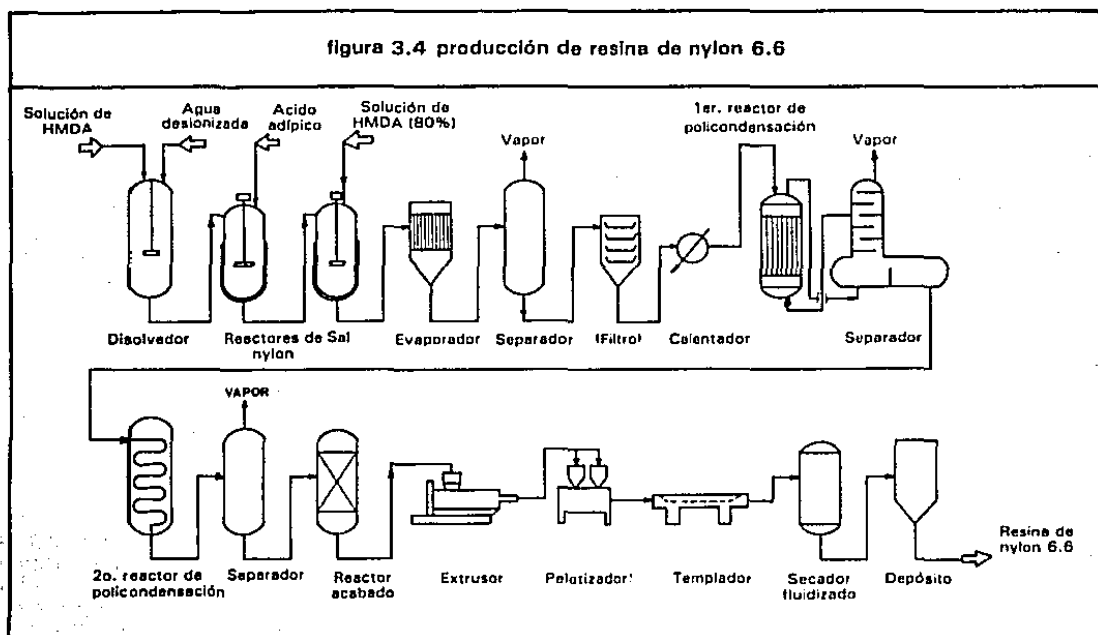


tabla 3.13 consumos unitarios en producción de nylon 6,6

materia prima	consumo por tonelada
ácido adípico	0.6536 tons.
hexametilendiamina	0.5198 tons.
ácido acético	0.00175 tons.
servicios auxiliares	
agua de enfriamiento	188 m ³
vapor	2.3 tons.
agua de proceso	2.4 m ³
electricidad	88 Kwh
combustibles	1.667 K-Cal
gas inerte	1.565 nm ³

costos de inversión y producción

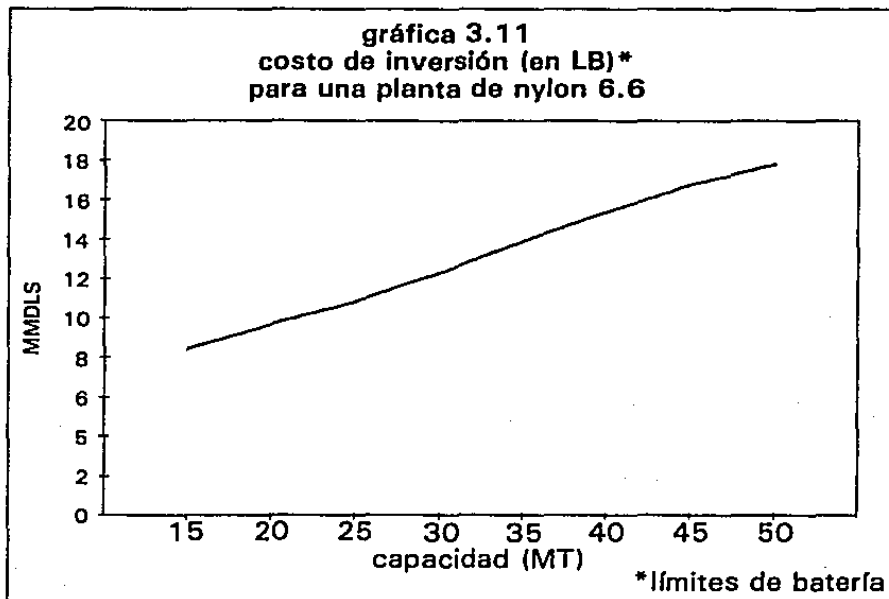
En la tabla 3.14 se presentan los costos totales de inversión como capital fijo reportado para tres capacidades diferentes, para el proceso descrito anteriormente a precios de 1986. A fin de observar el efecto de la economía de escala sobre el costo de inver-

sión en la gráfica 3.11, se muestra la forma en que varía la inversión (en límites de batería) al modificar la capacidad de la planta.

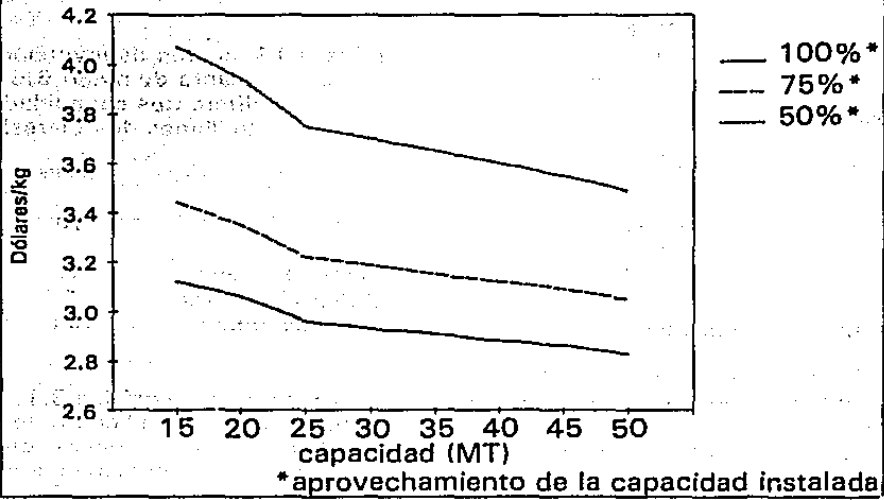
tabla 3.14 costos de inversión para una planta de nylon 6,6 a diferentes capacidades (millones de dólares)

	miles de toneladas anuales		
	10	20	30
límites de batería	7.0	10.0	15.0
servicios auxiliares	7.0	10.0	17.0
capital fijo total	14.0	20.0	32.0

Mientras que en la gráfica 3.12 se muestra el efecto que sobre el costo de producción total tiene el nivel de operación de la planta, para las tres capacidades a las que se reportó el costo de inversión.



gráfica 3.12
costo de producción en la obtención
de nylon 6.6



4.1. generales

Los policarbonatos son una clase especial de poliésteres, resultantes de la reacción entre los derivados del ácido carbónico con dioles aromáticos. Estos productos presentan altos niveles de resistencia al impacto y estabilidad dimensional, además de buenas propiedades eléctricas. Las resinas sin pigmentar están disponibles en grados de gran claridad óptica lo que permite su utilización en vidrios especiales de alta resistencia, aunque tienen menor resistencia abrasiva que el vidrio y su resistencia a algunos solventes aromáticos y clorados también es baja.

El policarbonato más común es el que se obtiene a partir de la reacción entre el bisfenol A y el fosgeno. Su procesamiento a productos finales se efectúa principalmente mediante moldeo por inyección y por extrusión (para fabricar hojas de policarbonato), aunque también pueden utilizarse otros tipos de procesamiento como el moldeo por soplado.

4.1.1. propiedades de los policarbonatos

Las propiedades físicas, térmicas, mecánicas y eléctricas para un plástico moldeado por inyección se muestran en la tabla 4.1.

4.1.2. usos de los policarbonatos

La extrema tenacidad, transparencia, resistencia al quemado y el mantenimiento de sus propiedades como plástico de ingeniería sobre un rango de temperaturas de -200 a 140°C, permiten que el policarbonato, además de utilizarse en aplicaciones tan sofisticadas como la construcción de yelmos y caretas de cascos para astronauta y componentes de aviones supersónicos, se utilice ampliamente en la manufactura de ventanas resistentes a la rotura para edificios, autobuses y trenes, láminas resisten-

tes a balas en bancos, carros blindados y edificios públicos. En la manufactura de equipo esterilizador en el procesado de alimentos, armazones de computadora, en las que las propiedades mecánicas, eléctricas y de retardancia de flama son requeridas; otras aplicaciones son la construcción de caretas de seguridad y parabrisas de motocicletas. Las aplicaciones automotrices incluyen faros, defensas, paneles de instrumentos, "quemacocos", etc.

tabla 4.1. propiedades del policarbonato derivado del bisfenol A (moldeado por inyección)

propiedades	valor	prueba ASTM
físicas		
densidad, gram^3	1.200	D 782
% absorción en 24 hrs. mm-mm	0.15	D 570
% de agua a equilibrio	0.35	
% de transmisión de luz	86 - 89	D 1003
% de bruma	1 - 2	D 1003
índice de refracción	1.588	
térmicas		
temperatura de deflexión, °C		D 648
▲ 18.56 kg/cm^2	132	
▲ 4.64 kg/cm^2	138	
capacidad calorífica KJ/KG*°K	1.26	C 351
expansión térmica lineal por grado cent.	6.75×10^{-5}	D 698
temperatura de uso continuo, °C	121	C 177
flamabilidad, m.m.	< 25	D 835
estándar U.L. 3'18 m m de espesor	94 V-2	U.L. 94
1.5 m m de espesor	94 V-2	U.L. 94
% de índice de oxígeno	25	D 2863
conductividad térmica W/(m.k)	0.195	C 177
eléctricas		
resistencia eléctrica, $\text{m}^2/\text{m} (1000 \text{ V./min})$	15	D 149
constante dieléctrica		D 150
▲ 60 Hz	3.17	
▲ 296 Hz	2.90	
factor de poder		D 150
▲ 60 Hz	0.0009	
▲ 1000 Hz	0.010	
resistividad volumétrica, cm	8×10^{15}	D 257
mecánicas		
resistencia a la tensión, kg/cm^2		D 638
cedencia	633	
rotura	677	
% elongación		D 638
cedencia	6 - 8	
rotura	11	
módulo de tensión, kg/cm^2	24,329	D 638
resistencia a la flexión, kg/cm^2	949	D 790
módulo de flexión, kg/cm^2	23,860	D 790
resistencia a la compresión, kg/cm^2	879	D 695
impacto izod J/m	860	D 256
ranurado		
sin ranurar	no falla	

4.2. mercado internacional de los policarbonatos

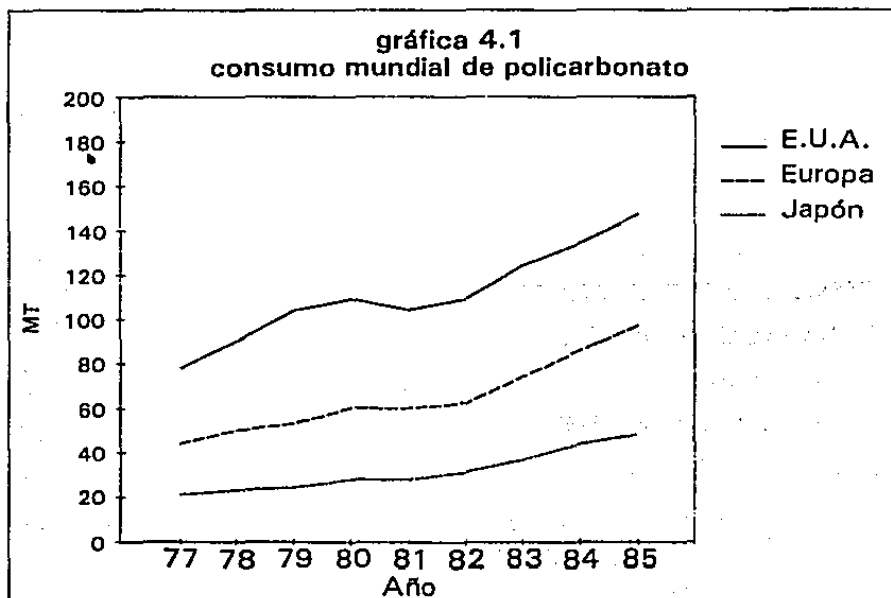
4.2.1. desarrollo histórico

Los primeros datos de producción de policarbonatos se reportaron en 1960 en Estados Unidos, y fueron de apenas 450 toneladas. A partir de ese momento las cantidades producidas fueron aumentando en forma paulatina hasta que en 1976, en este país, se produjeron 88 mil toneladas. Aunque se desconoce el año exacto en que se empezó a producir el policarbonato derivado del bisfenol A, en Japón y Europa Occidental, en 1978 el consumo de estas regiones fue de 25 mil y 50 mil respectivamente. El crecimiento promedio anual en el consumo mundial de policarbonato para el periodo de 1978-1985 fue de aproximadamente 9 por ciento (gráfica 4.1). La gráfica

4.2 muestra los datos de capacidad instalada, producción y consumo de policarbonato en 1985 para los mercados antes mencionados.

4.2.2. distribución porcentual de la demanda de policarbonato por región

La distribución porcentual de la demanda de estas resinas en las principales regiones consumidoras se muestran en la tabla 4.2.



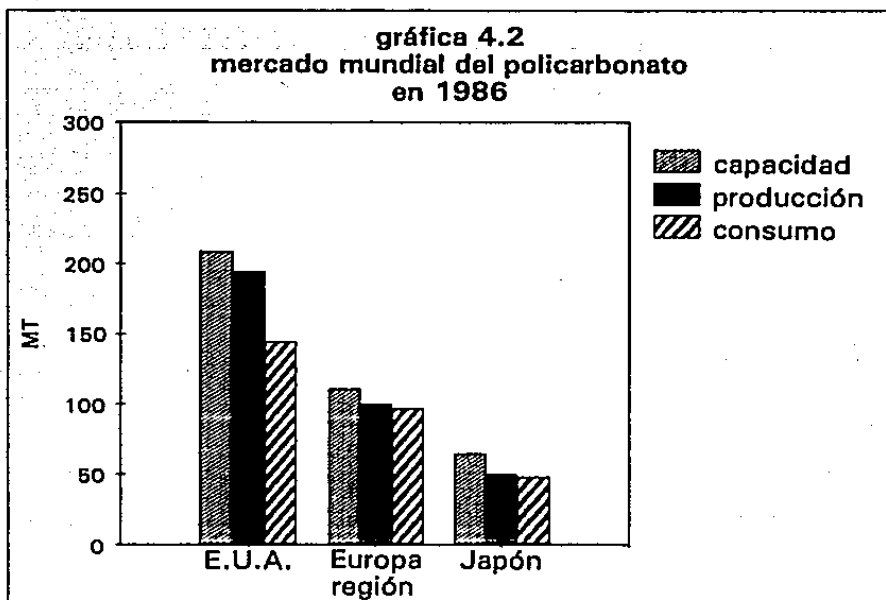


tabla 4.2. distribución porcentual de la demanda de policarbonato en 1985

mercado	E.U.A.	Europa occidental	Japón
vidrios de seguridad y otros usos en hoja o lámina.	28	10	16
eléctrico/electrónico	25	37	29
automotriz/transporte	12	14	16
deportes y recreación	5	7	---
herramientas	11	15	---
empaques	4	---	---
usos médicos	4	5	5
otros	11	5	34 ⁽²⁾
total	100%	100%	100%

⁽¹⁾ incluido en médicos

⁽²⁾ Se incluyen además máquinas de negocio

4.2.3. situación actual y perspectivas del mercado internacional de policarbonato

El consumo mundial de policarbonato en 1985 fue cercano a las 350 mil toneladas y experimentó un crecimiento de 10 por ciento sobre el correspondiente en 1984.

El principal mercado fue el de Estados Unidos, con aproximadamente 50 por ciento del consumo total, seguido del mercado europeo y japonés.

Los productores de resinas policarbonato en las regiones antes citadas, junto con los nombres comerciales de sus productos y capacidades instaladas, se muestran en la tabla 4.3.

tabla 4.3. productores de resinas policarbonato

(junio 1986)

compañía	capacidad (miles de tons)	región	nombre comercial
general electric co. ⁽¹⁾	138	E.U.A.	lexan
bayer	70	Europa	makrolon
mobay ⁽²⁾	60	E.U.A.	merlon
general electric plastics	32	Europa	lexan
teijin	23	Japón	panlite
mitsubishi gas chemical	22	Japón	rupilon
dow chemical	14	E.U.A.	calibre
idemitsu	10	Japón	toughlon
mitsui	10	Japón	novalex
enichem polimeri	9	Europa	sinvent

⁽¹⁾ general electric tenía una planta en construcción de 54 mil t/a que esperaba arrancar en 1987.

⁽²⁾ esta empresa tiene planes de aumentar su capacidad en 38 mil t/a.

Los pronósticos de crecimiento en el consumo de policarbonato son de 7 por ciento promedio anual hasta 1995 con lo que el consumo mundial será en ese año de 650 mil toneladas, con una distribución entre los principales mercados como la que se muestra en la gráfica 4.3.

4.2.4. precios

4.2.4.1. desarrollo histórico y situación actual

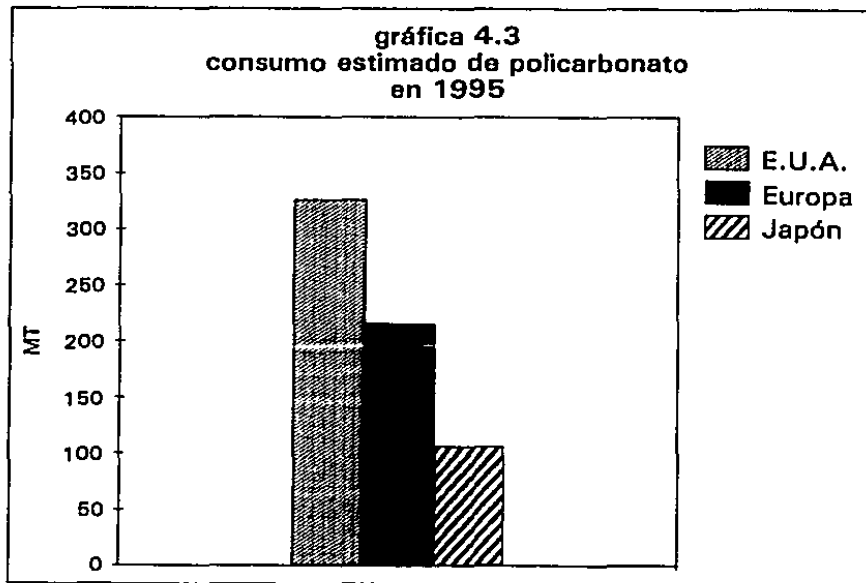
El precio de la resina policarbonato de uso general en Estados Unidos, que en 1970 fue de 1.65 dólares/Kg., para 1980 esta misma resina alcanzó los 3.17 dólares/Kg. En la gráfica 4.4 se muestra el comportamiento de los precios de la resina de uso general en el mercado estadounidense para el período 1980-1985, así como los precios reportados para la resina equivalente en los mercados japonés y europeo.

Por lo que a los grados reforzados se refiere, sus precios son mayores que los correspondientes a la resina de uso general, algunos ejemplos son los siguientes:

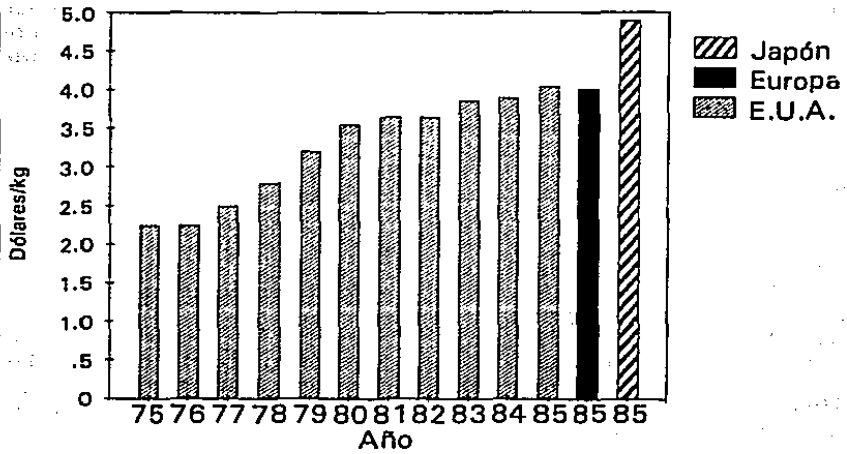
grado	precio en E.U.A. (enero 1986) (dólares/kg)
uso general	4.05
inyección coloreado	4.27
reforzado con 20% de F.V.	4.31
retardante a la flama	4.38
resina poliéster- policarbonato	5.72

4.2.4.2 proyecciones

En base al crecimiento observado en Estados Unidos en el período de 1980-1985 (5 por ciento promedio anual), el precio estimado para la resina de uso general, cuando menos en este país, en 1990 sería de 4.25 dólares/kg.



gráfica 4.4
desarrollo histórico del precio
internacional de policarbonato
(grado estándar)

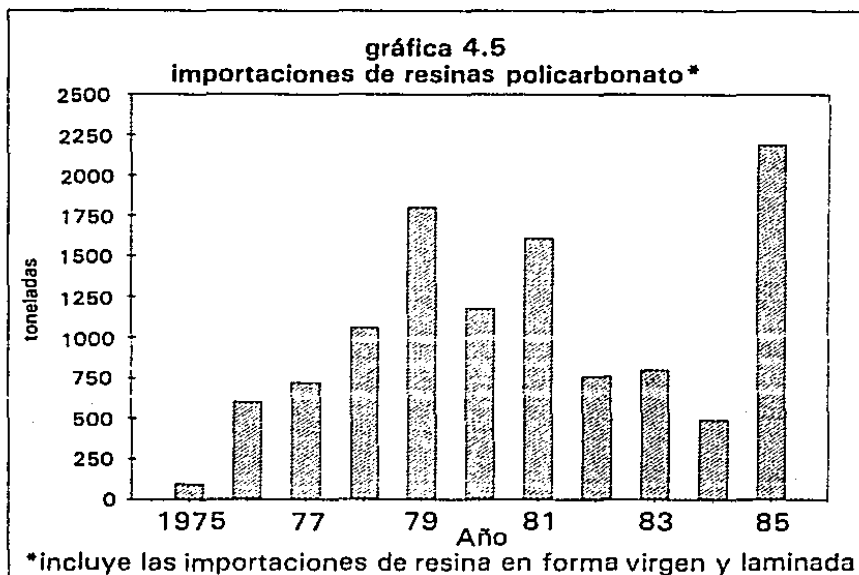


4.3.1. producción y/o consumo de resinas policarbonato en México

El consumo interno de las resinas policarbonato se ha cubierto en su totalidad con importaciones, ya que no existe ninguna empresa en México que las produzca, ni se

ha presentado solicitud alguna para obtener el Permiso Petroquímico correspondiente; por lo que, por el momento, tampoco existe ningún proyecto para producirlo en el país.

Esto se debe, en parte, al hecho de que el consumo de dicha resina ha sido irregular y bajo. Tal como puede observarse en la gráfica 4.5, el nivel más alto en las importaciones fue el de 1985, año en el que estas alcanzaron las 2,300 toneladas, lo que aún representa un consumo bastante bajo.



4.3.2. usos de policarbonato en México.

La distribución porcentual de la demanda de policarbonato en México es la siguiente:

mercado	porcentaje
eléctrico-electrónico	20
iluminación	10
óptica	2
artículos domésticos	15
industria automotriz	10
seguridad	8
manejo de líquidos	25
otros	10
total	100

Entre las aplicaciones más comunes se encuentran la fabricación de bobinas y medidores de corriente eléctrica, piezas para calculadoras electrónicas, carcasas, discos y viseras de semáforos, gafas para el sol, carcasas de rasuradoras eléctricas, encendedores, brazos de limpiaparabrisas, tapones de ruedas, biberones, y fabricación de cantimploras entre otras.

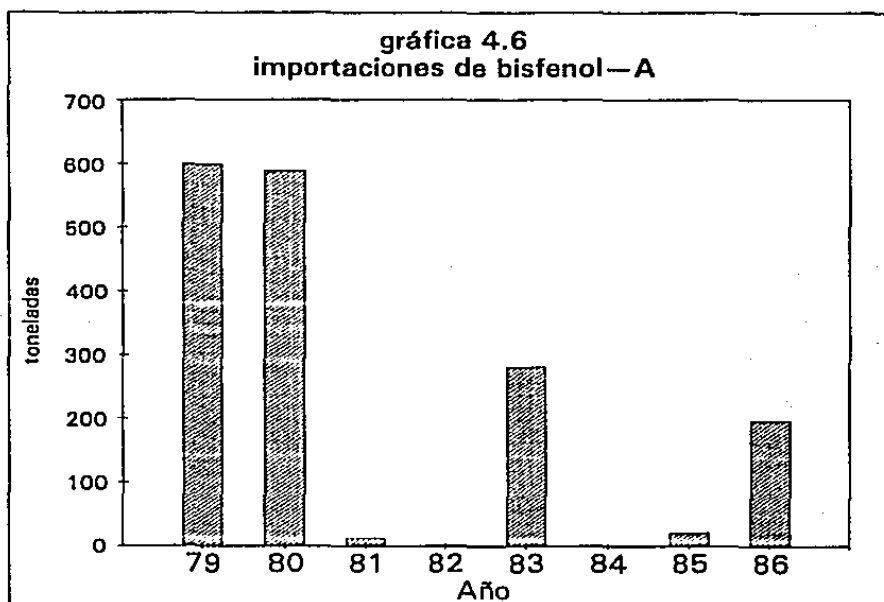
4.3.3. materias primas

La situación del mercado de las materias primas necesarias para producir resinas policarbonato en el país es la siguiente:

bisfenol A

En México sólo una empresa tiene Permiso Petroquímico para producir hasta 5,500 toneladas anuales de bisfenol A en una planta ubicada en Cuernavaca Morelos. En 1985 la empresa reportó una producción de 2,492, exportando sólo 24. Hasta la fecha el único uso que tiene en México el bisfenol A es la producción de resinas epóxicas, y aunque se requieren importaciones complementarias para cubrir la demanda interna de bisfenol A, estas son bajas (en 1985 se importaron 21 toneladas).

Por otro lado aunque al parecer existen otras empresas interesadas en producir bisfenol A en México, por el momento no hay ningún proyecto ni se ha presentado ninguna nueva solicitud de Permiso Petroquímico para producirlo.



fosgeno

Este es un producto muy venenoso (incluso se usó en la primera guerra mundial) que generalmente tiene un mercado cautivo (se produce en la misma planta en que se consume). Se utiliza para producir algunos pesticidas y especialidades como son el diisocianato de tolueno e isocianatos de poliuretanos, entre otros. En México una

sola empresa produce fosgeno y lo destina íntegramente para producir diisocianato de tolueno.

No existen proyectos para ampliar la capacidad de este producto actualmente, ni proyectos para producir el fosgeno en forma independiente (puede manejarse en soluciones al 30 por ciento en tolueno o xileno).

4.4.1. rutas tecnológicas existentes para producir resinas policarbonato

Existen dos rutas tecnológicas para producir las resinas policarbonato:

- Ruta de fosgenación directa
- Ruta de transesterificación

En el primer caso el polímero se obtiene a partir de la reacción entre el bisfenol A y el fosgeno como primera etapa, y una poli-condensación en una etapa posterior. En el caso de la segunda ruta la reacción principal consiste en la transesterificación de un compuesto intermedio.

4.4.2. análisis general de la ruta de fosgenación directa

Existen dos métodos para la fosgenación directa de bisfenol A, la fosgenación en so-

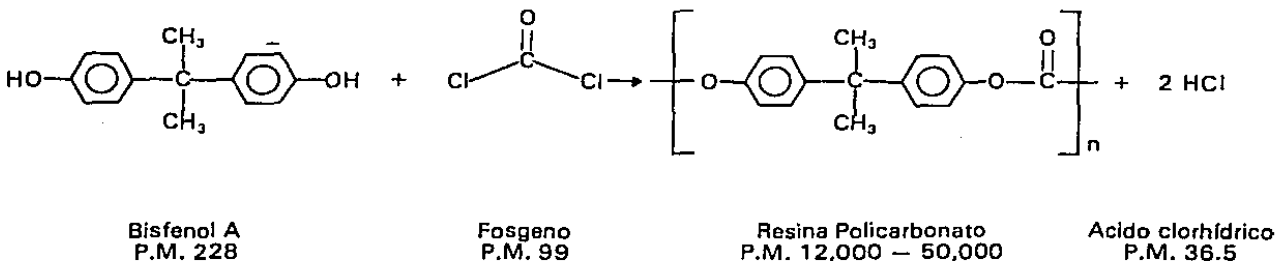
lución y la fosgenación interfacial. Esta última es la que se usa comercialmente, ya que la fosgenación en solución al tener costos asociados más altos, ha caído en desuso.

La reacción básica de esta ruta se muestra en la parte inferior.

En la polimerización se ha utilizado en forma casi exclusiva el bisfenol A como monómero debido a su disponibilidad y a las propiedades finales del polímero resultante. Otros comonómeros se han utilizado para lograr características especiales; por ejemplo, el bisfenol A bromado se ha utilizado para producir grados retardantes de flama; el ácido tereftálico ha sido usado recientemente como un monómero que mejora su resistencia al desgaste y a la temperatura.

La ruta de fosgenación directa interfacial se utiliza por las compañías Mobay, General Electric y Dow en Estados Unidos; por Bayer, General Electric y Termi en Europa y por Mitsubishi Chemical Industries, Mitsubishi y Teijin Chemicals en Japón.

Dentro del proceso interfacial se pueden distinguir dos tipos de proceso. En el primer tipo el bisfenol A (BPA) reacciona



completamente con el fosgeno en una primera etapa, para formar un oligómero de carbonato o prepolímero, seguido de una etapa de policondensación. El segundo proceso se realiza en dos pasos; en el primero el 70-80 por ciento del BPA reacciona con el fosgeno formándose un prepolímero, el cual se separa de la solución acuosa y se carga a un reactor de policondensación.

Los solventes más utilizados son el cloruro de metileno, clorobenceno, o una mezcla de ambos. Para disolver el BPA se utiliza una solución acuosa cáustica. La reacción se efectúa en un exceso de sosa para mantener el pH = 11 - 13. En el control del peso molecular del oligómero que se forma en la primera etapa se utiliza frecuentemente el paraterbutilfenol o el fenol.

El catalizador más usado es la trimetilamina en concentraciones menores al 0.5 por ciento en peso (con respecto al BPA). Otros compuestos utilizados son:

- Aminas secundarias (estereoquímicamente impedidas), como la butilciclohexilamina, diisopropilamina, etc.
- Compuestos azo cíclicos: N-etil piperidina; 2,2,6,6 tetrametil piperidina; 2,2,5,5, tetrametil pirrolidina, etc.
- Compuestos amidas y amino amida: N-N-dimetil-N-ciclohexil benzamidina, 1-metil-2-fenil imino pirrolidina, etc.
- Compuestos de isourea como el N-n-dimetil-N-ciclohexil-O-T-butil-isourea, etc.
- Compuestos de imino éter o imino carboxilato: como el 1-azo-2 metoxi-1-ciclopentano.

El proceso interfacial se puede realizar tanto en forma intermitente, como en forma continua. El proceso continuo produce policarbonato con una mejor distribución de peso molecular. Los tiempos requeridos para cada una de las etapas, así como los pesos moleculares obtenidos y la relación entre las fases de la policondensación, se muestran a continuación.

tabla 4.4. características de las reacciones en el proceso de fosgenación directa

fosgenación	proceso intermitente	proceso continuo
tiempo de reacción (min.)	90 (o más)	16 (o menos)
peso del prepolímero	3000 (o mayor)	400 - 1000
policondensación		
tiempo de reacción (min.)	90	40
relación fase orgánica: acuosa	1.033	1:2

La solución del polímero después de la poli-condensación se lava con ácido diluido para neutralizar el material cáustico residual y el catalizador, y con agua para remover algunos electrolitos remanentes.

Algunas ocasiones se sugiere un lavado adicional con agua para eliminar el BPA que quedó sin reaccionar. En la práctica después de cada lavado se forma una mezcla en emulsión de la que es difícil separar las fases acuosa y orgánica; el agregar surfactantes o una solución saturada de cloruro de sodio facilita la separación. Una forma alternativa que también ha reportado resultados satisfactorios, es usar un lecho empacado con capas de vidrio, polipropileno, nylon y teflón.

Por lo que a la recuperación del polímero se refiere, se han usado tanto la precipitación como la evaporación, en forma comercial. En el método de precipitación la solución purificada del polímero se mezcla con un antisolvente o un no solvente como el n-heptano, n-hexano o metanol, en un rango que va de 1:3 a 1:6 (de solución a antisolvente), los solventes separados se recuperan por destilación.

En la recuperación por evaporación la solución de polímero se concentra inicialmente de 7-10 por ciento hasta 15-30 por ciento, de donde se pasa a un aparato que tiene una zona de evaporación y una zona de pulverización.

A continuación se presenta un proceso específico para obtener resina policarbonato mediante el proceso interfacial intermitente que utiliza la precipitación como método de separación, y que incluye el equipo necesario para producir diferentes grados (con fibra de vidrio y otros aditivos).

4.4.2.1. descripción del proceso para producir policarbonato vía fosgenación directa en forma intermitente

El proceso está formado por las siguientes secciones:

- Almacenamiento y mezclado de materias primas
- Polimerización y purificado
- Recuperación de polímero y solvente
- Manejo de sólidos y formulado

de lecho fluidizado con vapor sobrecalentado. Después de esto el polímero sólido se transfiere a la zona de manejo de sólidos y procesamiento, en la que se extruye y se le agregan fibra de vidrio, retardantes de flama y algunos otros aditivos.

En la separación y recuperación del solvente y no solvente, el cloruro de metileno se separa en una columna azeotrópica de cloruro de metileno-agua, mientras que el n-heptano se recupera en una etapa posterior.

En el proceso presentado, la fosgenación y la policondensación se realizan en reactores separados para reducir los requerimientos de agua helada en el control de temperatura, particularmente en la primera reacción. La distribución del peso molecular del policarbonato se establece en la fosgenación y el peso molecular se determina en la reacción de policondensación. El uso de reactores separados permite mayor control de calidad del polímero y permite una mayor flexibilidad en la operación.

consumos unitarios de materias primas y servicios auxiliares

Los consumos unitarios tanto de materias primas como de servicios auxiliares para el proceso interfacial intermitente (descrito anteriormente) se muestran en la siguiente tabla. Así mismo, a manera de comparación, se muestran los datos correspondientes para el proceso continuo.

tabla 4.5. consumos unitarios en el proceso de fosgenación directa

materia prima	consumo por tonelada (proceso intermitente)	consumo por tonelada (proceso continuo)
bisfenol A	0.904 tons.	0.9018 tons.
ácido clorhídrico	0.0213 tons.	0.0226 tons.
heptano	0.0177 tons.	-----
cloruro de metileno	0.0116 tons.	0.00748 tons.
fosgeno	0.4757 tons.	0.4651 tons.
sosa caustica	0.4771 tons.	0.5073 tons.
trietanol amina	0.0115 tons.	0.00296 tons.
servicios auxiliares		
agua de enfriamiento	597 m ³	137 m ³
vapor	14 tons.	2.7 tons.
agua de proceso	19 m ³	6.3 m ³
electricidad	2.070 Kwh	1.814 Kwh
gas inerte	7.2 nm ³	7.2 nm ³

costos de inversion y producción

En la tabla 4.6. y 4.7. se presentan los costos totales de inversión como capital fijo reportado para tres capacidades diferentes, con el proceso descrito anteriormente a precios de 1986 (proceso intermitente y continuo). A fin de observar el efecto de la economía de escala sobre el costo de inversión en las gráficas 4.7 y 4.8 se muestran la forma en que varía la inversión (en límites de batería), al modificar la capacidad de la planta.

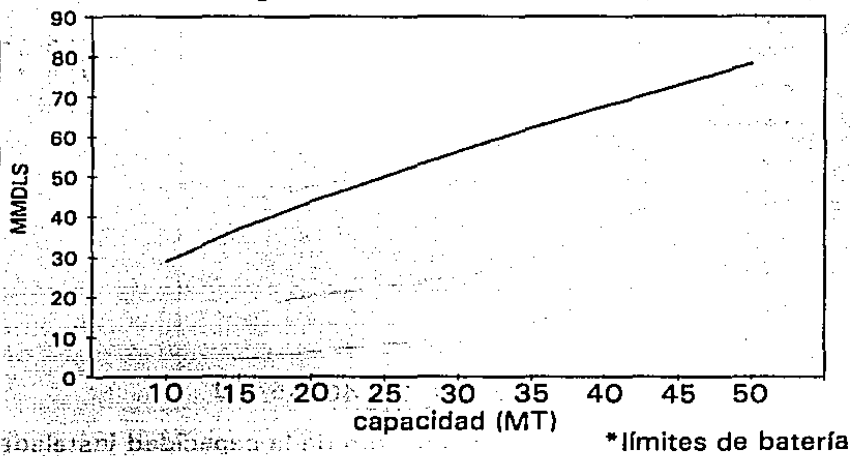
tabla 4.6. costos de inversión para una planta de PC vía fosgenación directa intermitente

costo de inversión (millones de dólares)	capacidad en miles de toneladas		
	10	20	40
límites de batería	29.0	43.0	68.0
servicios auxiliares	15.0	24.0	40.0
capital fijo total	44.0	67.0	108.0

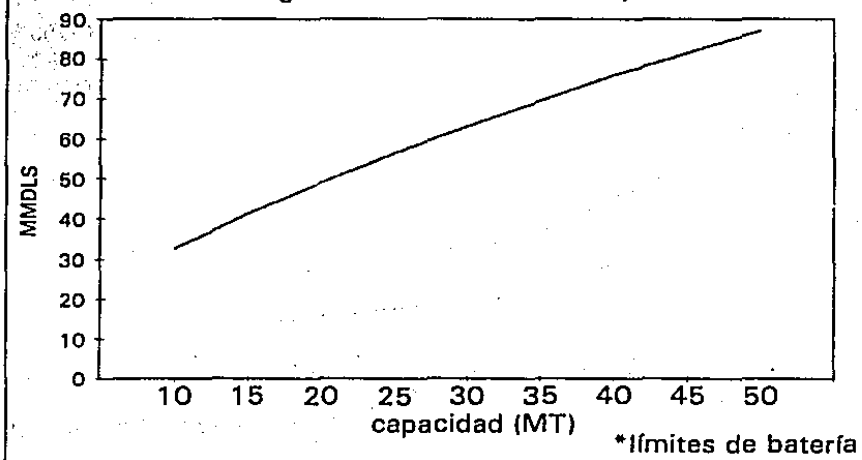
tabla 4.7 costos de inversión para una planta de PC vía fosgenación directa continua

costo de inversión (millones de dólares)	capacidad en miles de toneladas		
	10	20	40
límites de batería	32.0	49.0	75.0
servicios auxiliares	14.1	18.0	31.0
capital fijo total	46.1	67.0	106.0

gráfica 4.7
costo de inversión (en LB)*
para una planta de policarbonato
(fosgenación directa intermitente)

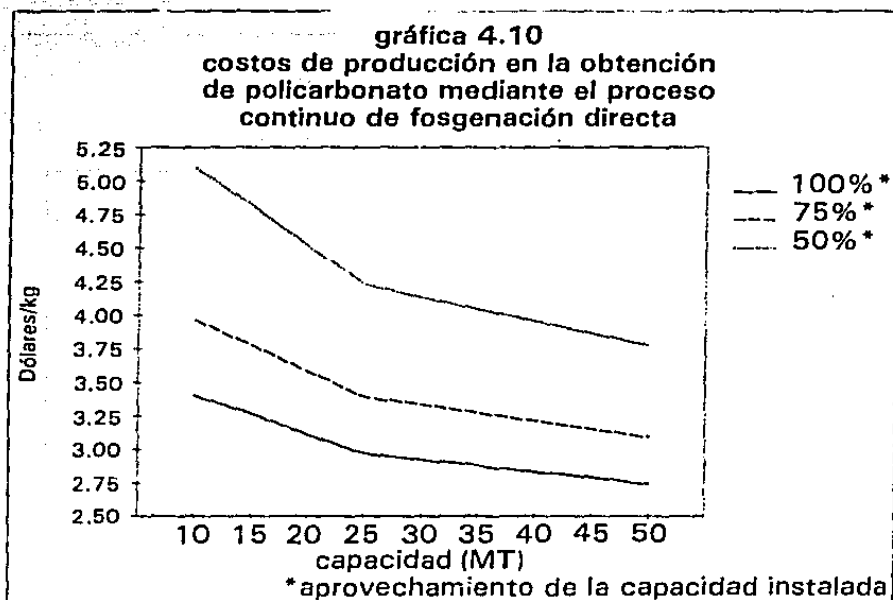
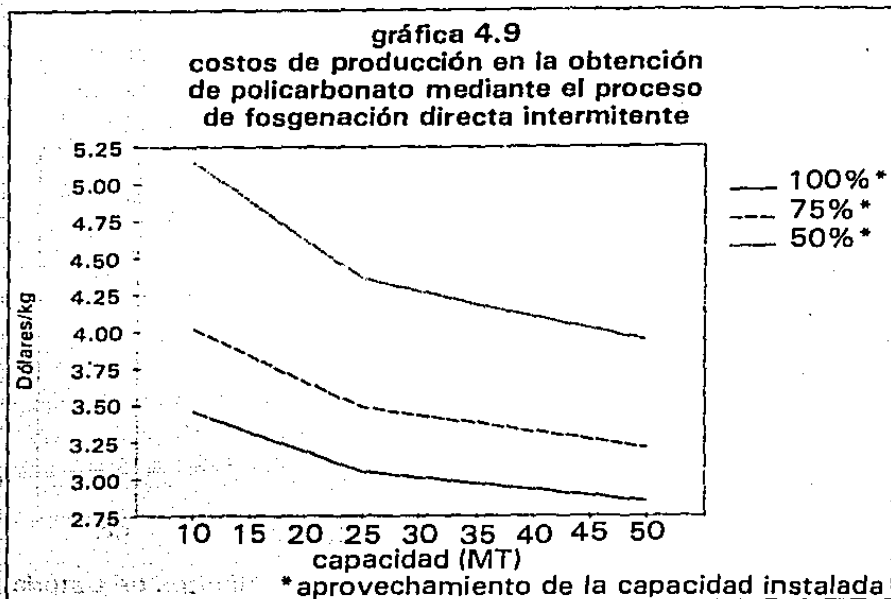


gráfica 4.8
costo de inversión (en LB)*
para una planta de policarbonato
(fosgenación directa continua)



Por otro lado, los costos de producción para las mismas capacidades de la planta, se muestran en las gráficas 4.9 y 4.10, como

una función del nivel de operación, para ambos casos (intermitente y continuo).



4.4.3. análisis general de la ruta de transesterificación

Esta ruta o forma de procesamiento también se conoce como proceso en fundido.

Convencionalmente el polímero se produce transesterificando difenil carbonato con bisfenol A en presencia de un catalizador como la sal de sodio del propio bisfenol A. En una primera etapa se forma el monofenil carbonato de bisfenol A el cual reacciona para producir oligómeros con grupos termi-

nales fenoxi e hidroxilo, los oligómeros se policondensan para dar el policarbonato.

Durante la polimerización, la temperatura se mantiene arriba del punto de fusión de la mezcla (de ahí que se denomine al proceso "en fundido"), iniciando a 150°C, dicha temperatura se incrementa poco a poco hasta 300°C, inversamente, la presión se disminuye también paulatinamente de 760 mm Hg a menos de 1 mm Hg en la etapa final de la polimerización.

Un proceso alternativo consiste en preparar primero oligómero con un peso molecular promedio menor a 3,000 mediante bisfenol A y fosgeno por medio del proceso interfacial (fosgenación directa), para posteriormente transesterificarlo con bisfenol adicional, y de esta forma obtener el policarbonato deseado.

Otro proceso consiste en preparar un prepolímero de bisfenol A y fosgeno, también mediante un proceso interfacial, con un peso mayor de 10,000 que posteriormente se policondensa en un proceso en fundido. Estrictamente hablando, este es un caso especial del proceso en fundido ya que no incluye transesterificación.

El proceso fundido generalmente requiere menos inversión que el proceso interfacial debido a que no se usa solvente en la transesterificación.

La reacción de transesterificación (incluyendo las variantes) se caracteriza por requerir altas temperaturas de reacción y altos vacíos, (temperaturas de 50° a 300°C y presiones de 760 mm Hg a 1 mm Hg), los catalizadores usados son metilato de sodio, acetato de calcio, bisfenolato de sodio, sales alcalinas de ácido benzóico o ácido iminocarboxílico.

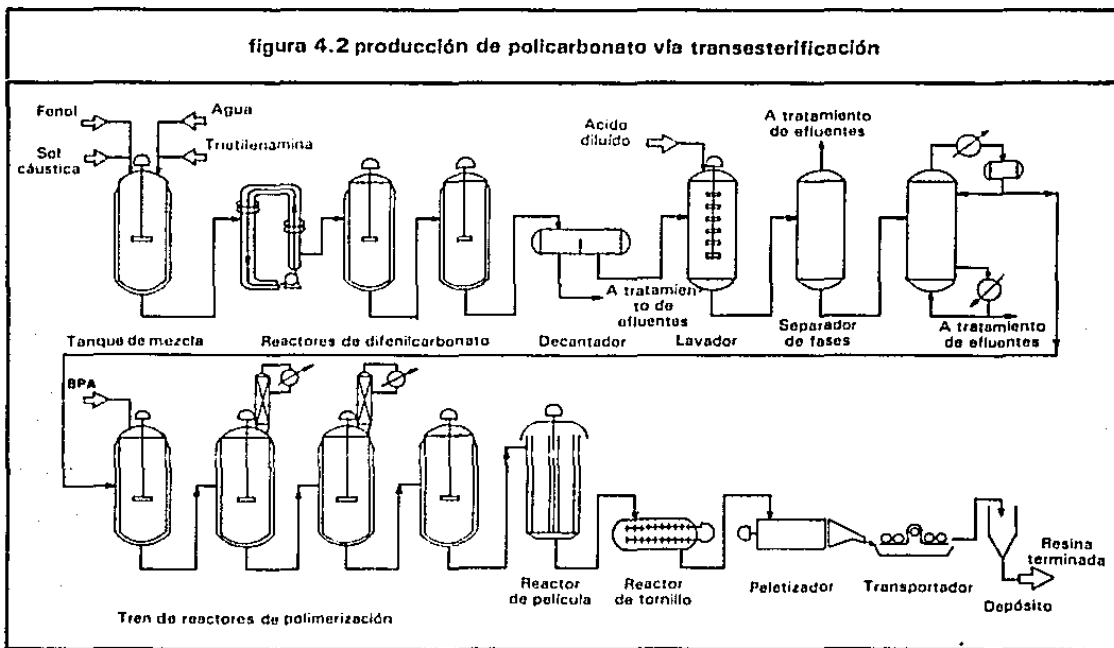
4.4.3.1. descripción del proceso para producir policarbonato vía transesterificación

A continuación se describe un proceso que utiliza la ruta de transesterificación para producir el policarbonato utilizando el método convencional a través del difenil carbonato, y cuyo esquema simplificado se muestra en la figura 4.2.

Las principales áreas o secciones en las que pueden dividirse el proceso son:

- Almacenamiento y mezcla de materias primas

figura 4.2 producción de policarbonato vía transesterificación



- Preparación de difenil carbonato
- Transesterificación y policondensación
- Manejo de sólidos y procesado

En la primera etapa se produce una solución mezclando la trietanolamina, las soluciones cáusticas y de fenol, con agua de proceso (desmineralizada y desaerada), en un recipiente agitado, la mezcla resultante se bombea en forma continua a un reactor tubular, seguido de uno o varios reactores de tanque agitado. El pH se mantiene en 8.5 en el primer reactor y se aumenta a 9.5 en el (los) posterior (es). El efluente del último reactor pasa a un decantador donde el difenil carbonato crudo se separa de la fase acuosa, la cual contiene cerca de 14 por ciento de cloruro de sodio y una pequeña cantidad de carbonato de sodio se envía a tratamiento de efluentes, mientras que el difenil carbonato es lavado con HCl diluido para neutralizar y remover la amina terciaria, y posteriormente se destila para separar los pesados residuales.

La transesterificación y la policondensación son continuas, para facilitar estos procesos se utilizan dos tanques mezcladores antes de la reacción entre el difenil carbonato y el bisfenol A; la polimerización tiene lugar en un tren de reactores, los primeros son autoclaves y tienen como función preparar el prepolímero, principalmente mediante esterificación, cada uno tiene un tiempo de residencia de una hora.

Los primeros reactores están equipados con una columna empacada y reflujo, en estos reactores se utilizan agitadores de turbina, en los siguientes se emplean agitadores especiales debido al aumento en la viscosidad. En los últimos dos reactores se efectúa la policondensación del polímero para producir el policarbonato del peso molecular deseado, el penúltimo reactor es del tipo película, mientras que el último es del tipo "doble tornillo". El medio de calentamiento es vapor para los primeros reactores y Dowtherm en los últimos, asimismo el vacío se suministra con bombas y con eyectores en los primeros y los últimos reactores respectivamente.

El polímero del último reactor pasa a los pelletizadores de donde se transporta al área de manejo de sólidos y empaque.

consumos unitarios de materias primas y servicios auxiliares

Los consumos unitarios para el proceso de transesterificación, tanto de materias primas como de servicios auxiliares se muestran en la siguiente tabla:

tabla 4.8 consumo de materias primas para el proceso de PC vía transesterificación

materia prima ⁽¹⁾	consumo por tonelada
bisfenol A	0.9133 tons.
ácido clorhídrico	0.0358 tons.
fenol	0.0308 tons.
fosgeno	0.4696 tons.
sosa cáustica	0.4372 tons.
servicios auxiliares	
agua de enfriamiento	99 m ³
vapor	23 tons.
agua de proceso	3.8 m ³
electricidad	1.118 Kwh
gas inerte	7.2 nm ³
gas natural	332 K-Cal

⁽¹⁾ No se incluyen consumos de catalizador y aditivos

costos de inversión y producción

El costo de inversión a precios de 1986 para una planta de policarbonato que utiliza el proceso de transesterificación se muestra en la siguiente tabla para tres tamaños de planta o capacidades diferentes.

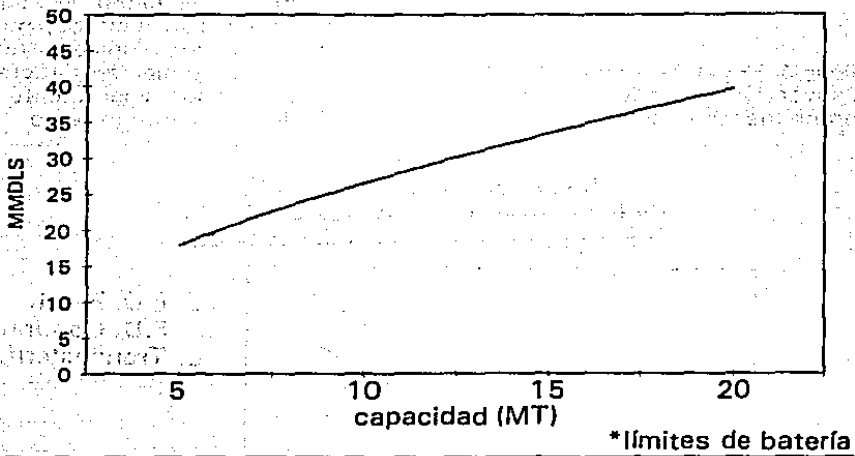
tabla 4.9 costos de inversión para una planta de PC vía transesterificación

	(millones de dólares)		
	capacidad (miles de toneladas)		
	7.5	15	30
límites de batería	22.0	34.0	50.0
servicios auxiliares	9.0	11.0	17.0
capital fijo total	31.0	45.0	67.0

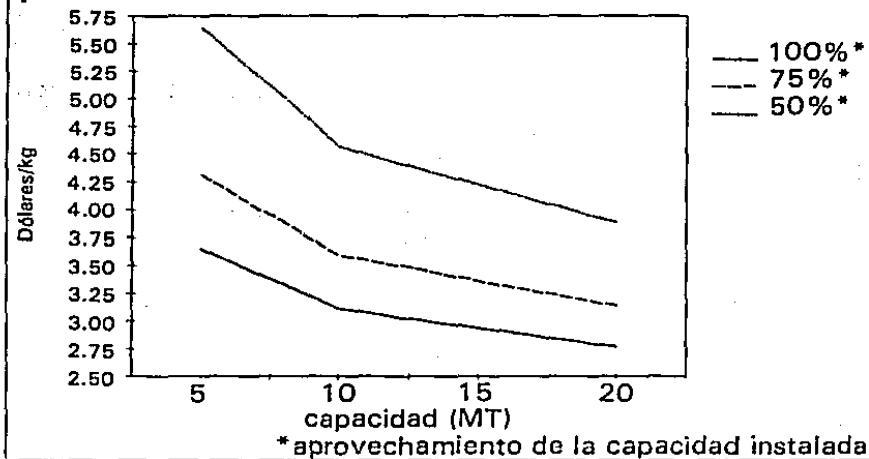
A fin de observar el efecto de economía de escala en la inversión fija, en la gráfica 4.11 se muestra la forma en que varía ésta al modificar el tamaño de la planta.

Por otro lado, en la gráfica 4.12 se muestra el costo de producción a diferentes capacidades, en función del nivel de aprovechamiento de la capacidad instalada.

gráfica 4.11
costo de inversión (en LB)*
para una planta de policarbonato
(vía transesterificación)



gráfica 4.12
costos de producción en la obtención
de policarbonato mediante el proceso
de transesterificación



4.4.4. comparación entre los procesos

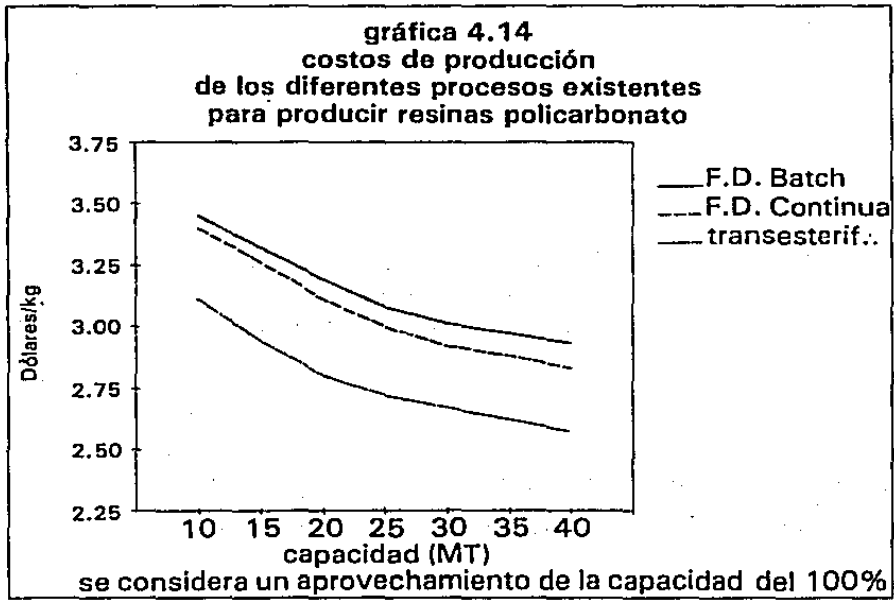
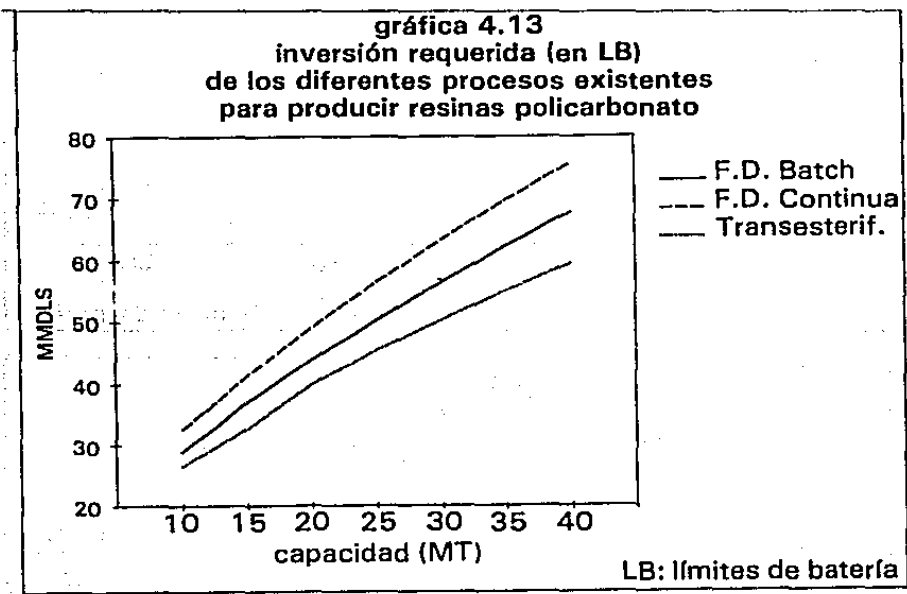
El policarbonato obtenido mediante el proceso de transesterificación presenta un rango de peso molecular limitado debido a

la dificultad de manejar en forma sencilla la masa viscosa de la reacción de polimerización; además de que su pureza se ve afectada por la presencia de cierta cantidad de catalizador (lo que repercute en una menor claridad óptica).

En los procesos de fosgenación directa, al parecer el proceso intermitente produce un polímero con un mayor rango de peso molecular (menos uniforme) que el obtenido mediante el proceso continuo.

Como puede observarse, el proceso más atractivo desde el punto de vista económico es el de transesterificación. No obstante, los problemas asociados a las características del producto obtenido, han hecho que su implementación a escala comercial haya sido limitada, por lo que la mejor opción tecnológica la representa el proceso de fosgenación directa, siendo el proceso continuo ligeramente más recomendable que el intermitente.

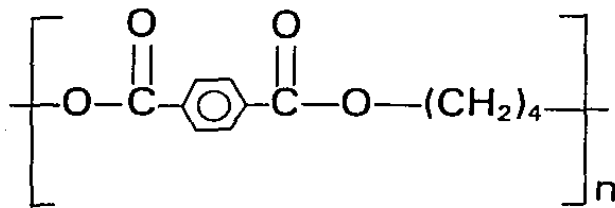
En las gráficas 4.13 y 4.14 se muestran los costos de inversión y producción de los procesos antes mencionados.



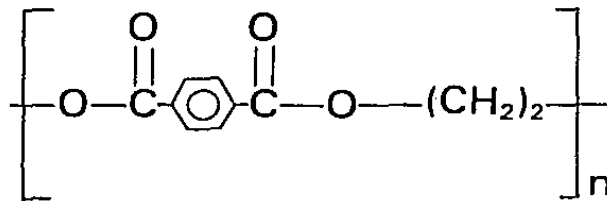
capítulo 5

poliésteres

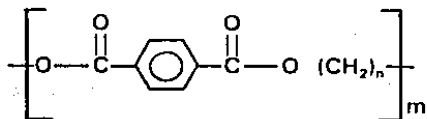
PBT



PET



Los poliésteres de ingeniería son dos resinas del grupo genérico conocido como resinas poliéster de tereftalato derivadas del dimetil tereftalato (DMT) o el ácido tereftálico (TPA) y que tienen la siguiente estructura general:



Cuando $n = 2$ El poliéster se denomina polietilentereftalato (PET)

$n = 4$ El poliéster se conoce como polibutilentereftalato (PBT)

El PET se produce, además, en los siguientes grados:

- Resina grado envase (uso más común)
- Película de poliéster

En forma preliminar los diferentes grados se diferencian por su viscosidad intrínseca y por su peso molecular.

La mayor parte de los termoplásticos de ingeniería, incluyendo estas resinas, se convierten en productos finales mediante moldeo por inyección, de esta forma sus propiedades de flujo (fundidas) son importantes para su uso comparativamente económico. No obstante, las aplicaciones de extrusión, para producir película, hoja y filamento van en aumento.

Como plásticos, las resinas PET y PBT poseen mayor dureza que las poliolefinas, manteniendo cierto grado de ductibilidad.

Las resinas PBT exhiben buena resistencia a la tensión, tenacidad, baja absorción de agua, buena resistencia química y buenas propiedades eléctricas y de fricción; sin embargo, para las aplicaciones que requieren resistencia a temperaturas elevadas, se necesita un reforzamiento con fibra. Cerca de 80-85 por ciento del PBT vendido contiene entre 7 y 30 por ciento de reforzamiento con fibra de vidrio y/o mineral lo que ocasiona una mejora en sus propiedades mecánicas. En la tabla 5.1 se muestran los componentes agregados a la resina de PBT y el efecto en el producto final.

tabla 5.1 componentes agregados a la resina de PBT y el efecto en el producto final

componente	objetivo
fibra de vidrio	mejorar resistencia
poliuretano, poliamida, poliacrilato, policarbonato, resinas fenólicas, caprolactama, otros copolímeros.	mejorar resistencia al impacto, tenacidad y estabilidad térmica.
poliolefinas	mejorar la resistencia al paso de la corriente eléctrica.
politetrafluoroetileno (o politetrafluoro etileno) y grafito.	mejorar la resistencia al uso y la lubricidad.
metasilicato de calcio y borato de zinc.	mejorar resistencia de arco eléctrico
amidas ácidos grasos, triglicéridos, polinsaturados epoxidados, y polibutadieno epoxidado.	para estabilizar contra deterioro por calor y oxidación.
compuestos aromáticos halogenados como bromodifenil éter, difenil hexabromo, toluen pentabromo, etc.	impartir propiedades de retardancia a la flama y autoextinción.
fósforo rojo y otros compuestos de fósforo como el trifenil fosfato, ácido amino fosfórico, etc.	impartir propiedades de retardancia a la flama y autoextinción.
aductos de diels-alder del hexa-cloro pentadieno con ciclohexadieno, furano y tetrabromo esteno.	impartir propiedades de retardancia a la flama y autoextinción.
tróxico de antimonio.	este compuesto tiene un efecto sinérgico al aplicarse con retardantes de flama.

El reforzamiento logra además, una disminución en el precio de resina por pulgada

cúbica, lo que permite hacerla competitiva con otras resinas de ingeniería como son las acetales, nylon y policarbonatos.

Por lo que al PET se refiere, sus tiempos de cristalización resultaban aún grandes para que su procesamiento a través de moldeo por inyección fuera económico a nivel comercial. Du Pont desarrolló una tecnología para lograr una cristalización más rápida, lo que permitió a esta compañía introducirlo en Estados Unidos en 1978 bajo el nombre comercial de Rynite. En general se le agregan al PET tres tipos de sustancias: un agente nucleador para promover una cristalización uniforme y rápida, materiales orgánicos que modifican la estructura química del polímero o materiales (como la fibra de vidrio) que refuerzan la estructura de los objetos moldeados. Los agentes nucleadores usados son en su mayoría sólidos inorgánicos finamente divididos tales como óxidos de metal (por ejemplo óxido de magnesio), metales (cobre o antimonio), sales metálicas (carbonato de calcio o silicato de aluminio), y otros materiales (grafito, polvo de vidrio, etc.). Entre los compuestos orgánicos que modifican la estructura del PET se encuentran diglicoléteres de alto o bajo peso molecular, polialquilenglicoles o dióxidos cíclicos. Todo el PET grado ingeniería se refuerza en forma similar a las resinas de PBT, salvo que el refuerzo con fibra de vidrio en el PET llega a ser de hasta 55 por ciento. Los mercados para las dos resinas son los mismos; sin embargo se espera que se desarrollen nuevos mercados para el PET, particularmente en aplicaciones en las que se requiere de alta rigidez y resistencia al calor, además de que su deformación es más reducida comparada con la del PBT convencional.

Todas las resinas PET grado ingeniería son formuladas por sus productores a partir del PET virgen o bien del PET grado envase.

Por otro lado, tanto Celanese como General Electric y GAF (en Estados Unidos), ofrecen mezclas con refuerzo y sin refuerzo de PBT/PET como parte de sus líneas de productos de estas resinas; las cuales presentan una apariencia excelente, lo que ha permitido utilizarlas en varias aplicaciones en aparatos domésticos y vajillas.

Las mezclas PBT/PET tienen un menor costo, un mejor brillo y una temperatura de distorsionamiento más alta con respecto a la

resina de PBT, lo cual es debido a la presencia de PET; la mezcla PBT/PET también presenta una mejor moldeabilidad con respecto a la resina simple, debido a la presencia de PBT, en este caso se presenta una complementariedad de las propiedades de ambas resinas.

Los productos emergentes, para los que se espera una amplia penetración en el mercado, son las aleaciones de PBT y PET con policarbonatos y/o elastómeros.

5.1.1. propiedades de los poliésteres de ingeniería

En la tabla 5.2. se muestran las principales propiedades físicas, mecánicas, eléctricas y térmicas del PBT y PET grado ingeniería con y sin refuerzo de fibra de vidrio.

5.1.2. usos de las resinas de PBT y PET grado ingeniería

A continuación se describen con cierto detalle cada uno de los principales usos por mercados de las resinas de tereftalato de ingeniería para Estados Unidos a mediados de 1984.

automotriz

El PBT alguna vez se usó en partes exteriores grandes, pero su aceptación fue limitada debido a que presentaba deformación. Ahora se puede disponer de un grado de PBT reforzado con mineral que presenta una deformación lenta.

Los usos más corrientes del PBT son el remplazo de partes moldeadas de metal y termopartes para aplicaciones debajo de la cubierta del motor, como son tapas del distribuidor, rotores, deflectores del ventilador, extensiones deflectoras, bobinas de ignición, partes de transmisión eléctricas, y válvulas de vacío. Todas estas aplicaciones se deben a sus propiedades de rigidez, dureza, tenacidad (en amplios rangos de temperatura), aunado a su resistencia a solventes, humedad y gasolina.

Se usa en pequeñas cantidades en aplicaciones eléctricas en autos; en conectores moldeados para cables, cajas de fusibles y terminales, puentes del rectificador y parabrisas. Las aplicaciones mecánicas incluyen tapas del tren de engranes, interruptores del limpia-parabrisas, partes del sistema de freno y cerrajería de puertas y ventanas. Los empleos en exteriores incluyen extensiones de salpicaderas y paneles, su uso en defensas se ha incrementado a últimas fechas.

Du Pont anunció en el primer trimestre de 1984 un nuevo producto a base de resina PET al que llamó RYNITE SST ("duro super

tenaz"). Este es quizá, el termoplástico de ingeniería más rígido actualmente, por lo que se cree que el reemplazo de partes metálicas automotrices que requieren dureza siga aumentando.

enseres domésticos

En esta área las aplicaciones de las resinas de tereftalato han reemplazado a las resinas termofijas (como fenólicas). Las aplicaciones típicas incluyen asas, bases y armaduras de aparatos de mediano y pequeño tamaño tales como tostadores, hornos de convección, freidores, tenazas eléctricas, sartenes eléctricas y planchas. Otras apli-

tabla 5.2. propiedades de los poliésteres de tereftalato

propiedades	polibutilentereftalato				polietilentereftalato			método de prueba
	0	15	30	40	0	30	45	
generales								
densidad específica	1.31	1.41	1.53	1.60	1.37	1.56	1.69	D 792
% de absorción de agua a 23°C								
después de 24 hrs.	0.80	0.07	0.06	0.06	0.08	0.05	0.04	D 570
al equilibrio	0.34	0.30	0.26	0.26	0.60	0.45	0.45	
% de merma al moldearse	2.0	8.8	0.6	0.5	2.0	0.2		
dureza rockwell	R 117/M 68	R 118	R 118/M 90	R 117	M 106	M 100	M 100	D 785
abrasión taber	8	12	19	26	3	6	7	
mg/100 ciclos								
coeficiente de fricción				---	---	0.28	0.17	
contra sí mismo	0.17	0.22	0.16	---	---	0.17	0.20	
contra metales	0.13	0.24	0.19	---	---			
resistencia y durara a 23°C								
resistencia a tensión, kg/cm ²	0.53	9.2	1.19	1.33	0.54	1.01	1.96	D 638
% elongación a tensión	300	5	4	3	300	3	2	
módulo de flexión, kg/cm ²	0.84	1.4	1.98	2.11	1.18	2.38	2.96	D 780
resistencia a compresión, kg/cm ²	0.92	1.05	1.26	1.26	1.3	1.75	1.82	D 695
resistencia al corte, kg/cm ²	0.54	0.58	0.82	0.56	0.50	0.60	0.87	D 732
módulo de flexión, kg/cm ²	23.8	47.12	77.3	91.5	26.68	91.4	140.6	D 790
tenacidad								
impacto Izod J/m								
ranurado a 23°C	53	59	88	117	43	101	128	D 258
a -40°C	37	53	85	107	32	96	123	
sin ranurar a 23°C	sin ruptura	530	800	960	sin ruptura	370	370	
a -40°C	sin ruptura	480	747	850	sin ruptura	370	370	
térmicas/flexibilidad								
temperatura de deflexión, °C								
a 4.7 kg/cm ²	155	210	216	216	215	250	250	D 648
a 18 kg/cm ²	55	191	210	210	85	225	225	
coeficiente de expansión lineal								
térmica X 10 ⁻⁵ /°C	12.8	4.5	2.5	2.6	7.2	2.9	2.3	D 890
conductividad térmica, W/(K)	0.16	---	0.21	---	---	0.29	0.31	C 177
índice de temperatura UL, °C								
eléctrico y mecánico con impacto	120	130	140	---	---	140	140	UL 06M2
mecánico sin impacto	140	140	140	---	---	140	140	
índice de oxígeno %	20.0	18.5	18.2	18.5	21	20	20	D 2863
resistencia química	excelente	excelente	excelente	excelente	excelente	excelente	excelente	
eléctricas								
resistencia al arco, S	184	129	146	---	---	72	126	D 495
resistencia volumétrica, cm X 10 ⁶	4.0	3.3	3.2	---	3.5	0.1	0.1	D 257
resistencia dieléctrica								
(corte tiempo 1.6 mm KV/mm)	23.2	23.2	24.8	26.4	23.6	29.6	28.8	D 149
constante dieléctrica								
a 100 Hz.	3.3	3.6	3.8	3.6	3.4	3.6	4.0	D 150
a 10 ⁶ Hz.	3.1	3.4	3.7	3.7	3.4	3.5	3.9	
factor de disipación								
a 100 Hz.	0.002	0.002	0.002	0.002	---	0.005	0.005	D 150
a 10 ⁶ Hz.	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.012	0.012	

caciones incluyen secadoras de pelo y cuchillas de procesado de comida.

plomera y cerrajería

En el área de plomería y cerrajería las resinas de tereftalato tienen un volumen pequeño de aplicaciones, la mayoría de la resina usada es PBT aunque se espera que el consumo de PET se incremente cuando se requiera una mayor resistencia en las aplicaciones.

Debido a las características de las resinas las aplicaciones típicas son armaduras de bombas, componentes de albercas, soportes, broches, partes de herramientas, cerraduras de puertas, válvulas de irrigación, cámaras de medidores de agua y rociadores mecánicos. El PBT y el PET pueden usarse en aplicaciones donde se maneja

agua fría; sin embargo no se recomienda su uso con agua a temperaturas mayores a 52°C.

otros

Las aplicaciones adicionales son de bajo volumen, el PBT y el PET son usados cuando se desea resistencia a la corrosión, alto grado de ductibilidad y buena capacidad de colorearse.

Las aplicaciones son: cuerpos de pluma, partes de bicicletas y calculadoras de bolsillo. Los usos industriales incluyen muebles y accesorios, como hebillas, clips, cierres, botones, engranes y transportadores de cartas de circuitos impresos. Se pueden utilizar en cepillos de dientes y broches.

5.2. mercado internacional de los poliésteres de ingeniería

5.2.1. desarrollo histórico

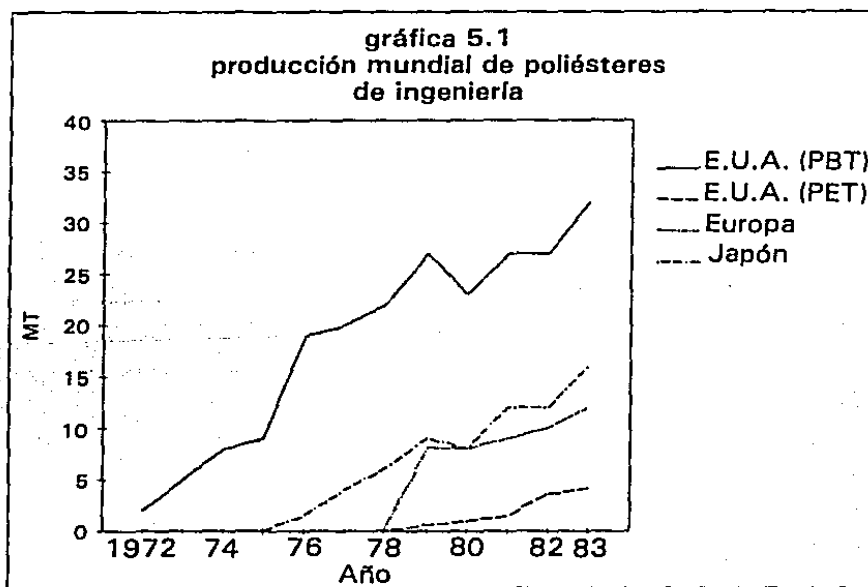
Al igual que con los plásticos de ingeniería analizados en los capítulos anteriores, los mercados más importantes de los poliésteres de ingeniería son el de Estados Unidos, Japón y Europa Occidental, y salvo en el caso de Estados Unidos, los datos de producción se reportan en forma conjunta para ambos poliésteres (PBT y PET).

La producción de PBT se inició en Estados Unidos en 1972, mientras que para el PET grado ingeniería esto ocurrió en 1979. Con respecto al mercado europeo y japonés el primer reporte de producción (sólo de PBT), se realizó en 1979 y 1976 respectivamente, y para el periodo comprendido entre 1973 y 1983 del ritmo de crecimiento glo-

bal anual fue de 27 por ciento en promedio, lo que permitió pasar de 5,000 toneladas en 1973 a cerca de 70 mil toneladas en 1984 en forma conjunta para PBT y PET, (ver gráfica 5.1.).

Tal como se muestra en la gráfica 5.2 el mercado más importante de los poliésteres de ingeniería es el de Estados Unidos con aproximadamente 54 por ciento de la producción total y 50 por ciento del consumo mundial total. Otro dato interesante que se desprende de los datos de mercado en estas regiones, es que la capacidad instalada hasta 1984 sería suficiente para cubrir el doble del consumo mundial total reportado en 1983.

Las compañías productoras de poliésteres grado ingeniería se muestran en la tabla 5.3



gráfica 5.2
mercado mundial de las resinas poliéster
grado ingeniería en 1983

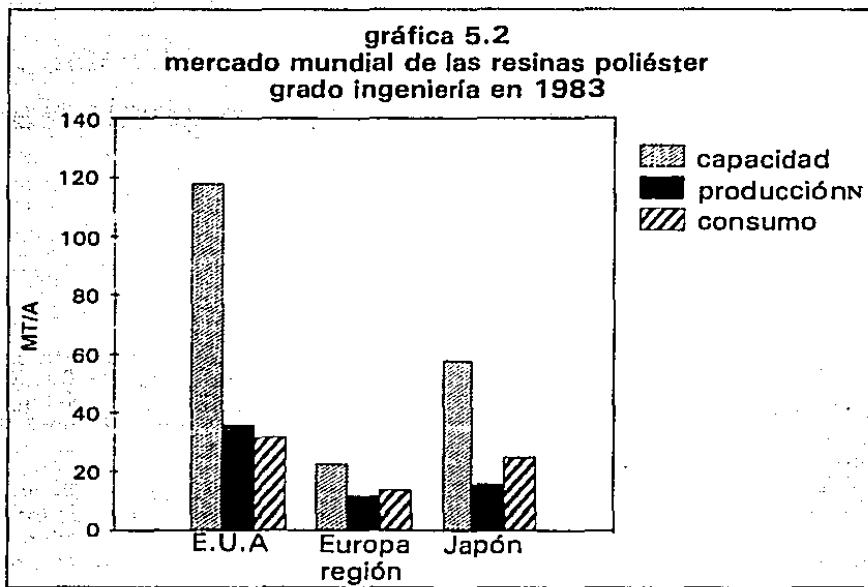


tabla 5.3 productores de resinas PET
(grado ingeniería) y PBT
(junio 1984)

compañía	tipo de resina	capacidad (miles de tons.)	región	nombre comercial
general electric	PBT	59	E.U.A.	valox, VCT
celanese corporation	PBT	32	E.U.A.	celanex
a.i. du pont de nemours	PET	11	E.U.A.	rynite
polyplastics co., ltd.(1)	PBT	10	Japón	.....
taijin limited(2)	PBT	10	Japón	.....
mohay chemical	PET	9	E.U.A.	patlon
engineering plastics hd.(1)	PBT	9	Japón	.....
toray industries, inc.	PBT	8	Japón	.....
gaf corporation	PBT	5	E.U.A.	galite, galuf
du pont Japan ltd.(1)	PET	4	Japón	.....
dai nippon ink & chemicals, inc.	PBT	3	Japón	.....
mitsubishi rayon co, ltd	PBT	3	Japón	.....
allied corporation	PET	2	E.U.A.	.....
mitsui petrochemical inc, ltd.	PBT	1	Japón	.....
toyobo co. ltd.	PBT	N.D.	Japón	.....
unitika ltd.	PET	N.D.	Japón	.....
atochem(3)	PBT	N.D.	Europa occ. (Francia)	orqated
rhon-poulenc chimie de base	PBT, PET	N.D.	Europa occ. (Francia)	techster
BASF	PBT	N.D.	Europa occ. (Alemania)	ultradur
bayer ag.(4)	PBT, PET	N.D.	Europa occ. (Alemania)	pocan
chemische werke huels	PBT	N.D.	Europa occ. (Alemania)	vestodur
ciba-geigy marienberg GmbH	PBT, PET	N.D.	Europa occ. (Alemania)	crestine
monte polimeri	PBT	N.D.	Europa occ. (Italia)	pibiter
akzo plastics BV.	PBT, PET	N.D.	Europa occ. (Holanda)	arnite
B P chemical LTD.	PET	N.D.	Europa occ. (R. unido)	beetle PET

(1) El dato de capacidad corresponde a su capacidad de composición (o mezcla).

(2) Las 10 mil t/a incluyen a ambas resinas.

(3) Al parecer la compañía compra el polímero base.

(4) Al parecer bayer produce la resina base en conjunto con chemische werke.

5.2.2. distribución porcentual de la demanda

La distribución porcentual de la demanda de las resinas tereftálicas en los mercados analizados anteriormente se muestra en la siguiente tabla:

tabla 5.4 distribución porcentual de la demanda mundial de poliésteres de ingeniería en 1983

uso	Estados Unidos (PBT y PET)		Japón		Europa occidental
	PBT	PET	PBT	PET	PBT
automotriz	25	20	....	....	20
eléctrico/electrónico	29	60	70	35(1)	35(1)
instrumentos	17	....	....	....	20
plomaría	15	....	....	....	....
partes de maquinaria	....	....	25	....	15
otros	10	20	5	....	10
total	100%	100%	100%	100%	100%

(1) Estos son datos sólo para aplicaciones eléctricas.

5.2.3. situación actual y perspectivas de los poliésteres de ingeniería

estados unidos

En Estados Unidos sólo existen tres productores de resinas PBT, Celanese y General Electric tienen el 95 por ciento de la capacidad total. El tercer productor es GAF. Varias compañías intentaron o de hecho produjeron en algún tiempo estas resinas, pero ahora han abandonado tal empresa. Entre estas se encuentran: Eastman, Allied Chemical, American Hoechst, Diamond Shamrock, Du Pont, Goodyear, y Occidental Chemical.

En cuanto a productores de PET grado ingeniería este se produce por Allied Corporation, Du Pont y Mobay Chemical Corporation; éstos últimos dos, tienen el 90 por ciento de la capacidad total mundial.

En 1983 se consumieron 42 mil toneladas de resinas de tereftalato. Se espera un crecimiento del 10 por ciento en el consumo para los próximos años, de forma tal que el consumo de resinas de tereftalato será en

1990 de aproximadamente 83 mil toneladas.

europa occidental

No están disponibles los datos de producción y consumo de PET grado ingeniería en Europa Occidental. Para PBT la producción en 1983 fue de 12 mil toneladas mientras que el consumo para ese mismo año, sin incluir 7,000 toneladas de mezclas PBT/policarbonato usadas en la manufactura de defensas de automóviles, fue de 14 mil toneladas.

El pronóstico de crecimiento en el consumo de resinas de tereftalato en los próximos años es de 12 por ciento anual con lo que el consumo de estas resinas en Europa Occidental en 1990 sería de 27 mil toneladas.

japón

En Japón las resinas PBT se usan en forma creciente en aplicaciones eléctricas, tanto por las propiedades mecánicas de las resinas, como por sus características de aislamiento eléctrico.

Con el desarrollo de la mecatrónica (tecnología emergente que utiliza tanto ingeniería mecánica como electrónica) se esperan nuevas aplicaciones para el PBT. Las resinas PBT se transforman en Japón principalmente mediante moldeo por inyección. Las tecnologías para producirlas, como monofilamento, película y hoja se encontraban en desarrollo en 1984.

El PET grado ingeniería ha encontrado una difícil aceptación por parte de los productores debido a sus relativamente altas temperaturas de moldeo, sin embargo, con el desarrollo de los grados modificados se permite un moldeo más fácil. Esto ha ayudado a aumentar el interés de los procesadores y junto con el rápido crecimiento del mercado del PBT, el PET grado ingeniería ha empezado a recibir mayor atención debido a sus ventajas de costo/funcionamiento.

Los datos más recientes indican que en 1985 se consumieron (a nivel mundial) 130 mil toneladas en conjunto de PBT y PET grado ingeniería, siendo uno de los grupos de plásticos que mayor crecimiento ha experimentado en los últimos años; de forma tal que los pronósticos indican que la tasa

de crecimiento de ambos plásticos será del 8 por ciento hasta 1995.

5.2.4. precios de los poliésteres de ingeniería

5.2.4.1. desarrollo histórico y situación actual

Sólo se cuenta con datos históricos de precios de mercado de Estados Unidos.

Para el período 1979-1984, el crecimiento en los precios promedio de los poliésteres de ingeniería grado estándar en este país fue cercano a 9 por ciento anual.

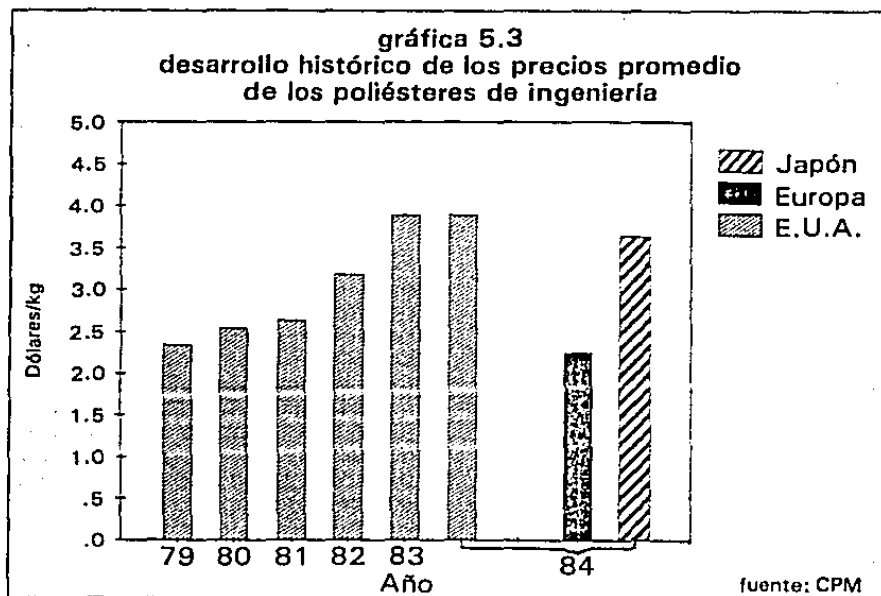
El precio de la resina PBT sin modificar o de uso general en 1984 en Estados Unidos fue de 3.90 dólares/kg., que resulta superior

en un 9 y 72 por ciento con respecto a los de Japón y Europa (Francia) respectivamente. El precio de la resina PET grado ingeniería con 30 por ciento de fibra de vidrio para el mismo año fue de 3.2 dólares/kg. en Estados Unidos. Estos precios, además de los precios para otros grados, se muestran en las gráficas 5.3 y 5.4.

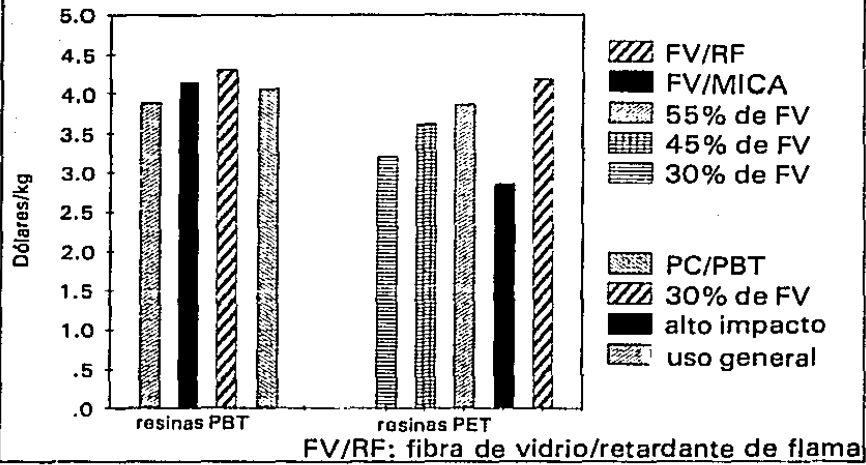
5.2.4.2. proyecciones

Asumiendo un crecimiento de 5 por ciento anual en los precios promedio de las resinas poliésteres, el precio en las principales regiones productoras, en 1990 sería el siguiente:

región	precio estimado en 1990 (dólares/kg).
estados unidos	5.22
europa occidental	3.03
japón	4.80



gráfica 5.4
 precios de los poliésteres de ingeniería
 en diferentes grados en E.U.A.
 durante 1984



5.3. mercado nacional de los poliésteres de ingeniería

5.3.1. producción y/o consumo de poliésteres de ingeniería en México

No existen datos de consumo de polibutilentereftalato en México, y hasta el momento tampoco se tienen noticias de producción o proyectos a este respecto. En el caso del polietilentereftalato grado ingeniería, se reportan importaciones del mismo, pero la fracción arancelaria correspondiente no especifica el grado del plástico importado y dado que el uso más extendido del PET es la elaboración de envases, lo más probable es que los datos reportados correspondan al PET denominado grado envase.

De lo anterior se desprende el desconocimiento del destino de los poliésteres de ingeniería en México (en caso de consumirse aunque sea en bajos niveles).

5.3.2. materias primas

ácido tereftálico-dimetil tereftalato

Existen dos compañías con permiso petroquímico para producir ácido tereftálico en México, una de ellas cuenta además con permiso para producir dimetil tereftalato.

Estos son dos de los productos petroquímicos que mayores exportaciones logran, su

uso en México se destina casi exclusivamente para la producción de fibra y película de poliéster, sus datos más relevantes se muestran en la tabla 5.5.

tabla 5.5. situación del ácido tereftálico y DMT en México

	ácido tereftálico	dimetil tereftalato
tasa de crecimiento (1975-1985)	47%	19.5%
capacidad instalada total (tons.)	255.000	242.000
producción en 1985 (tons.)	244.731	230.000
exportación en 1985 (tons.)	140.107	100.763

En la gráfica 5.5 y 5.6 se muestra su desarrollo histórico.

etilenglicoles

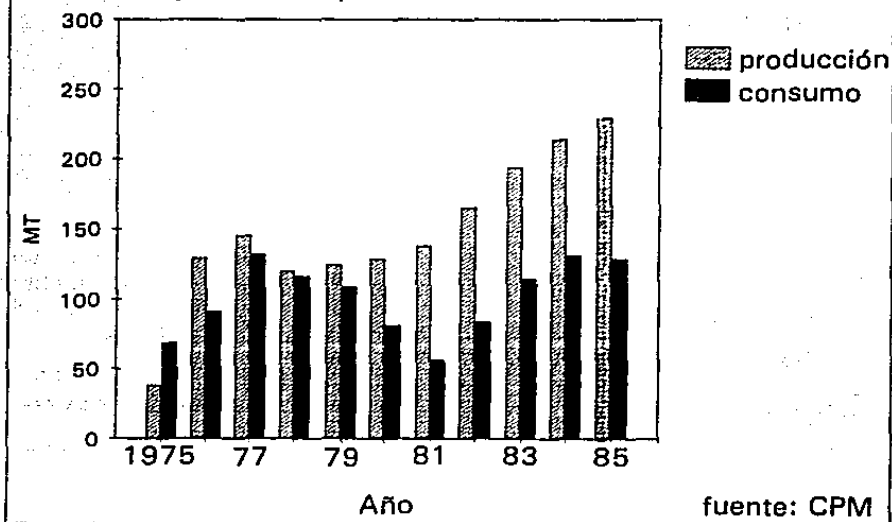
En México cuatro son las empresas que cuentan con permiso petroquímico para producir etilenglicoles. La capacidad instalada total de etilenglicoles (mono, di y trietilenglicoles) en 1985 fue de 208 mil 500 toneladas con una producción de 105 mil 231 toneladas. En este renglón la tasa de crecimiento para el periodo 1970-1985 fue de 17 por ciento anual (gráfica 5.7).

No se conoce la capacidad exacta de cada uno de los etilenglicoles, dado que sus capacidades de manufactura específicas dependen de la demanda del mercado.

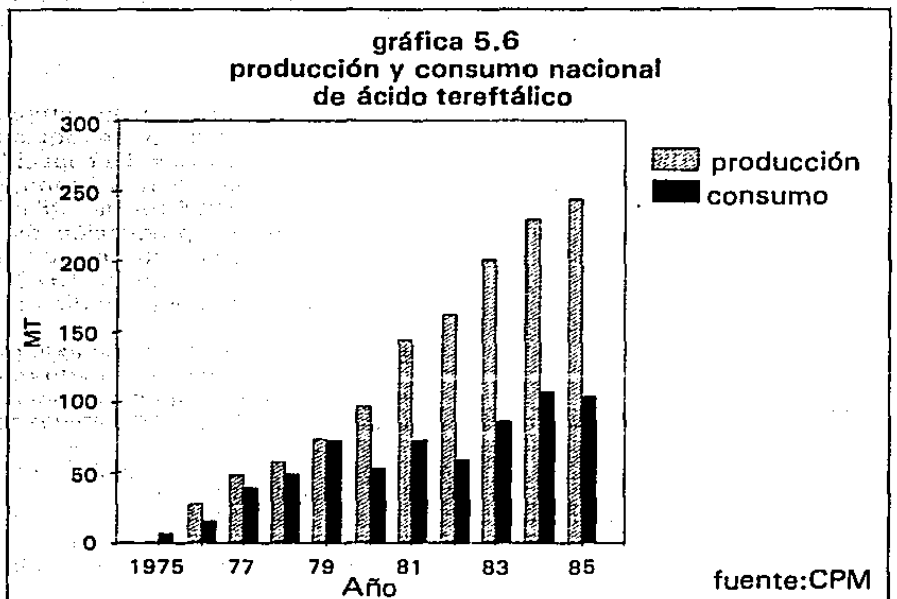
La distribución porcentual de la demanda del monoetilenglicol es:

- Producción de fibras 96%
- Anticongelantes y agentes lubricantes 4%

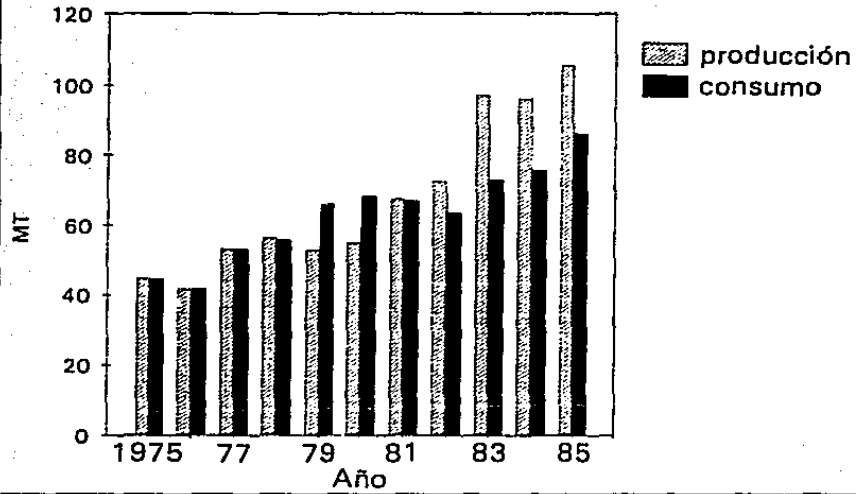
gráfica 5.5
producción y consumo nacional de DMT



gráfica 5.6
producción y consumo nacional de ácido tereftálico



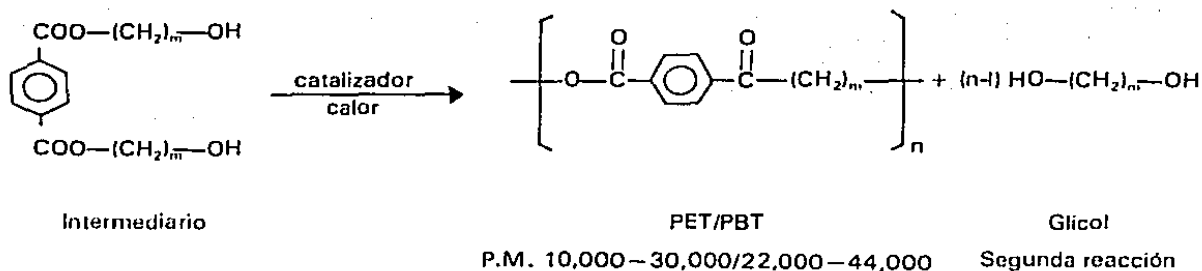
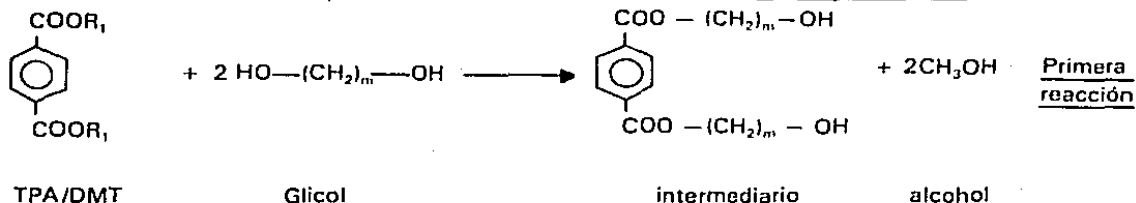
gráfica 5.7
producción y consumo nacional
de etilenglicoles



5.4.1. rutas tecnológicas existentes para obtener PET y PBT

Como se mencionó al inicio de este capítulo, el polietilentereftalato (PET) grado ingeniería, y el polibutilentereftalato forman el grupo conocido como resinas poliéster de tereftalato, porque se derivan del ácido tereftálico o del dimetil tereftalato y se obtienen a partir de una reacción de policondensación.

Este hecho ocasiona que las rutas de procesamiento para obtener las dos resinas sean muy similares. Tanto el PET como el PBT se obtienen mediante las siguientes reacciones genéricas:



En donde las reacciones con $m = 2$ conducen al PET

$R_1 = \text{CH}_3$ o H (DMT o TPA)

Las reacciones con $m = 4$ conducen al PBT.

En virtud a lo anterior, las rutas tecnológicas para obtener los poliésteres de ingeniería son:

RESINA	RUTA
PET y PBT	A partir de dimetiltereftalato y etilenglicol (o butanodiol)
PET y PBT	A partir de ácido tereftálico y etilenglicol (o butanodiol)
PET	A partir de ácido tereftálico y óxido de etileno.

5.4.2. análisis general de las rutas para producir PET grado ingeniería

Tal como se muestra en la figura 5.1., las alternativas de procesamiento existentes difieren solamente en la primera etapa, en la que se produce el intermediario bis(2-hidroxietil)-tereftalato (BHET). A partir de esta etapa las operaciones necesarias para obtener el polímero final son: prepolimerización, polimerización, separación de solvente y/o subproducto y terminado del polímero y formulación.

En el primer caso la primera etapa es la reacción de transesterificación:



Para desplazar el equilibrio a la derecha, la reacción se lleva a cabo bajo condiciones que volatilicen el metanol y que pueda eliminarse fácilmente de los reactores de transesterificación. Se emplea usualmente presión atmosférica y una temperatura que va de 170°C al inicio de la reacción, a cerca de 230 al final de la misma.

La reacción de prepolimerización se conduce normalmente a presiones menores a la atmosférica, hasta alcanzar 1 mm Hg, con temperaturas que van de 230 a 285°C.



El etilenglicol formado se elimina como vapor conforme avanza la reacción. El peso molecular obtenido en este paso es de aproximadamente 6,000.

La polimerización final usualmente se hace a menos de 1 mm Hg y a 285°C, el polímero obtenido tiene un peso molecular de 18 mil (para aplicaciones textiles o película).

Cuando se utiliza la segunda ruta la reacción inicial es la esterificación,

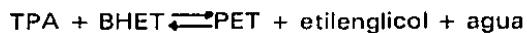


Nuevamente la reacción se efectúa bajo condiciones que permiten desplazar el equilibrio a la derecha, volatilizar y eliminar el agua producida; la presión es usualmente mayor a 1 atm. con temperaturas de 200-260°C.

Finalmente el proceso que utiliza la ruta de ácido tereftálico (TPA) y óxido de etileno involucra la reacción:



Que se efectúa en un medio orgánico (usualmente benceno), y utiliza una amina como catalizador (trietanol amina), a una temperatura de 116°C y presiones superiores a la atmosférica (16 Kg/cm²). Esta reacción es seguida por la reacción de poli-condensación:



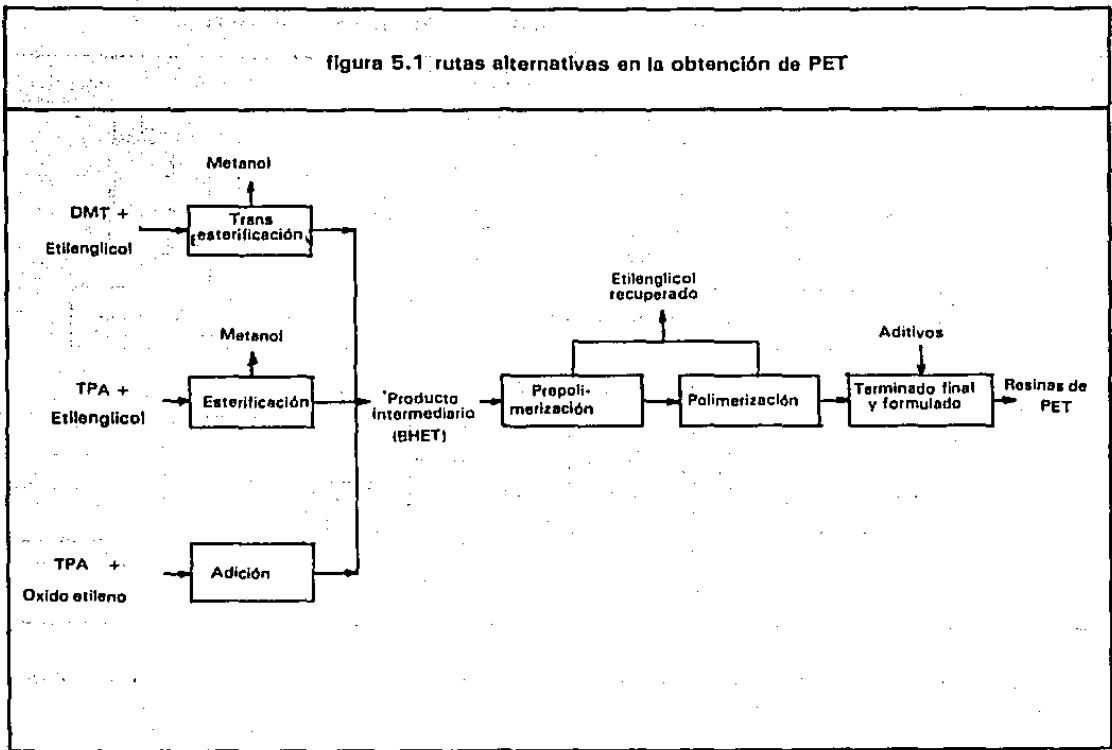
Y ocurre a una presión cercana a la atmosférica y una temperatura de 250°C.

La polimerización y demás etapas subsecuentes son similares a las de las rutas anteriores. Esta última ruta ha tenido, hasta ahora una aplicación limitada a escala comercial.

5.4.2.1. descripción del proceso para obtener PET a partir de DMT y etilenglicol

El dimetil tereftalato (DMT) se introduce por medio de un alimentador de tornillo, a los fundidores (con vapor) de DMT, de aquí se bombea al domo del reactor de intercambio de éster. El etilenglicol del almacenamiento se calienta y se divide en dos partes, una pasa a la torre de recuperación de metanol y la otra parte se alimenta al tan-

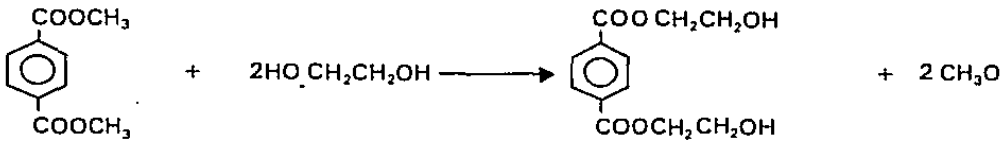
figura 5.1 rutas alternativas en la obtención de PET



que de mezclado con catalizador (ver figura 5.2) El efluente de este mezclador pasa al reactor de intercambio de éster donde tiene lugar la reacción:

domo, y de 234°C en los fondos utilizando acetato de zinc como catalizador.

El metanol producido en la reacción se re-



Dimetil tereftalato P.M. 194

Etilenglicol P.M. 62

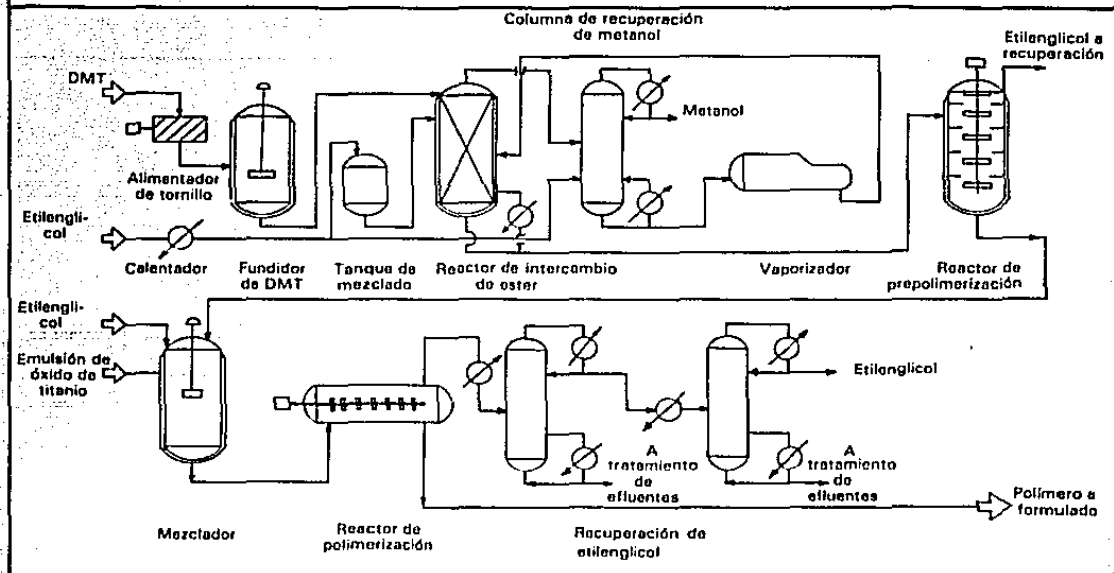
Bis(2-hidroxietil)-tereftalato P.M. 254

Metanol P.M. 32

La relación de alimentación etilenglicol: DMT es de 2:1, el tiempo de residencia del líquido es de cerca de 2.5 horas y la conversión del DMT es mayor de 99 por ciento. Este reactor es en realidad una columna de platos que opera a una presión atmosférica y a una temperatura de 170°C en el

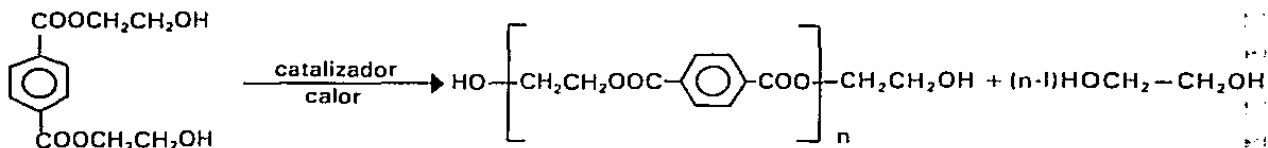
cupera en el domo de la columna de metanol. Por el fondo de la misma se obtiene una corriente que contiene principalmente etilenglicol y DMT la cual, después de vaporizarse, se retorna al reactor de intercambio de éster.

figura 5.2 producción de PET a partir de dimetiltereftalato y etilenglicol



La corriente que sale del fondo del reactor de intercambio de éster se envía a la sección de prepolimerización. Los reactores de prepolimerización operan a una presión que llega a ser de 10 mm Hg y una temperatura de 234 °C en la parte superior y 273 °C en

La temperatura al final del tren de polimerización es de 293 °C, mientras que la presión es menor a 1 mm Hg. El tiempo de residencia es de seis horas o menor y el peso del polímero obtenido es de 18 mil o más; la reacción de polimerización es la siguiente:



Bis(2-hidroxiethyl)-tereftalato
P.M. 254

Polietilén tereftalato
P.M. 10,000–30,000

Etilenglicol
P.M. 62

los fondos y utilizan trioxano de antimonio como catalizador; en estos reactores se obtiene etilenglicol por la parte superior, el cual se manda a purificar para ser recirculado; y un prepolímero con un peso molecular promedio aproximadamente de 6,000.

El prepolímero obtenido se mezcla con una corriente de óxido de titanio en emulsión y se alimenta a los reactores de polimerización a 273 °C.

El polímero se envía a manejo de efluentes y formulado final. El etilenglicol obtenido tanto en la prepolimerización como en la polimerización se purifica mediante destilación. En una primera columna los fondos son desechados, mientras que el efluente del domo se calienta hasta 130 °C y se envía a una segunda columna en la que se obtiene el etilenglicol de la concentración necesaria para recircularse.

consumos unitarios de materias primas y servicios auxiliares

Los consumos unitarios requeridos para obtener una tonelada de polietilentereftalato a partir de DMT y etilenglicol mediante el proceso descrito anteriormente, tanto de materia prima como de servicios auxiliares se muestran en la tabla 5.6.

tabla 5.6 consumos unitarios en la obtención de PET a partir de DMT y etilenglicol

materia prima ⁽¹⁾	consumo por tonelada
DMT	1.001 tons.
etilenglicol	0.3594 tons.
dióxido de titanio	0.0042 tons.
subproducto	
metanol	0.3374 tons.
servicios auxiliares	
agua de enfriamiento	53 m ³
vapor	1.4 tons.
electricidad	165 Kwh
gas inerte	24 nm ³
gas natural	994 K-Cal

(1) No se incluyen consumos de catalizador y otros aditivos como estabilizantes o agentes antioxidantes.

costos

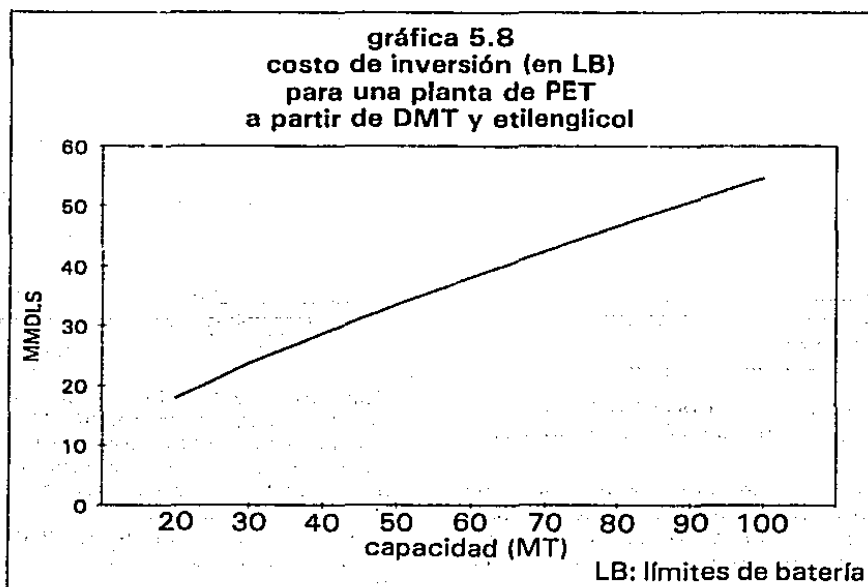
A continuación se presentan los costos de inversión para tres tamaños de planta diferentes, a precios de Junio de 1986, para plantas que utilizan el proceso antes descrito (tabla 5.7).

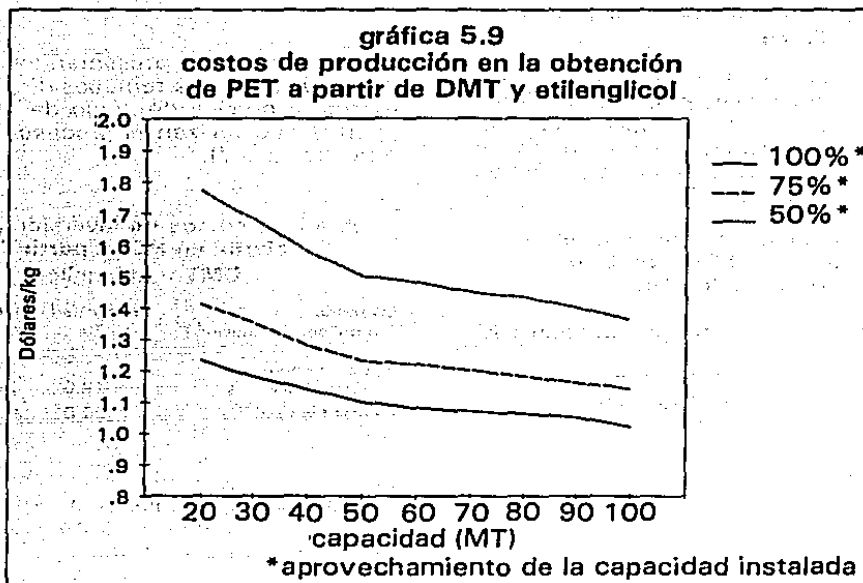
tabla 5.7. costos de inversión para una planta de PET a partir de DMT y etilenglicol

inversión (en millones de dólares)	capacidad instalada (ton./año)		
	20	40	80
límites de batería	18.0	29.0	47.0
servicios auxiliares	12.0	21.0	37.0
capital fijo total	30.0	50.0	84.0

En la siguiente gráfica se muestra la forma en que varía la inversión (en límites de batería), al cambiar la capacidad instalada en una planta que produce PET a partir del proceso que se describió anteriormente.

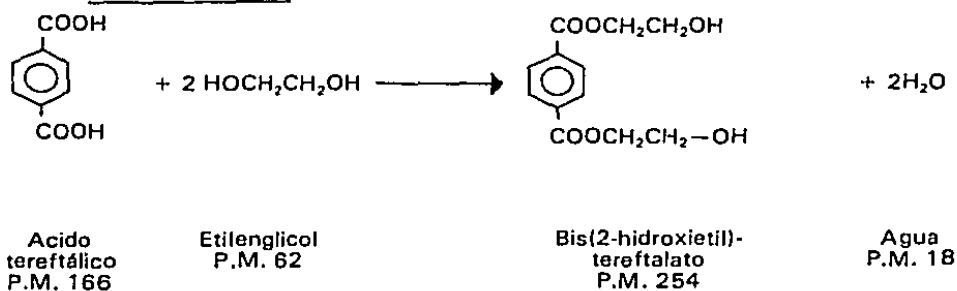
Por otro lado en la gráfica 5.9 se pueden observar los costos de producción asociados al mismo proceso, a las capacidades a las cuales se reportó la inversión total (tabla 5.7), en función del nivel de aprovechamiento de la capacidad instalada.





Cabe aclarar que los costos de inversión presentados en la tabla anterior, así como los costos asociados al proceso que parte del TPA, corresponden a los costos requeridos para producir PET grado fibra. El PET grado ingeniería tiene una viscosidad intrínseca mayor que la del primero por lo que los costos reales son ligeramente diferentes a los aquí reportados.

El proceso inicia al introducir el TPA mediante alimentadores tipo "tornillo" al reactor (es) en los que se produce el BHET, junto con el etilenglicol, el cual se precalienta hasta una temperatura de 232°C antes de su entrada a dicho (s) reactor (es), en el (los) reactor (es) la presión requerida es de 4.5 kg/cm² y se efectúa la siguiente reacción.

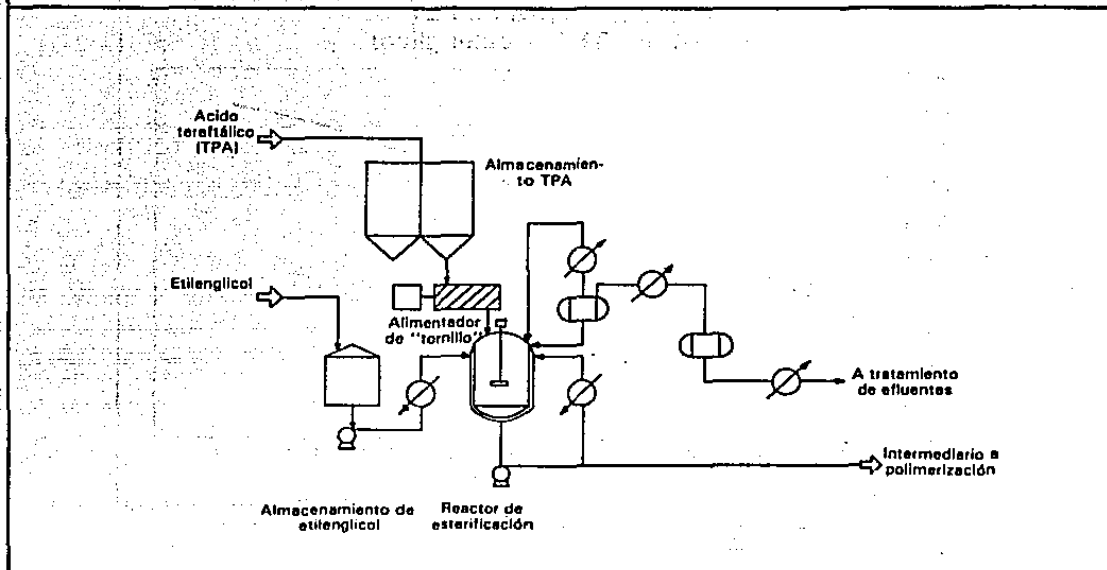


5.4.2.2 descripción del proceso para obtener PET a partir de TPA y etilenglicol

En la figura 5.3 se muestra un esquema simplificado de las secciones de producción del BHET del proceso para obtener polietilentereftalato a partir de ácido tereftálico (TPA) y etilenglicol.

Conforme avanza la reacción el agua formada se separa en forma de vapor junto con algo de etilenglicol, parte de este etilenglicol se separa y recircula al reactor. El producto formado se envía a la sección de prepolymerización para continuar su procesamiento en forma similar a como ocurre en el proceso de DMT, descrito anteriormente.

figura 5.3 PET a partir de TPA y etilenglicol (sección de esterificación)



consumos unitarios de materias primas y servicios auxiliares

Los consumos unitarios tanto de materias primas como de servicios auxiliares, requeridos para producir una tonelada de PET, mediante el proceso descrito anteriormente se muestran en la siguiente tabla.

tabla 5.8 consumos unitarios en el proceso de PET vía TPA y etilenglicol

materia prima ⁽¹⁾	consumo por tonelada
TPA	0.8563 tons.
etilenglicol	0.3594 tons.
dióxido de titanio	0.0042 tons.
servicios auxiliares	
agua de enfriamiento	54 m ³
vapor	1.1 tons.
electricidad	163 KwH
gas inerte	24 nm ³
gas natural	1.556 K-Cal

⁽¹⁾ No se incluyen los consumos de catalizador y otros aditivos

costos de inversión y producción

Los costos de inversión reportados a costos de Junio de 1986, para tres tamaños de planta diferente para el proceso antes descrito, se muestran en la siguiente tabla:

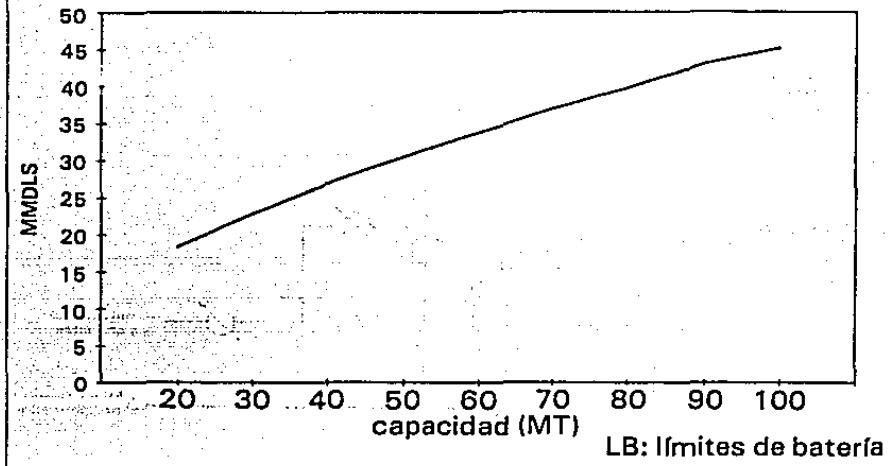
tabla 5.9 costos de inversión para una planta de PET vía TPA y etilenglicol

Inversión (en millones de ds.)	capacidad (en miles de toneladas)		
	20	40	80
límites de batería	18.0	26.0	39.0
servicios auxiliares	12.0	20.0	34.0
capital fijo total	30.0	46.0	73.0

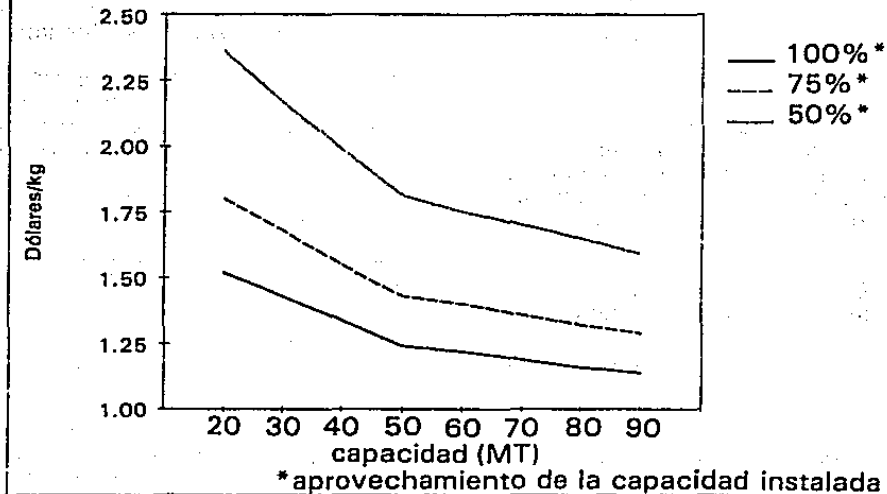
A fin de observar el efecto de la economía de escala en el costo de inversión de una planta de PET que utiliza el proceso antes descrito, en la gráfica 5.10 se muestra la forma en que varía la inversión (en límites de batería) al modificar la capacidad de dicha planta.

Por lo que a costos de producción se refiere, en la gráfica 5.11 se mostrará el efecto que sobre el costo de producción tiene el nivel de operación a las capacidades antes mencionadas.

gráfica 5.10
costo de inversión (en LB)
para una planta de PET
a partir de TPA y etilenglicol



gráfica 5.11
costos de producción en la obtención
de PET a partir de TPA y etilenglicol

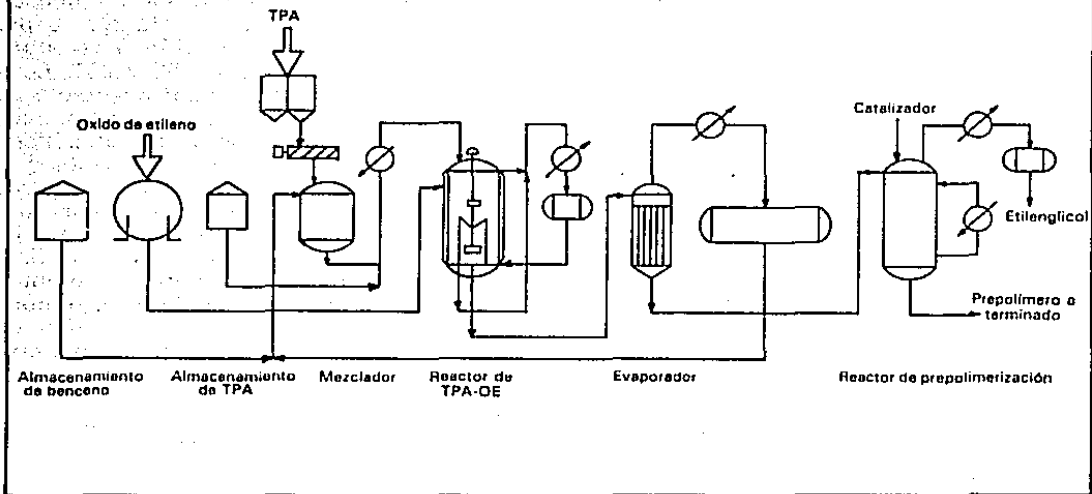


5.4.2.3. descripción del proceso para obtener PET a partir de ácido tereftálico y óxido de etileno

La figura 5.4. muestra la fracción del diagrama de flujo de proceso correspondiente a la sección de reacción entre el óxi-

do de etileno y el ácido tereftálico. El TPA grado fibra se introduce a través de los alimentadores de tornillo a un tanque de mezcla al que se agrega además, benceno de reposición y una mezcla de óxido de etileno-benceno de recirculación, junto con el catalizador (trietanolamina); la mezcla en emulsión

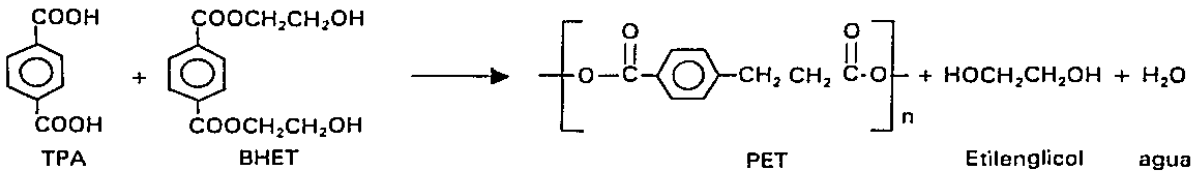
figura 5.4 PET a partir de TPA y óxido de etileno (sección de reacción y polimerización)



formada se alimenta al reactor de TPA-OE. Una parte adicional de óxido de etileno se agrega directamente del almacenamiento.

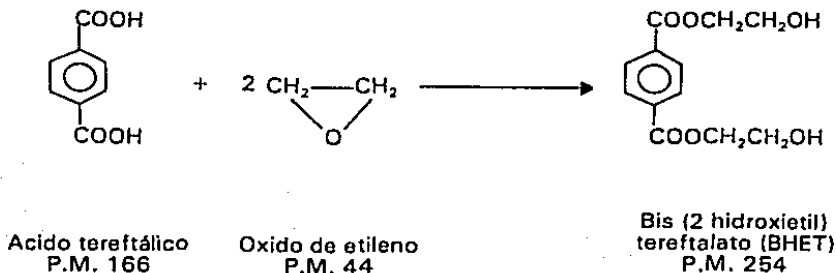
El reactor utilizado es un tanque agitado provisto de una chaqueta y unas bobinas internas de enfriamiento para remover el calor de reacción. Las condiciones de reac-

En la chaqueta del reactor se evapora benceno (enfriando la reacción), cerca del 60 por ciento del TPA se transforma en BHET. El efluente del reactor se pasa a través de un evaporador para eliminar la mayor parte de OE y benceno remanentes, para enviarse posteriormente a un segundo reactor en donde se produce la reacción:



ción son $T = 115^\circ\text{C}$ y $P = 16 \text{ kg/cm}^2$ con un tiempo de residencia de cerca de 100 minutos. La reacción principal es:

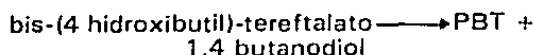
Este segundo reactor trabaja a una temperatura de 250°C y una presión de 1 kg/cm^2 y tiene un tiempo de residencia aproxima-



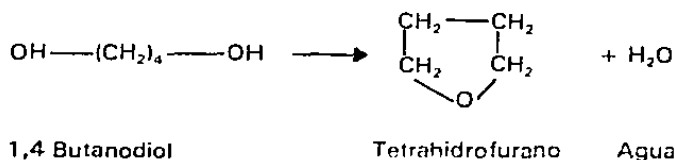
do, de dos horas; el prepolímero producido hasta este momento, con un peso molecular promedio de 2,000 pasa a la sección de polimerización y el proceso continúa en una forma similar a la del proceso de DMT descrito anteriormente. Como se mencionó al inicio del capítulo, este proceso no se ha implementado a escala comercial por lo que no se tienen los datos de consumos unitarios ni de los costos asociados al mismo.

5.4.3 análisis general de las rutas tecnológicas para producir PBT

El PBT se produce mediante la reacción de intercambio de éster (transesterificación), entre el 1,4 butanodiol y el dimetil tereftalato, seguida de una polimerización a alta temperatura y vacío, con la remoción del exceso de butanodiol, hasta que el peso molecular sea el deseado.



El 1,4 butanodiol se convierte en tetrahidrofurano, principal subproducto, lo que constituye la principal diferencia con respecto al proceso de obtención del PET, mediante la reacción.



La ruta alternativa utiliza ácido tereftálico, pero esta no se usa comercialmente.

Los catalizadores utilizados en la ruta del DMT son compuestos de titanio como el terbutil titanio y algunos tetra alquil titanatos, tetraoctil titanato, etc. Por otro lado los utilizados en la ruta de TPA son sales del ácido de fluorotitanio y metales alcalinotérreos como el sodio y el potasio o bien, compuestos orgánicos como dilauratos de

butilo. Cuando se utiliza la primera ruta las pérdidas del butanodiol son menores.

La producción de PBT se puede dividir en dos etapas: transesterificación y policondensación. La primera se efectúa, a presiones cercanas a la atmosférica o menores y temperaturas de entre 150 y 200°C, en presencia de un catalizador de titanio durante 1-3 horas. La segunda etapa puede a su vez dividirse en dos pasos: prepolicondensación y policondensación también en presencia de un catalizador de titanio, aumentando gradualmente la temperatura y disminuyendo la presión. La operación puede realizarse tanto en forma continua como en forma intermitente, la comparación entre ambas formas de trabajo muestran que las características del polímero obtenido son similares y los costos en ambos procesos son comparables.

5.4.3.1 descripción del proceso para obtener PBT a partir de DMT y 1,4 butanodiol

En la figura 5.5 se muestra un esquema simplificado del proceso para obtener PBT a partir de DMT y 1,4 butanodiol. El PBT obtenido mediante este proceso tiene una presentación plana y un peso molecular promedio de 44 mil.

El proceso consta de dos secciones: producción y acabado del polímero, la sección de producción contiene cuatro etapas de operación, que son transesterificación, prepolicondensación y primera y segunda

etapas de policondensación. Los pesos moleculares promedio de cada etapa son de 735, 3,600, 22 mil y 44 mil respectivamente.

El butanodiol se alimenta continuamente a un tanque en el que se mezcla con el catalizador (tetrabutiltitanato), de aquí pasa al tren de transesterificación junto con el DMT fundido. La temperatura en el tren de transesterificación se incrementa de 160 a

230°C y el tiempo de residencia en cada reactor es de 40 minutos. El metanol formado en la reacción se separa y purifica.

El efluente del último reactor de transesterificación se bombea continuamente al primer reactor de prepolicondensación en serie. Tanto los reactores de transesterificación como los de prepolicondensación están equipados con una columna rectificadora en el domo de los recipientes. La temperatura de reacción en la prepolicondensación se incrementa de 230°C a 250°C, mientras que la presión se reduce paulatinamente de 200 mm Hg a 1.0 mm Hg.

A medida que transcurre la reacción, el peso del polímero aumenta y se va separando el exceso de butanodiol que es enviado a purificación.

El efluente del reactor de prepolicondensación se bombea al primer reactor de poli-

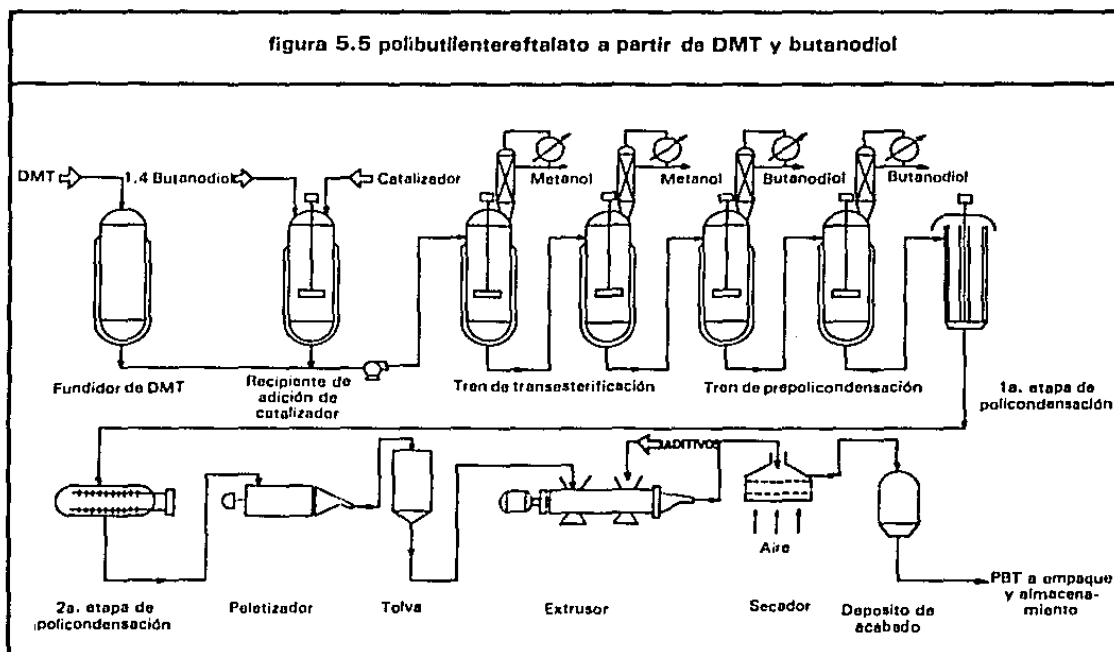
mente una hora y el peso molecular promedio alcanzado en el proceso es de 44 mil.

Aunque no se muestra en la figura, en la primera y segunda etapa de policondensación, también se recupera algo de butanodiol mismo que, después de purificarse, se recicla.

El efluente del último reactor se pelletiza y pasa a la sección de formulación final, manejo de sólidos y empaque.

consumos unitarios de materias primas y servicios para obtener PBT sin modificar

A continuación se presentan los consumos unitarios de materias primas y servicios para obtener PBT sin reforzamiento utilizando el proceso descrito anteriormente (salvo que los servicios para modificación o reforzamiento y procesado final son ligeramente diferentes).



condensación que es un reactor del tipo película delgada y opera a 250°C y 1 mm Hg, la segunda fase de policondensación se efectúa en un reactor de doble hélice. El tiempo de residencia del polímero fundido en este último reactor es de aproximada-

tabla 5.10 consumos unitarios para obtener PBT sin modificar

materia prima ¹⁾	consumo por tonelada
dimetil tereftalato	0.8886 tons.
butanodiol	0.4443 tons.

continúa tabla 5.10

subproductos

metanol	0.2857 tons.
servicios auxiliares	
agua de enfriamiento	117 m ³
vapor	0.85 tons.
electricidad	472 KwH
aceite	1.111 k-Cal
gas inerte	23 nm ³

(1) no se incluye el consumo de catalizador.

costos

Los costos de inversión para una planta de polibutilentereftalato que utiliza el proceso descrito anteriormente, se muestran en la siguiente tabla para tres capacidades diferentes.

Los costos corresponden a precios de Junio de 1986.

tabla 5.11. costos de inversión para una planta de PBT sin modificar

costo de inversión (millones de dólares)	capacidad (miles de toneladas)		
	12.5	25	40
límites de batería	30.0	43.0	56.0
servicios auxiliares	13.0	24.0	34.0
capital fijo total	43.0	67.0	90.0

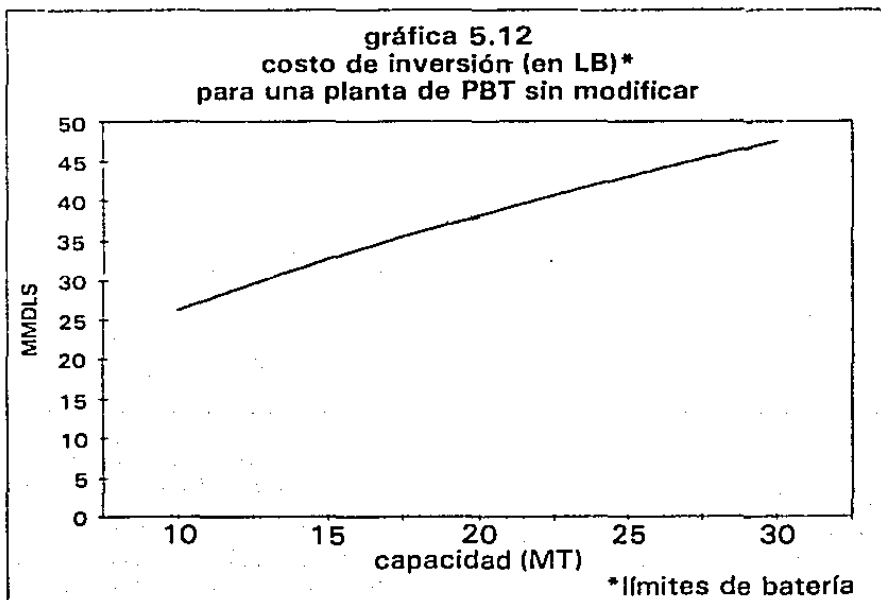
A fin de observar el efecto que sobre el costo de inversión (en límites de batería) tiene el tamaño de planta, en la gráfica 5.12 se muestra la forma en que varía aquel al modificar dicho tamaño.

Por otro lado, en la gráfica 5.13 se pueden observar los costos de producción asociados al proceso anteriormente descrito para la obtención del PBT, en función del nivel de aprovechamiento de la capacidad instalada.

A fin de mostrar otras alternativas, a continuación se muestran tanto los consumos unitarios como los datos de costos para una planta de PBT que utiliza una tecnología similar a la descrita anteriormente (a partir de DMT y butanodiol), pero que contiene facilidades para producir el PBT en un grado autoextinguible, con un reforzamiento de 30 por ciento fibra de vidrio y siete por ciento en peso de agente retardante de flama.

tabla 5.12. consumos unitarios de materias primas y servicios auxiliares en la producción de PBT grado autoextinguible

materia prima	consumo por tonelada
dimetil tereftalato	0.5599 tons.
butanodiol	0.2799 tons.
tetrabutil titanato	0.00075 tons.
fibra de vidrio	0.303 tons.
decabromodifenil éter	0.0468 tons.
trióxido de antimonio	0.0238 tons.
subproductos	
metanol	0.18 tons.



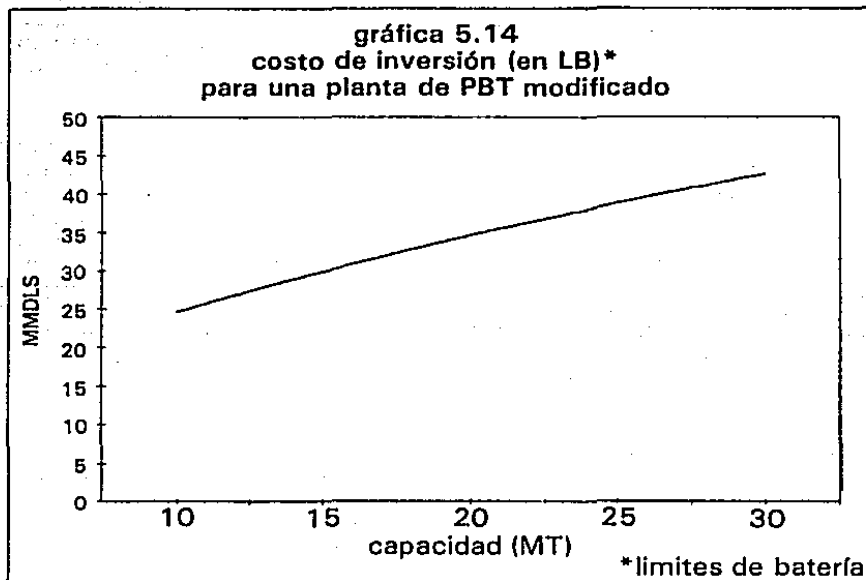
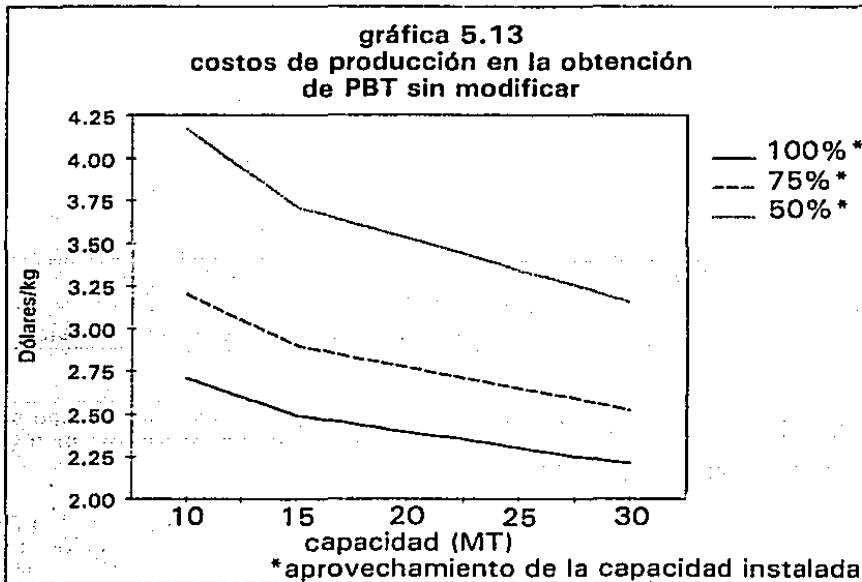
continua tabla 5.12

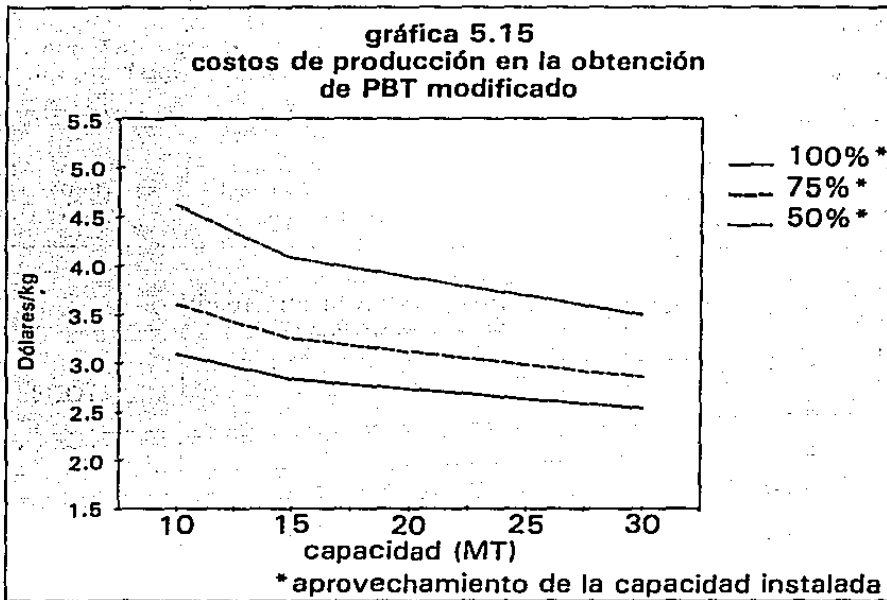
servicios auxiliares

agua de enfriamiento	118 m ³
vapor	0.53 tons.
electricidad	957 Kwh
gas inerte	15 nm ³
gas natural	667 K-Cal

tabla 5.13. costo de inversión para producir PBT grado autoextinguible (junio 1986)

costo de inversión (millones de dólares)	capacidad (mitas de toneladas)		
	12.5	25	40
límites de batería	27.0	33.0	49.0
servicios auxiliares	11.0	15.0	27.0
capital fijo total	38.0	48.0	76.0





5.4.4. comparación entre los procesos para obtener PET

Como se mencionó anteriormente, el proceso que parte de TPA y óxido de etileno tiene una aplicación a escala comercial limitada, por lo que en este punto sólo se hará la comparación entre los dos procesos restantes.

Dado que los dos procesos analizados además de presentar una complejidad tecnológica similar, dan como resultado un producto de características similares, el criterio de selección será el económico.

La gráfica 5.16 muestra los montos de inversión requeridos en la instalación de una planta de PET que utiliza los procesos de etilenglicol con DMT o TPA. Como puede observarse, la inversión (en límites de batería) para una planta que parte del DMT como materia prima, resulta entre un tres y un 21 por ciento más elevado, dependiendo de la capacidad instalada de la misma. Aunque como se desprende de la misma gráfica, la diferencia con respecto al proce-

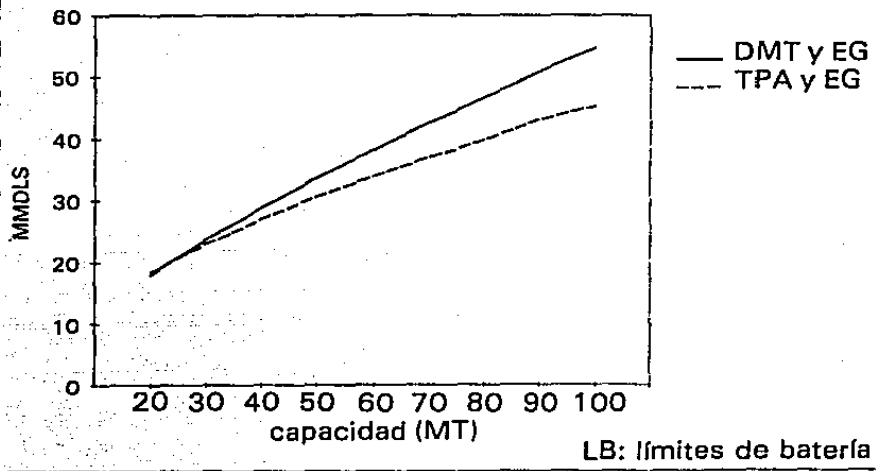
so que parte del TPA se hace significativa solo a capacidades mayores a 35 o 40 mil toneladas.

Por otro lado, en la gráfica 5.17 se comparan los costos de producción de los procesos que parten de DMT y TPA, en ella puede observarse que los costos de producción en el proceso que parte del DMT resultan menores entre un ocho y 23 por ciento, con respecto a los asociados al proceso del TPA.

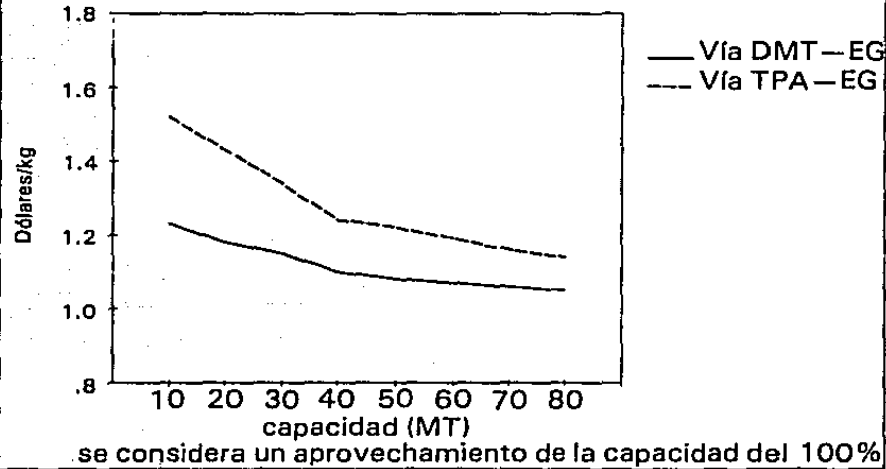
En base a lo anterior se puede concluir que para capacidades menores o iguales a las 35 mil T/A el proceso que parte de DMT es la mejor opción tecnológica para la producción de PET grado ingeniería. A capacidades mayores a ésta se requiere de un análisis más detallado a fin de ponderar adecuadamente el mayor costo de inversión y menores costos de producción del proceso de DMT con el menor costo de inversión y mayores costos de producción del proceso que parte de TPA.

En el caso del PBT no se puede hacer una comparación ya que la decisión entre producir PBT grado autoextinguible o sin modificar sólo depende de las características del producto deseado.

gráfica 5.16
inversión requerida (en LB)
en los diferentes procesos disponibles
para la producción de PET

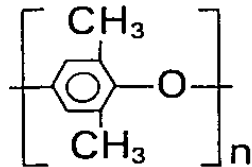


gráfica 5.17
costos de producción de los
diferentes procesos existentes
para producir PET



capítulo 6

óxido de polifenileno



El óxido de polifenileno, introducido comercialmente en 1964 por General Electric, tenía entre sus principales propiedades la tenacidad y la resistencia al calor, pero procesarlo mediante equipo convencional de moldeo era difícil, sin embargo, las mezclas de óxido de polifenileno-poliestireno impacto si se procesaron con sencillez, por lo que General Electric las comercializó ampliamente varios años después con el nombre de Noryl, y en forma genérica reciben el nombre de resinas a base de óxido de polifenileno u óxido de polifenileno modificado (MPPO).

Las propiedades del MPPO son diferentes a las que presenta la resina sin modificar: la

tenacidad y la resistencia al calor se redujeron, pero la procesabilidad se mejoró. En la tabla 6.1 se muestran las principales propiedades mecánicas, eléctricas y térmicas del Noryl, en diferentes grados.

6.1.1. propiedades del óxido de polifenileno

El poliestireno impacto es el material más usado en la producción de MPPO, sin embargo, se han desarrollado otros grados agregando diferentes polímeros o bien,

tabla 6.1. propiedades típicas de óxido de polifenileno modificado⁽¹⁾

propiedades	grados							ASTM
	731	SE-1	SE-100	GFN-1	GFN-3	SEI-GFN-2	SEI-GFN-3	
densidad relativa a 24°C	1.06	1.06	1.10	1.25	1.27	1.30	1.36	D 792
volumen específico cm ³ /gr. 23°C	0.94	0.94	0.91	0.81	0.78	0.77	0.73	-----
absorción de agua, 24 hrs. (%)	0.066	0.07	0.08	0.06	0.06	0.06	0.06	D 570
temperatura de deflexión a 18.5 kg/cm ² (1°C)	129	129	100	143	149		135	D 648
Coefficiente de expansión térmica X 10 ⁻⁶ /°C	1.8	1.8	2.1	1.1	0.7	1.1	0.7	D 696
contracción en el moldeo (%)	5 - 7	5 - 7	5 - 7	2 -	1 - 3	2 - 4	1 - 3	D 1289
flamabilidad	SE	SE-1	SE-1	SE	SE	SE-1	SE-1	var note
constante dieléctrica, 50% H.R. 23°C, 60 CPS.	2.64	2.69	2.85	2.86	2.93	2.98	3.15	
resistividad volumétrica, seca 23° C ohms, cm	10 ¹⁷	10 ¹⁷	10 ¹⁶	10 ¹⁷	10 ¹⁷	10 ¹⁷	10 ¹⁶	D 257
resistividad superficial (Ohm)	10 ¹⁷	10 ¹⁷	10 ¹⁶	10 ¹⁷	10 ¹⁷	10 ¹⁷	10 ¹⁷	D 257
resistencia dieléctrica (muestra de 1/8 de pulgada en V/mm)	550	500	400	420	550	600	530	D 149
resistencia de arco tungsteno (seg.)	75	75	70	70	120	70	120	D 495
resistencia a la tensión 23°C (kg/cm ²)	675	675	584	1 019	1 195	1 019	1 195	D 838
% de elongación a ruptura	60	60	50	4-8	4-8	4-8	4-6	D 838
módulo de tensión a 23°C (kg/cm ²)	24 965	24 965	26 732	85 049	84 338	85 049	84 388	D 838
resistencia a flexión a 23°C (kg/cm ²)	949	949	900	1 301	1 408	1 301	1 406	D 790
conductividad térmica (kCal/hr. m ²)	4.0	4.0	3.0	3.11	3.0	3.11	3.0	C 177
módulo de flexión a 23°C (kg/cm ²)	25 316	25 316	25 316	52 742	77 358	52 742	77 356	D 790
resistencia a la compresión	1 153	1 153	1 125	1 237	1 259	1 237	1 259	D 895
10% de deformación (kg/cm ²)								
resistencia al corte (kg/cm ²)	738	738	495	731	745	731	745	D 732
deformación sobre una carga de 140 kg/cm ²	0.30	0.30	0.50	0.20	0.12	0.30	0.25	D 621
resistencia al impacto izod J/m	267	267	267	123	123	123	123	D 256
dureza rockwell	R119	R119	R115	L108	L108	L 785		
abrasión (mg)	20	20	100	35	35	-----	L 108	D 1044
límite endurecimiento a fatiga 2 X 10 ⁶ ciclos (kg/cm ²)	176	176	130	281	351	-----	-----	D 671
claridad	opaca	opaca	opaca	opaca	opaca	opaca	opaca	-----

(1) Los valores corresponden al producto de óxido de polifenileno noryl (General Electric).
NOTA: SE = autoextinguible sin goteo (ASTM D 839).

SE-1 = autoextinguible sin goteo grupo 1 (boletín U.L. 94).

mezclándolos para formar aleaciones con los mismos. La aleación que más aceptación ha tenido es la que forma el MPPO con el éter de polifenileno modificado (MPPE); esta resina es un copolímero producido mediante el acoplamiento oxidativo del 2,6-dimetil fenol con el 2,3,6-trimetil fenol formándose un enlace de éter. El grupo metilo adicional en el 2,3,6-trimetil fenol actúa endureciendo la cadena del polímero, lo que provoca un aumento en la tenacidad y en el módulo de flexión. Como el PPO, el MPPE es difícil de procesar en forma virgen, por lo que se mezcla con poliestireno para facilitar dicho procesamiento.

Las aleaciones de MPPO/MPPE constituyen más de 70 por ciento del volumen de las aleaciones que se realizan en base a resinas de ingeniería y son una de las formas principales en las que se distribuyen las resinas MPPO.

Las resinas de óxido de polifenileno modificado compiten ampliamente con grados de alta resistencia a la temperatura del ABS (acrilonitrilo-estireno-butadieno), así como con otros polímeros de estireno, incluyendo los copolímeros estireno anhídrido málico y otras mezclas como las de policarbonato-ABS.

6.1.2. usos del óxido de polifenileno

A. máquinas de oficina/telecomunicaciones

El rápido crecimiento de este mercado para mezclas MPPO/MPPE se debe a la gran aceptación que ha tenido este producto en la fabricación de bastidores para computadoras, calculadoras, pantallas de video, copiadoras, máquinas de escribir y otros equipos de oficina y negocios.

El mercado de las telecomunicaciones se está fusionando rápidamente con el mercado de las máquinas de oficina ya que presenta muchos de sus requerimientos principales; las aplicaciones incluyen sistemas de TELEX/VIDEOTEX, radiocelular, sistemas de teletipo, antenas de satélite. La combinación de las propiedades de resistencia al calor, resistencia al impacto, características eléctricas y retardantes de flama hacen a la resina apropiada para todas estas aplicaciones. En adición a lo an-

terior, las propiedades acústicas del producto se mejoran ya que las mezclas MPPO/MPPE absorben el sonido mejor que los bastidores de metal reduciendo el ruido.

El MPPO compite en este mercado con resinas como las ABS, policarbonato, mezclas PC/ABS y los poliésteres de ingeniería PBT y PET.

B. aparatos domésticos

El sector de aparatos es el segundo mayor consumidor de resinas MPPO/MPPE, en Estados Unidos. Las resinas se utilizan tanto en artículos menores como herramientas y en productos de cuidado personal, como en artículos de mayor tamaño como lavaplatos, secadoras, partes para refrigeración y equipos de aire acondicionado. La estabilidad de las resinas en altas temperaturas junto con sus propiedades eléctricas han permitido su utilización en aparatos como planchas, cafeteras, secadoras de pelo, procesadores de alimentos y sellos eléctricos. En el sector salud las resinas de MPPO/MPPE son usadas en la fabricación de oxigenadores portátiles, analizadores de sangre y otros aparatos de registro.

C. automóviles

Los usos automotrices de estas resinas incluyen aplicaciones externas e internas, entre las primeras se encuentran la fabricación de bastidores de espejos, parrillas, cubiertas de llantas y expoliadores, en las que las propiedades importantes son estabilidad térmica y dimensional con resistencia al impacto a baja temperatura.

Las partes interiores incluyen paneles de instrumentos, rejillas de bocinas, cubiertas de la columna de dirección y molduras de ornato. Los componentes eléctricos fabricados con esta resina, como cajas de fusibles, conectores y partes de lámparas, se utilizan también ampliamente.

D. eléctrico/electrónico

Las aplicaciones de las aleaciones MPPO/MPPE incluyen aparatos electrodomésticos e industriales. Ejemplos de ellos son radios, televisores, equipo de estéreo, bocinas, videograbadoras, partes para circuitos internos de televisión, bastidores de detectores de humo, partes de encendedores, cubiertas de motor, cronómetros y alarmas; la te-

nacidad y otras propiedades de este plástico permanecen en un amplio rango de temperaturas, la absorción de agua es mínima y no tiene un efecto significativo sobre las propiedades eléctricas. La mayoría de las aplicaciones mencionadas en este apartado, utilizan grados retardantes de flama.

E. otros

Las aleaciones de MPPO/MPPE también se

han usado con éxito en aplicaciones electromecánicas entre las que destacan aquellas que requieren aparatos y equipos inmersos o en contacto con agua como rociadores, partes de bombas, bombas de albercas, válvulas, equipo para proceso químico y cuerpos de filtros; otros usos son los transportadores de membrana para sistemas de ósmosis usadas en el tratamiento de agua de mar.

6.2. mercado internacional de las resinas de óxido de polifenileno

6.2.1. desarrollo histórico

No se tienen datos del desarrollo histórico del PPO en los mercados de Europa y Japón, en Estados Unidos la situación es la siguiente:

En 1976 se produjeron 40 mil toneladas de resinas de óxido de polifenileno modificado, mientras que para 1985 esta cifra llegó a las 82 mil toneladas, lo que representó un crecimiento promedio anual del ocho por ciento para el período comprendido entre éstos años. La gráfica 6.1 muestra el desarrollo histórico del consumo en el mercado de Estados Unidos a partir de 1977.

6.2.2. distribución porcentual de la demanda de óxido de polifenileno

La distribución porcentual de la demanda de las resinas de PPO modificado (MPPO) para cada uno de los principales consumidores a nivel internacional, se muestran en la tabla 6.2.

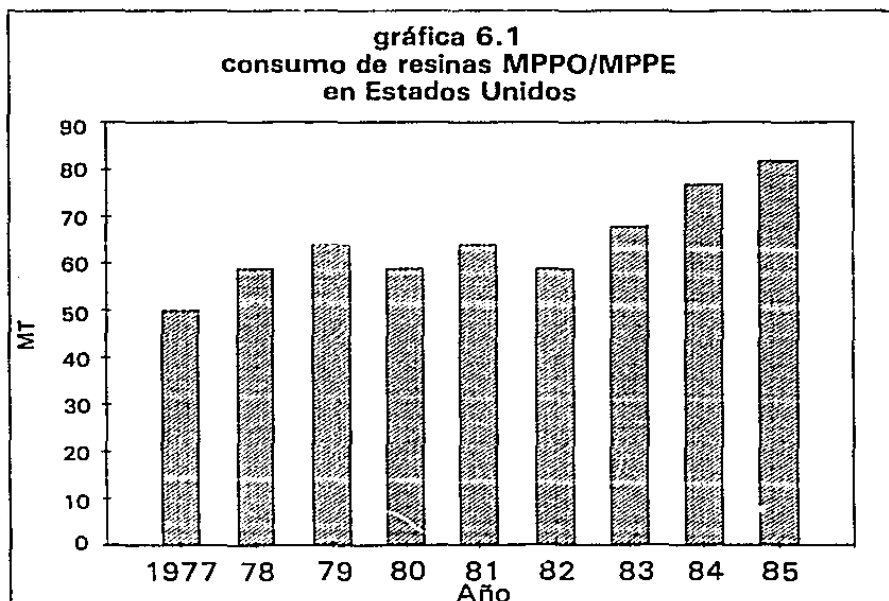


tabla 6.2. distribución porcentual de la demanda del MPPO en 1985

uso	E.U.A.	Europa Occidental	Japón
máquinas de oficina y telecomunicaciones	42	40	....
aparatos domésticos	13	8	....
eléctrico/electrónico	17	12	30
automotriz	17	30	24
maquinaria	....	....	35
otros	11	10	11
	100%	100%	100%

En realidad el uso en maquinaria sólo aparece en Japón y no se tiene la descripción exacta de lo que contempla, aunque probablemente este apartado corresponde al que aparece en los mercados de Europa y Estados Unidos como máquinas de oficina y telecomunicaciones.

6.2.3. situación actual y perspectivas

Al igual que los otros plásticos de ingeniería, la situación actual del mercado mundial del óxido de polifenileno modificado (en forma de aleación MPPO/MPPE), se caracteriza en forma adecuada al analizar los mercados de Estados Unidos, Europa y Japón. Del total de la producción mundial en 1985 a Estados Unidos correspondió la mayor parte con poco más del 55 por ciento del total, seguido por Japón con cerca

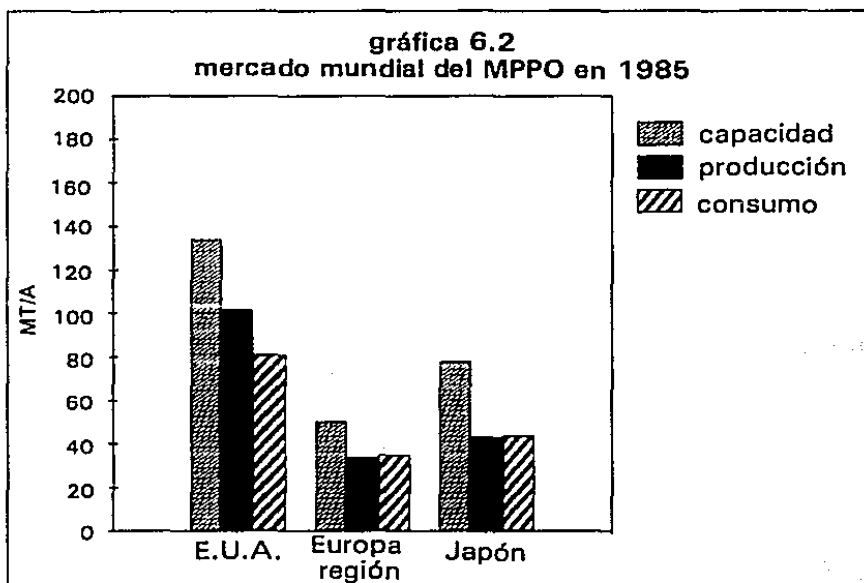
del 24 por ciento. La capacidad total mundial en 1985 alcanzó las 262 mil toneladas.

En 1985 la producción mundial de resinas de MPPO/MPPE, en forma de aleación, fue de 180 mil toneladas. Se estima que en 1995 la producción mundial será de aproximadamente 355 mil toneladas con un ritmo de crecimiento de siete por ciento anual, para los mercados de Estados Unidos, Europa Occidental y Japón.

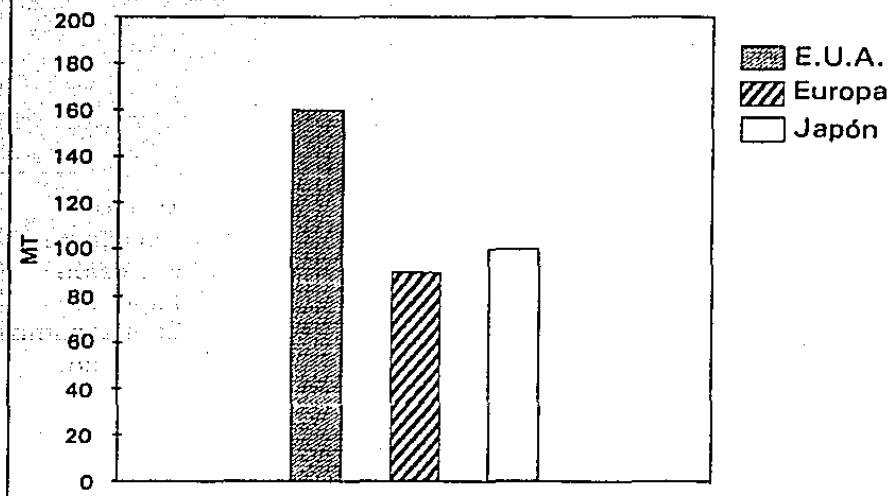
Como ejemplo, en cada uno de los diferentes usos de las resinas MPPO/MPPE en Estados Unidos el crecimiento esperado es el siguiente:

uso	crecimiento hasta 1995 (%)
máquinas de oficina/telecomunicaciones	9
aparatos domésticos	4
eléctrico/electrónico	6
automotriz	5
otros	7
promedio	7

El consumo esperado en cada una de las regiones más importantes se muestra en la gráfica 6.3.



gráfica 6.3
consumo estimado mundial de MPPO/MPPE
en 1995



En la tabla 6.3 se presentan las compañías productoras de resinas MPPO junto con los nombres comerciales con que distribuyen sus productos.

6.4.2 precios

No se tienen los datos de la forma en que se han comportado los precios de óxido de

polifenileno modificado (en forma de aleación) en años anteriores, pero la situación en 1985 en los diferentes grados de la aleación disponibles en el mercado se muestran en la gráfica 6.4. Como puede observarse, la resina en el grado estándar, o de uso general, llega a costar más que otros grados reforzados o modificados.

tabla 6.3. principales productores de resinas de óxido de polifenileno
(enero 1986)

compañía	capacidad (miles de tons.)	región	nombre comercial
general electric co.	125	E.U.A.	noryl
general electric co.	50 ⁽¹⁾	Europa occidental	noryl
engineering gas chemical	50	Japón	noryl
asahi	11	Japón	xyron ⁽²⁾
mitsubishi gas chemical co.	10	Japón	iuplase
borg-warner chemicals, usa.	9 ⁽⁴⁾	E.U.A.	prevex (resinas MPPE)
BASF	---	Europa occidental	luranyl ⁽³⁾

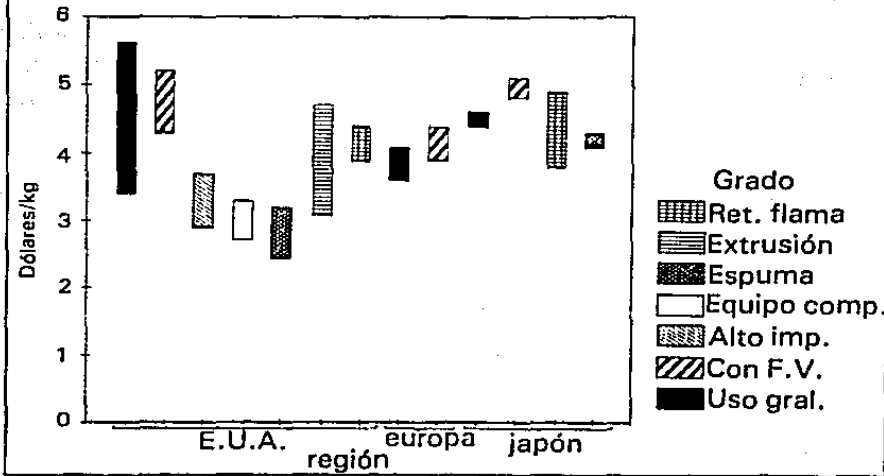
(1) Al parecer se incluye aquí la capacidad de éter de polifenileno.

(2) Asahi tiene planes de aumentar su capacidad a 18 mil t/a.

(3) No especifica si es MPPO, MPPE o una mezcla de ambos.

(4) Borg-warner realiza una expansión de su capacidad a 50 mil t/a, que estaría operando a principios de 1988.

gráfica 6.4
rango de precios en los diferentes
grados de resinas MPPO/MPPE
en 1985



6.3. mercado nacional de las resinas MPPO/MPPE

6.3.1. producción y/o consumo de resinas de polifenileno modificado

Al igual que en los casos anteriores, éstos plásticos de ingeniería no se producen en México ni existen proyectos para producirlos. En 1986 las importaciones de óxido de polifenileno (en forma de resina virgen) fueron menores de 100 toneladas.

6.3.2. materias primas

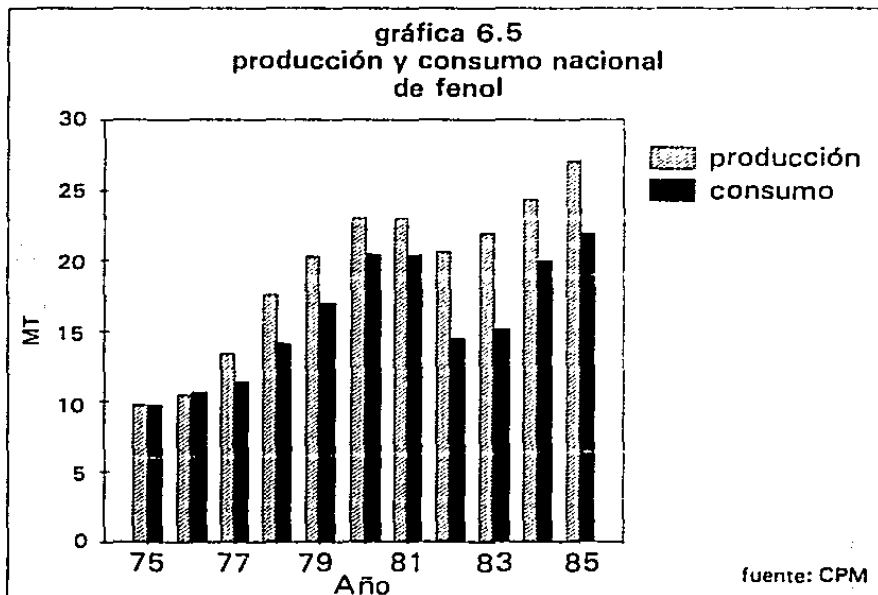
Las materias primas necesarias para producir óxido de polifenileno modificado son el fenol, el anhídrido acético y el metanol. La situación nacional de metanol ya se comen-

tó en los capítulos anteriores (Poliacetales), por lo que ahora se analizará la situación de los restantes.

fenol

Dos empresas en México cuentan con permiso petroquímico para producir, en conjunto hasta 128 mil toneladas anuales de fenol. Una de ellas se encuentra en operación, mientras que la restante es aún un proyecto de 100 mil toneladas anuales.

La producción actual es suficiente para cubrir el consumo interno de fenol, la tasa de crecimiento anual en este renglón, para el período de 1975-1985, fue de siete por ciento y en el periodo de 1980-1985 fue posible exportar los excedentes del consumo nacional. En 1985 se exportaron 5,003 toneladas (18 por ciento de la producción).



Por lo que al proyecto de 100 mil toneladas se refiere, éste se encuentra detenido al parecer la causa es la falta de cumeno (materia prima).

No se conoce la distribución exacta de la demanda de fenol en México, pero se sabe que se utiliza en las siguientes aplicaciones:

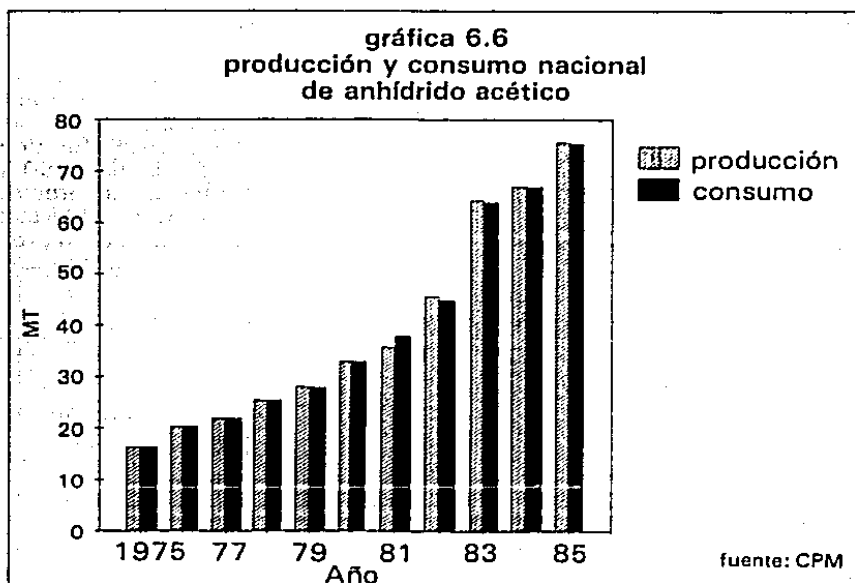
- Producción de resinas sintéticas, denominadas fenólicas, utilizadas en adhesivos, fibra de vidrio, recubrimientos, etc.
- Productos agrícolas e industriales como herbicidas y fungicidas.
- Productos químicos como el bisfenol A, fenoles alquilados, aditivos de hule, nylon, etc.
- Productos farmacéuticos como el ácido acetil salicílico.

anhídrido acético

Dos empresas en México cuentan con permiso petroquímico para elaborar anhídrido acético; para el período 1975-1985 las tasas de crecimiento de la producción de este producto fue del 16 por ciento.

En 1985 la producción de anhídrido acético fue de 75 mil contra una capacidad instalada en conjunto para ambas empresas de 67 mil toneladas. (ver fig. 6.6)

El anhídrido acético se usa principalmente como producto intermedio para producir acetatos de celulosa, vinilo, butiratos y propionatos; una pequeña cantidad se utiliza para producir ácido acetil salicílico y otros productos orgánicos.



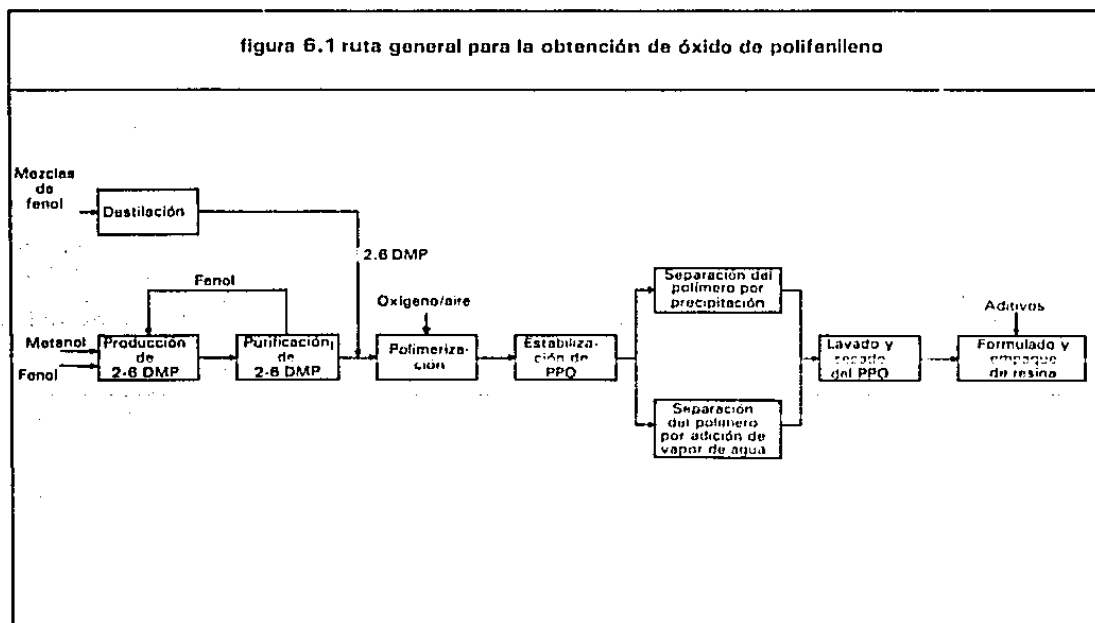
6.4.1. rutas tecnológicas existentes para producir óxido de polifenileno

El óxido de polifenileno (PPO) se obtiene exclusivamente a partir de la oxidación catalítica del 2-6 dimetil fenol (DMP) el cual suele producirse en la misma planta a partir de la alquilación de fenol con metanol (existe el método alternativo para obtener el dimetil fenol por destilación de cortes de mezclas de fenol).

6.4.2. análisis general de la ruta de oxidación

La mayor parte de las patentes tanto para la producción de 2-6 dimetil fenol, así como las existentes para producir el PPO están asignadas a General Electric, aunque recientemente han aparecido varias asignadas a las empresas Asahi Chemical, Mitsubishi Gas Chemical y Mitsui Chemical.

En la figura 6.1. se muestra un diagrama de bloques que presenta los pasos seguidos en la obtención de óxido de polifenileno. En



la primera etapa se produce el DMP, principalmente a partir de la alquilación de fenol en presencia de un catalizador comúnmente hecho en base a óxidos de hierro. En la tabla 6.4 se dan algunas características relevantes de las condiciones de reacción utilizadas.

La pureza de 2-6 DMP requerida en la polimerización es de cuando menos 97.2 por ciento, por lo que el siguiente paso en la obtención del PPO es la purificación de tal compuesto.

Los rendimientos reportados para la reacción de polimerización oscilan entre 90 y 100 por ciento, a temperaturas que van de 25 a 30 °C. El agua formada en la reacción puede formar una segunda fase y algo de catalizador pasa a ésta y la reacción se ve afectada, por lo que algunos agentes deshidratantes tales como el sulfato de magnesio (o en ocasiones mallas moleculares) se suelen agregar a la mezcla de reacción. Recientemente se ha reportado la utilización de una mezcla tolueno-metanol como solvente de la reacción en lugar de utili-

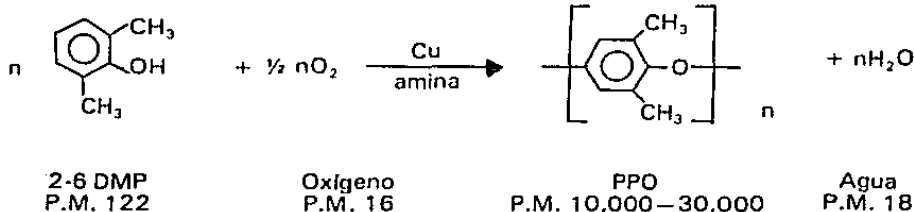
tabla 6.4. condiciones de reacción en la obtención de 2-6 dimetil fenol mediante alquilación de fenol

condición	compañía		
	Asahi	Mitsui	Mitsui
relación metanol/fenol en alimentación	5	5	5
presión (kg/cm ²)	1	1	1
temperatura (°C)	350	355	355
catalizador	mezclas de óxidos de hierro, indio, cromo, silicón y carbonato de potasio.	mezclas de óxidos de hierro y germanio.	mezclas de óxidos de hierro y germanio.
conversión (% de fenol)	100	100	100
selectividad a 2-6 DMP ⁽¹⁾	98.3	96.8	95.2
selectividad a O-cresol ⁽¹⁾	0.9	1.9	3.4

(1) En relación al fenol alimentado 1% en mol

La polimerización se realiza en un sistema formado por el 2-6 DMP, un catalizador y un solvente al que se burbujea el agente oxidante.

Tal como se muestra en la figura 6.1 la polimerización puede realizarse burbujeándose al sistema oxígeno o aire y aunque al parecer el tiempo de reacción es sustancialmente menor si se utiliza oxígeno, el aire también se utiliza en procesos comerciales (Mitsubishi Gas Chemical). La reacción que ocurre es la siguiente:



zar únicamente tolueno (solvente normalmente usado); la principal función del metanol es eliminar o atenuar el efecto nocivo del agua producida.

En la mayoría de las patentes de General Electric, el sistema catalizador se compone comúnmente de sales de cobre y una amina o, alternativamente, una sal de cobre, una amina y un alcohol alifático. En una patente de Sumitomo Chemical, el sistema catalizador está formado por una sal de magnesio junto con una amina o metóxido de

sodio. Cuando el sistema es del primer tipo, se utiliza un ácido, como el ácido acético acuoso para extraer el catalizador cobre-amina. La polimerización puede efectuarse tanto en forma continua como por lotes. Hay varios artículos técnicos que indican que el óxido de polifenileno obtenido en el proceso intermitente tiene una amplia distribución de peso molecular. En cuanto al valor del peso molecular, éste debe ser mayor a 10 mil, siendo el más comercial cercano a 30 mil.

La reacción de unión oxidativa puede terminarse parando el flujo de oxígeno, pero el control del peso molecular logrado de esta forma no es muy bueno. El método aparentemente preferido por General Electric es detener el flujo de oxígeno, reemplazarlo por un flujo de nitrógeno y agregar un agente quelante además de otras especies químicas que reduzcan la reactividad de las moléculas presentes.

Después de realizar la polimerización es común realizar una estabilización del polímero agregando al polímero compuestos, que conviertan los grupos hidroxilo de las cadenas terminales en grupos más estables como acetoxi, uno de los compuestos más utilizados para este fin es el anhídrido acético.

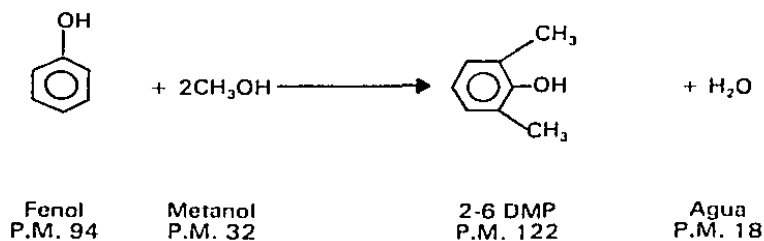
La separación del polímero del solvente de reacción se ha realizado tradicionalmente mediante la precipitación del primero al

caliente como agente de separación para el cual la posterior separación del tolueno es más sencilla con lo que se logra un ahorro considerable de energía. La etapa final en la obtención del PPO es el secado y formulación en la que la resina virgen se mezcla con otros compuestos a fin de mejorar sus propiedades y (en ocasiones) lograr un producto más fácilmente procesable.

A continuación se da la descripción del proceso desarrollado originalmente por General Electric junto con sus consumos unitarios y costos asociados, y a manera de comparación, se dan también los valores correspondientes para el nuevo proceso que utiliza agua en la etapa de separación (que se conoce como proceso de bajo consumo de energía).

6.4.2.1. descripción del proceso para producir óxido de polifenileno

El fenol alimentado junto con el fenol y o-cresol recirculados se vaporizan y mezclan con el metanol vapor, para enviarse al reactor de alquilación en donde se produce el 2-6 dimetil fenol de acuerdo a la siguiente reacción:



agregar un no solvente. El compuesto utilizado como no solvente es el metanol, un problema asociado a la utilización de este compuesto es que su separación del solvente de la reacción (tolueno) se realiza vía destilación y en la realización de esta operación se consume una cantidad apreciable de energía (vapor de calentamiento). Recientemente General Electric desarrolló un método de precipitación que utiliza agua

El reactor consiste esencialmente en un intercambiador de coraza y tubos usando una mezcla de sales fundidas por fuera de los tubos; para proveer el control de la temperatura, dentro de los tubos se efectúa la reacción en presencia de óxido de magnesio como catalizador. La parte superior de los tubos sirve para precalentar la alimentación y la reacción ocurre principalmente en

la porción de tubos abajo de la sección de precalentamiento.

El efluente gaseoso del reactor (principalmente 2-6 dimetil fenol, 2,4,6 trimetil fenol, o-cresol, fenol, agua y un exceso de metanol) se condensa en un enfriador con aire; la mezcla líquida pasa a través de un tanque agitado (no mostrado en el esquema) para ventear una pequeña cantidad de hidrógeno formado en la reacción.

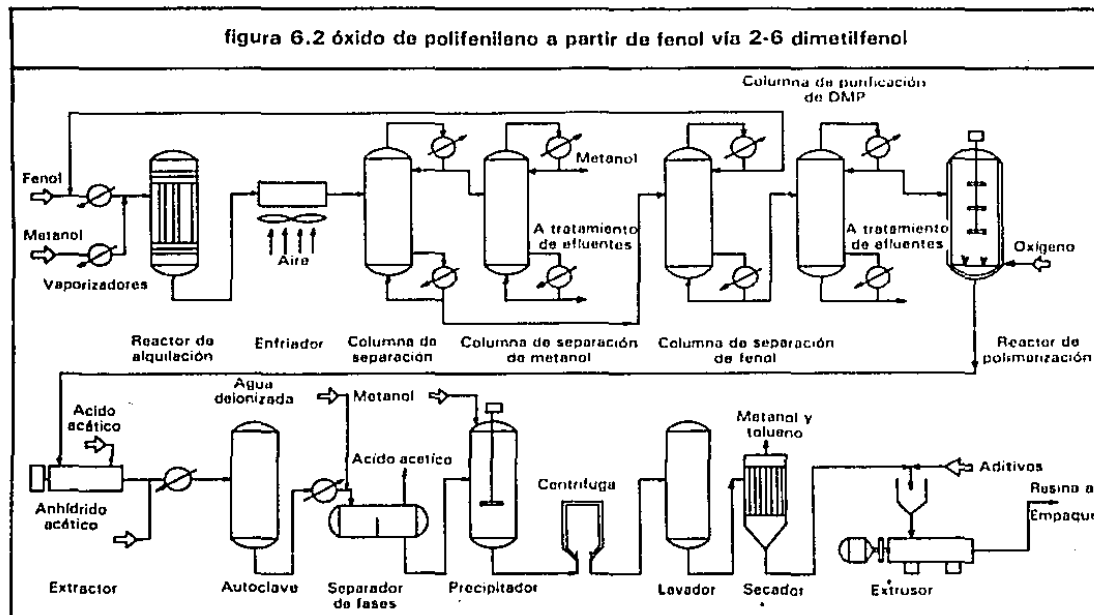
El líquido libre de gases se alimenta a una columna separadora en donde se obtiene por la parte superior una mezcla de metanol-agua-formaldehído, la cual se manda a una segunda columna para purificar el metanol. La corriente de los fondos de la primera torre se alimenta a una columna recuperadora de fenol y o-cresol, a su vez, los fondos de dicha columna se alimentan a una última columna de destilación en la que se purifica el 2-6 dimetil fenol (DMP).

El 2-6 DMP y el solvente (tolueno) se mezclan para alimentarse a los reactores de polimerización en donde se agrega oxígeno gaseoso además del catalizador bromuro de cobre; la temperatura se mantiene a 25°C usando un refrigerante, el tiempo de residencia es de 120 minutos.

La mezcla de reacción se bombea a un recipiente y de allí se pasa a un extractor al que también se alimenta ácido acético acuoso al 20 por ciento, de este reactor salen dos corrientes una de ellas contiene la solución de óxido de polifenileno-tolueno que se envía a la sección de terminado, mientras que la otra corriente (no mostrada en la figura) se neutraliza y decanta para obtener di-n-butilamina y óxido de cobre.

En la sección de terminado la solución de PPO se mezcla con anhídrido acético se calienta y alimenta a un autoclave en donde el anhídrido acético reacciona con los grupos hidróxido terminales del polímero, con lo que se logra mejorar la resistencia del polímero contra la oxidación. La solución que abandona el autoclave se enfría a 37°C y se envía a un recipiente en el que se mezcla con agua desionizada para convertir el anhídrido acético en ácido acético; posteriormente se envía a un separador de fases donde se separa en diferentes capas el ácido acético y la solución de polímero. La solución de polímero se mezcla con metanol para precipitar el polímero, éste se centrifuga, lava y seca, mientras que la mezcla de tolueno-metanol se envía a separación para su recirculación posterior. En la

figura 6.2 óxido de polifenileno a partir de fenol vía 2-6 dimetilfenol



siguiente sección se procesa el PPO en forma de pélets agregándose el poliestireno alto impacto y los aditivos necesarios para obtener el grado deseado de MPPO.

consumos unitarios de materias primas y servicios auxiliares

Los consumos unitarios tanto de materias primas como de servicios auxiliares requeridos en el proceso convencional de obtención de óxido de polifenileno a partir de

fenol vía 2-6 dimetil fenol (mostrado en la figura 6.2), se dan en la tabla 6.5.

A fin de comparar los consumos del proceso convencional con los del proceso de bajo consumo de energía, en la tabla 6.6 se dan los consumos unitarios de ambos procesos, considerando al 2-6 DMP como materia prima de partida; es decir, sin tomar en cuenta la sección en la que se produce este compuesto.

tabla 6.5. consumos unitarios en la producción de PPO

materia prima ⁽¹⁾	consumo por tonelada	servicios auxiliares	consumo por tonelada
fenol	0.8146 tons.	agua de enfriamiento	1,641 m ³
anhídrido acético	0.9067 tons.	vapor	38 tons.
metanol	0.6300 tons.	agua de proceso	4.2 m ³
tolueno	0.0229 tons.	electricidad	1,030 Kwh
oxígeno	0.1338 tons.	gas inerte	4.1 nm ³
Di-n-butilamina	0.1222 tons.		
ácido acético	0.1088 tons.		
sosa cáustica	0.0827 tons.		
subproductos			
Di-n-butilamina cruda	0.1211 tons.		
óxido de cobre	0.0076 tons.		
ácido acético	1.0650 tons.		

⁽¹⁾ No se incluyen los consumos de catalizador, otros químicos y aditivos

tabla 6.6. consumos unitarios en los diferentes procesos existentes para obtener PPO

materia prima ⁽¹⁾	consumo por tonelada	
	proceso convencional	proceso de bajo consumo de energía
2-6 dimetil fenol	0.9485 tons.	0.9484 tons.
anhídrido acético	0.9067 tons.	0.0286 tons.
metanol	0.0068 tons.	0.0126 tons.
tolueno	0.0229 tons.	0.0087 tons.
oxígeno	0.3380 tons.	0.1338 tons.
Di-n-butilamina	0.1222 tons.	0.0094 tons.
ácido acético	0.1088 tons.	-----
sosa cáustica	0.0827 tons.	0.01124 tons.
subproductos		
Di-n-butilamina cruda	0.1211 tons.	-----
óxido de cobre	0.0076 tons.	0.0013 tons.
ácido acético crudo	1.0650 tons.	-----
servicios		
agua de enfriamiento	1,786 m ³	197 m ³
vapor	25 tons.	4.24 tons.
agua de proceso	4.3 m ³	3.95 m ³
electricidad	664 Kwh	543 Kwh
gas inerte	2.1 nm ³	0.36 nm ³

⁽¹⁾ No se incluyen aquí los consumos de catalizador, otros químicos y aditivos.

costos de inversión y producción

Los costos de inversión de una planta para producir PPO mediante el proceso convencional a partir de fenol se muestran en la tabla 6.7, a precios de Junio de 1986.

tabla 6.7 costos de inversión en la obtención de PPO a partir de fenol vía 2-6 DMP

Inversión en millones de dólares	capacidad en miles de toneladas		
	15	25	30
límites de batería	52.0	69.0	71.0
servicios auxiliares	28.0	41.0	47.0
capital fijo total	80.0	110.0	118.0

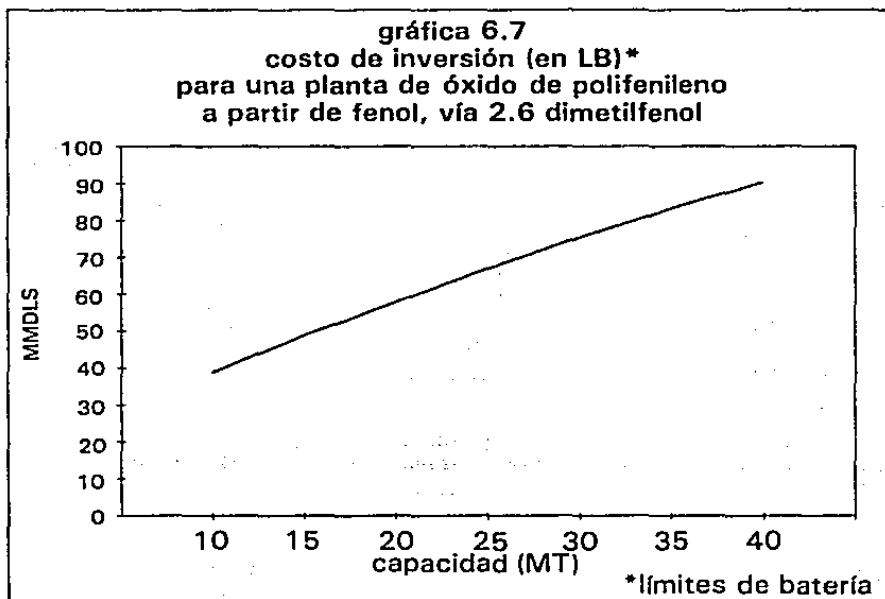
A fin de observar el efecto que sobre la inversión (en límites de batería), tiene el tamaño de la planta, en la gráfica 6.7 se muestra la forma en que varía aquella al modificar dicho tamaño.

De igual forma, en la gráfica 6.8 se muestran los costos de producción como una función del nivel de operación de la planta.

6.4.3 comparación entre los procesos

Además de los procesos convencional y de bajo consumo de energía analizados anteriormente (ambos desarrollados por General Electric), se tiene conocimiento de que Mitsubishi Gas Chemical desarrolló un proceso que fue implementado a escala comercial por Borg-Warner; que aunque presenta algunas diferencias con respecto a los procesos de General Electric, algunas fuentes señalan que los costos de producción asociados a dicho proceso son comparables a los del proceso convencional de esta compañía.

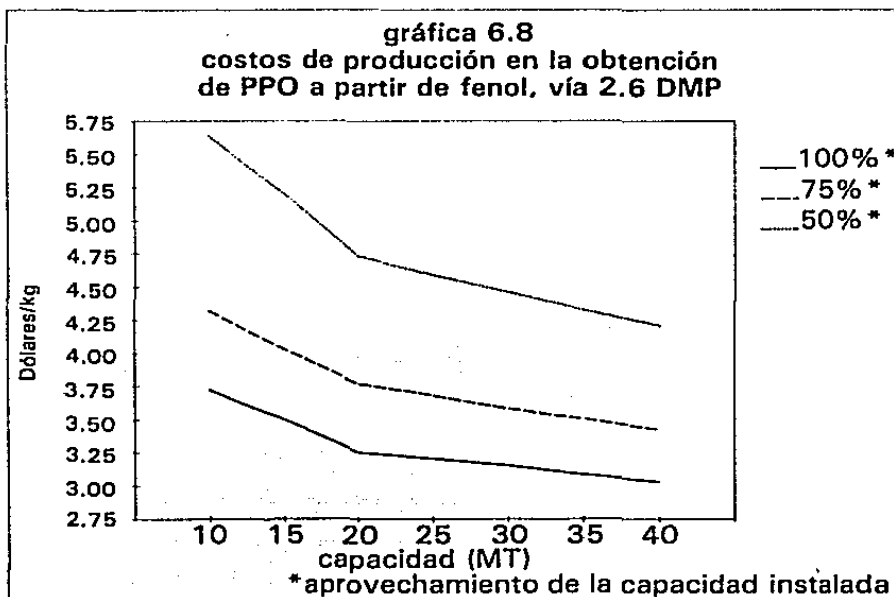
La comparación entre los dos procesos de General Electric muestra que, para una misma capacidad instalada, la inversión requerida en el proceso de bajo consumo de energía es menor en aproximadamente un 17 por ciento con respecto a la requerida para el proceso convencional, mientras que en los costos de producción la diferencia es



cercana al 18 por ciento, también en favor del primero.

En base a lo anterior y debido a que al parecer no existe diferencia significativa por lo

que a las características del producto obtenido se refiere, la mejor opción tecnológica la representa el proceso de bajo consumo de energía de General Electric.



capítulo 7

mezclas y aleaciones

Aunque las mezclas de polímeros (homopolímeros y copolímeros) cubren todavía una pequeña fracción del mercado de los termoplásticos, sus ventas a nivel mundial han experimentado un rápido crecimiento. Las propiedades resultantes de estos materiales los hacen deseables como plásticos de ingeniería, cubriendo aplicaciones que no tienen los plásticos de ingeniería virgen o inclusive sus grados modificados con fibra de vidrio u otros aditivos.

Las mezclas se producen comercialmente por algunas razones: la primera es el deseo de modificar las propiedades de un termoplástico para una aplicación específica; el mezclado de dos polímeros en varias proporciones origina un amplio espectro de combinación de propiedades; si un polímero es menos caro que otro, el usuario paga por no más de una propiedad que se necesita; finalmente, una mezcla puede probarse, optimizarse y comercializarse mucho más rápidamente y con mayor probabilidad de éxito en comparación con un nuevo polímero o copolímero por lo que los costos y riesgos de la investigación y desarrollo son grandemente reducidos.

Como ya se mencionó en el capítulo 1, existen mezclas y aleaciones en donde participan varios plásticos de ingeniería o bien aquellas en donde un plástico de ingeniería se mezcla con otro termoplástico; de cualquier forma las propiedades y precios de las mezclas pueden anticiparse de acuerdo a los materiales que en ella participan, y a la vez, estas características pueden seleccionarse para cada aplicación variando las proporciones de los componentes dando por resultado materiales con buenas relaciones costo/desempeño.

Con respecto a su procesamiento, la mayor parte de los desarrollos en mezclas de polímeros se han realizado para ser trans-

formados mediante moldeo por inyección y extrusión; mucho de este trabajo se ha encaminado a mejorar las propiedades específicas utilizando ingredientes de bajo costo (de acuerdo a los requerimientos del usuario).

Las mezclas se pueden realizar en una sola fase o en dos fases. En las mezclas de dos fases, pequeñas partículas de elastómero (hule) se dispersan en otro polímero (fase continua), dando por resultado mejor resistencia al uso, al calor y al impacto. Cada fase puede componerse de homopolímeros, copolímeros o mezclas de polímeros miscibles; el tamaño y la distribución de las partículas de elastómero es una parte crítica, además de que se requiere una buena adherencia dentro de la estructura. Se ha dirigido un gran esfuerzo hacia lograr la compatibilidad entre polímeros de diferente fase.

En estos materiales, la resistencia al impacto y la temperatura de deflexión varían en forma significativa con la formulación, la procesabilidad y el costo son otras variables importantes. Las propiedades de resistencia a la tensión, dureza, tenacidad y rigidez observan generalmente una variación menor, aunque para ciertas aplicaciones todas ellas deben mantenerse en un determinado nivel. Las mezclas pueden ser modificadas posteriormente mediante la adición de "cargas" con fibras reforzantes que mejoran resistencia o dureza.

No obstante que existen mezclas y aleaciones de plásticos muy especializadas, en esta sección nos referiremos a aquellas que por su volumen de ventas abarcan la mayor parte del mercado, entre ellas están:

- Mezclas de resinas ABS
- Mezclas de policarbonato
- Otras mezclas de importancia

Con respecto a los procesos empleados para la producción de estos materiales, éstos pueden ser combinando los polímeros en forma líquida, en solución o en látex. El proceso más comunmente utilizado es el de forma líquida, en donde existen algunas variaciones, ya que los componentes pueden fundirse separadamente y luego someterse a un mezclado o bien mezclar en frío los pélets o chips y posteriormente fundir la mezcla. En la homogeneización de la mezcla se emplean extrusores para obtener una composición uniforme de la masa fundida.

Para la producción de las mezclas en dos fases, se dispersan uniformemente las partículas sólidas en la fase fundida, poniendo especial atención en evitar el rompimiento de las partículas así como el aglomerado. Otro método para este tipo de mezclas, consiste en la formación de partículas dentro del seno del fundido durante el proceso de mezclado, en este proceso se debe controlar estrictamente el enfriamiento y la cristalización.

No existen limitaciones para la manufactura de mezclas de cuatro o más componentes, las cuales pueden realizarse mezclando todos los termoplásticos de una vez; sin embargo, la mayoría de las ocasiones, las

mezclas se producen preparando una mezcla intermedia para después realizar la mezcla final.

7.1.1. usos y aplicaciones

Las mezclas han penetrado mercados de homopolímeros y copolímeros en un amplio frente. Casi todos los segmentos de este mercado tienen algunas aplicaciones que requieren un mejoramiento en algunas propiedades, lo cual puede ser logrado con mezclas.

Un gran mercado, invadido agresivamente por los fabricantes de mezclas, es el de los automóviles, en donde las aplicaciones potenciales incluyen cuerpos de paneles exteriores, defensas, tableros de instrumentos y paneles interiores especialmente para camionetas. La habilidad para soportar pintura y resistir temperaturas de horneado son propiedades importantes en estas aplicaciones, aunque algunas otras de importancia son: propiedades estables a bajas temperaturas, resistencia a solventes como gasolina o líquido para frenos, facilidad para ser electroplateados, resistencia a altas temperaturas y retardancia a la flama.

El mercado actual de mezclas de termoplásticos es todavía pequeño, pero es una porción con rápido crecimiento del mercado total de plásticos. Día a día se están desarrollando nuevas variaciones en cuanto a componentes se refiere y sobre todo nuevos grados, ampliando la utilización de otro tipo de materiales como rellenos y reforzantes; actualmente, muchos polímeros comerciales son mezclas de homopolímeros y/o copolímeros aunque no se identifican como tales.

7.2.1. desarrollo y marco productivo actual

Las estadísticas de mercado para este tipo de productos son difíciles de reunir, debido a que los datos publicados son ambiguos, puesto que pueden caer dentro de los siguientes grupos: las mezclas que son hechas por grandes productores de sus propios polímeros, son muy a menudo reportadas bajo la categoría del polímero mayor como si fueran homopolímeros, por lo que la producción de ese polímero está exagerada por la cantidad de polímero de mezcla que se agregó. Existen polímeros reportados por su productor y vendidos a otro productor para fabricación de la mezcla, la contabilidad de este producto se realiza dos veces, sin embargo, las mezclas realizadas por el grupo de mezcladores algunas veces no se reportan como productos primarios.

Por regiones, el mayor número de datos se tiene para el mercado de Estados Unidos, cuya producción de plásticos para 1983 fue de 14.5 millones de toneladas tanto homopolímeros como copolímeros. La cifra reportada como mezclas fue de 1.4 millones de toneladas y en adición, cerca de 1.6 millones de toneladas se usaron en la manufactura de plásticos con rellenos y alre-

dedor de 0.6 millones de toneladas se utilizaron para plásticos reforzados. Del total empleado para mezclas, cerca del 90 por ciento fueron mezclas de polietileno y PVC, poliestireno de alto impacto y resinas ABS y sólo 157 mil toneladas pueden ser clasificadas como del tipo de mezclas termoplásticas consideradas en este trabajo. Durante 1985, las estimaciones consideran una producción de mezclas termoplásticas de entre 3.2 y 4.1 millones de toneladas con un crecimiento probable del 17 por ciento hasta 1990.

Con mucho margen de diferencia, la mezcla líder con casi la mitad del valor de ventas en Estados Unidos es la mezcla de óxido de fenileno y poliestireno (MPPO, ya considerada en un capítulo de este trabajo), en orden de importancia le siguen las mezclas de nylon modificado, mezclas de ABS y PVC, mezclas de policarbonatos y mezclas de poliésteres.

7.2.2. productores de mezclas

Los productores de mezclas termoplásticas caen en dos categorías:

- a) Productores mayores de resinas quienes extienden el grado de propiedades de sus productos por medio de mezclas. Ellos compran resinas para mezclado de otros productores cuando es necesario, pero prefieren hacer mezclas que contengan una alta proporción de su producto.
- b) Productores independientes que no tienen abastecimiento cautivo de materias primas termoplásticas, todos los materiales son comprados. Estos mezcladores trabajan con rellenos, plastificantes, materiales de refuerzo y otros aditivos

para satisfacer las necesidades del cliente. Históricamente han prosperado debido a que han desarrollado grados en menor escala que los grandes productores no pueden satisfacer.

Algunos productores líderes en el mundo de mezclas termoplásticas se enlistan en la tabla 7.1, algunas de estas mezclas están hechas por los grandes productores de materias primas de la mezcla.

tabla 7.1. productores líderes de mezclas termoplásticas

compañía	nombre comercial	componentes
arco	arloy 1000	PC/SMA
BASF	triblend skr 2861	PC/ASA
borg-warner	proloy, cycolac	ABS/PC
	cycovin	ABS/PVC
	prevex	PPO/HIPS
	celanex	PBT/PET
celanese	celanex	PBT modificado
comalloy	duralloy 2100	
	hiloy, tempalloy, comtuf	(varios)
DOW	pulse	PC/ABS
du pont	rynite SST	PET modificado
GAF	gafite	PBT modificado
general electric	xenoy	PC/ABS
	lexan EM	PC/PE
	noryl	PPO/HIPS
	valox 815	PBT/PET
		PBT modificado
		PC/PBT
		PC/copolíesteres
		PC/ABS
		PC/poliéster
		PVC/ABS
idemitsu petrochemical	xenoy 3000	PC/ABS
	taflon SC-250	PC/poliéster
	taflon SC-300, SC-500	PC/ABS
	-----	PC/ABS
JSR	bayblend	PC/poliéster
mobay	merlon T-70	PC/PET
	makroblend	PET modificado
	petlon	PC/PBT
	makrolon KL-1176/2	PVC/ABS
monsanto	-----	ABS/SMAMM
	cadon	nylon/ABS
occidental chemical	triax	PC/PVC
	-----	PVC/acrílico
	kydex	ABS/PVC
roh & haas	polyman	ionomero modificado
A. Schulman	-----	PVC/acrílico
sumitomo corp.	DKE 450	PSFI
	sumiplloy	
teijin chemical	multilon T-2000, MK 1000	PC/ABS
	multilon AM-1000	PC/MBS
	multilon AM 9000 series	
	multilon AM 9000 series	PC/PET
	-----	PC/PBT
	-----	PC/PET
thermofil	-----	PET/PSF
union carbide	-----	ABS/PSF
	mindel A	SAN/PSF
uniroyal	ucardel P-4174	ABS/PSF
	arylon-T*	

* Vendido a union carbide; ahora es mindel A.

No se incluyen: mezclas de hules, elastómeros termoplásticos, ni poliuretanos.

PRECIOS. Los precios típicos de algunas mezclas se dan en la tabla 7.2; aunque los precios varían considerablemente, los factores más importantes en ellos son la composición de la mezcla y el tamaño del lote. En general se puede decir que los grados coloreados, retardantes a la flama, grados

con aplicaciones en alimentos, grados de alto impacto y los grados "alta temperatura" son los más caros; en cuanto a los precios de los grados rellenos o reforzados pueden ser más altos o más bajos dependiendo del costo del aditivo.

tabla 7.2. precios de mezclas comerciales (junio 1986)

nombre comercial	material	productor	precio (dls/kg)
acryloid	MBS	rohms & haas	2.53 - 3.06
arloy	PC/SMA	arco chemical	2.79 - 3.08
bayblend	PC/ABS	mobay	3.21
cadon	ABS/SMAMM	monsanto	2.53 - 2.68
cycolac	PVC/ABS	borg-warner	2.00 - 2.64
dilark	S/copolímero MA	arco chemical	1.69 - 2.09
noryl	PPO/HIPS	general electric	3.35
pocán	PBT-impacto modificado	mobay	3.48 - 4.16
prevex	copolímero PPO/HIPS	borg-warner	4.12 - 4.16
pulse	PC/ABS	dow chemical	2.55 - 3.28
robrel	resina ABS	dow chemical	3.41 - 3.63
triax	nylon/ABS	monsanto	3.74 - 3.85
valox	PET/PBT, frecuentemente reforzado con fibra de vidrio.		3.43
xenoy	PC/PET: PC/PBT	general electric	4.07 - 4.40

La estructura del polímero, el peso molecular y su distribución son los factores básicos que determinan sus propiedades; en las mezclas se puede lograr un balance adecuado entre las propiedades deseadas para una aplicación particular. Las propiedades que son frecuentemente modificadas incluyen:

- Resistencia al impacto, a la tensión y al calor
- Procesabilidad
- Resistencia química
- Dureza
- Rigidez
- Retardancia a la flama

Los componentes de las mezclas pueden ser completamente miscibles con otros, pueden ser inmiscibles, o bien pueden ser parcialmente miscibles; en los dos últimos casos se forman dos fases en la mezcla líquida, muy a menudo, cada fase es una mezcla de dos o más polímeros.

7.3.1 mezclas miscibles

Estas mezclas también se denominan aleaciones de polímeros, aunque este término puede ser confuso, más que nada porque el concepto "aleación" se ha usado ampliamente en la industria metalúrgica para definir a la unión de dos metales que han co-cristalizado; son raros los plásticos que pueden alcanzar este comportamiento.

Las cadenas de polímeros similares pueden formar mezclas miscibles, las cuales han permanecido en la tecnología de polímeros y en un sentido estricto casi todos los polímeros comerciales son mezclas de diferentes especies moleculares; aun los homopolímeros tienen cadenas de diferentes pesos moleculares y sus propiedades varían con la distribución del peso molecular.

Una mezcla de dos componentes miscibles tiene una sola temperatura de transición al vidrio (T_g), que es intermedia entre la de cada componente individual. Este parámetro marca la transición de un polímero de un estado de vidrio al estado plástico y puede emplearse para medir en cierto grado la miscibilidad de los componentes, aunque si éstos tienen las mismas T_g entonces no se pueden sacar conclusiones.

7.3.2 mezclas inmiscibles y parcialmente miscibles

Las mezclas heterogéneas son hechas de polímeros inmiscibles que se agregan en distintas fases (continua y dispersa), cada una de ellas con una T_g idéntica a la de los componentes individuales; en muchos casos los componentes son parcialmente miscibles y las temperaturas de transición al vidrio pueden cambiar de la cercanía a la T_g de un componente individual a la T_g del otro.

Las mezclas inmiscibles tienden a separarse en dos fases, aunque en estado sólido este proceso es muy lento; si las dos fases se adhieren en forma estable, la mezcla se puede llamar compatible, aunque éste no es un término precisamente definido. Las mezclas compatibles de dos fases poseen buenas propiedades, las mezclas comerciales más usuales son de este tipo.

Por otro lado, a las mezclas de dos fases incompatibles les falta resistencia mecánica y poseen una apariencia estriada, por lo que su utilidad es limitada. Algunos investigadores han descubierto que la adición de un tercer componente que posea cierta misci-

bilidad con cada fase, a veces puede mejorar la resistencia interfacial y de esta forma compatibilizar la mezcla, en otras palabras, el compatibilizador mantiene la mezcla unida.

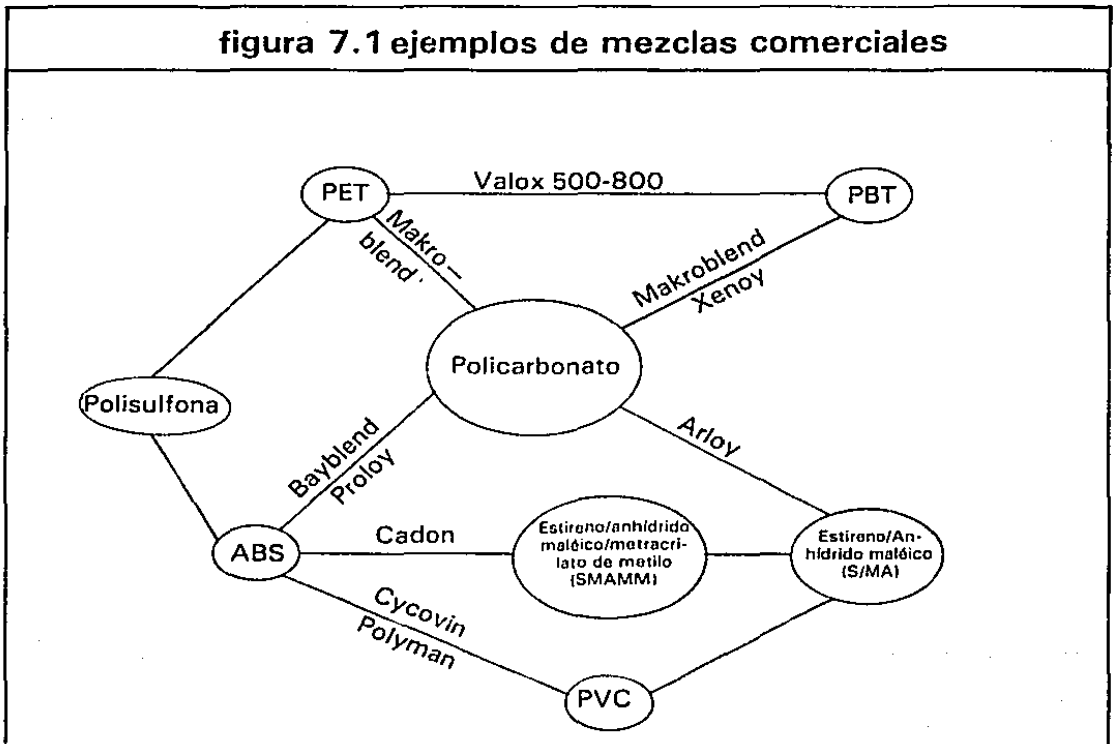
En general, se están destinando muchos recursos en I y D para producir mezclas miscibles de componentes incompatibles, frecuentemente se alcanza el éxito por medio de la adición de un agente estabilizador apropiado.

La siguiente figura muestra una variedad de mezclas comerciales, la mayoría de las cuales son de dos fases.

Este tipo de mezclas consisten en una fase continua (matriz de polímero) y una fase sólida dispersa, si las dos fases se adhieren bien una a la otra son llamadas compatibles, aunque también pueden coexistir dos fases continuas formando redes de polímero interpenetrado.

Las propiedades mecánicas de una mezcla de dos fases depende grandemente de las características de la interfase, dado que ellas por ejemplo determinan la forma en que se distribuyen y transfieren los esfuerzos de una fase a otra. El área interfacial y la fuerza del enlace interfacial se ven afectadas por la forma en que fue hecha la mezcla de polímeros.

figura 7.1 ejemplos de mezclas comerciales



El ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno) es una de las mezclas comerciales más antiguas de polímero multifase, consiste en una dispersión de partículas elastoméricas de polibutadieno en un copolímero rígido de estireno y acrilonitrilo; éste material se utiliza ampliamente debido a su compatibilidad, su rango de propiedades y su precio relativamente bajo. Su relación costo/desempeño se encuentra entre el de las resinas de gran volumen y otros termoplásticos de ingeniería.

Las resinas ABS modificadas están hechas por un componente adicional a las tres iniciales, frecuentemente contienen metilmetacrilato (MMA), anhídrido maléico (MA), estirenos sustituidos y otros sustratos ahulados.

Las propiedades físicas, químicas y mecánicas de las resinas ABS dependen de los siguientes parámetros:

- Peso molecular y su distribución, tanto de las cadenas de polímero individual como de las cadenas del copolímero.
- Tamaño y distribución de las partículas de hule.
- Proporciones de acrilonitrilo, butadieno y estireno en cada una de las dos fases del polímero.
- Grado de injertado de copolímero SAN sobre las partículas de hule.
- Grado de adhesión entre las partículas de hule y la matriz vítrea.
- Adición de modificadores a una o ambas fases.

La estructura de esta resina está estrechamente relacionada con la forma en que el polímero se produce, aunque hasta la fecha no se ha encontrado una relación causa-efecto entre las propiedades y las condiciones de reacción.

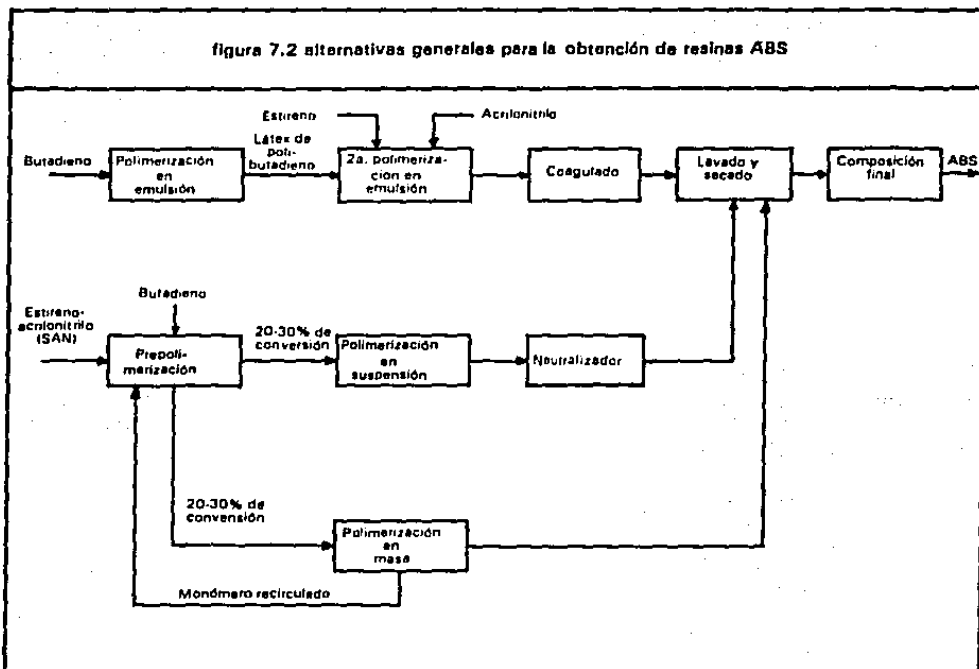
La producción de este tipo de materiales puede decirse que es una ciencia y un arte; los procedimientos de manufactura y las formulaciones son de carácter confidencial y aunque las patentes citan formulaciones generales, se carece a menudo de detalles importantes.

Las técnicas de producción de ABS son múltiples y están en función de las propiedades que se deseen del material final; puesto que en esta sección se tratarán básicamente las mezclas de ABS, no se analizará ninguna técnica de manufactura del polímero ABS, aunque de forma general algunas de ellas se pueden ver en la figura 7.2.

7.4.1. mezclas de ABS y PVC

Las mezclas de ABS/PVC presentan las ventajas de los polímeros que la integran, poseen buena rigidez, resistencia al impacto y tenacidad; en ellas el ABS contribuye al brillo, a la resistencia química y a la facilidad del proceso en tanto que el PVC contribuye de mejor forma a la resistencia a la flama. Las características que aporta el ABS van sin debilitar la mezcla final como sucede con otros plastificantes; por ejemplo en un lapso de 12 horas, el ABS incrementa la resistencia al impacto y la temperatura de ablandamiento del PVC rígido. La amplia variación en las propiedades de las mezclas ABS/PVC, se atribuye a las diferencias en la formulación del ABS, en donde las proporciones de acrilonitrilo, butadieno o estireno pueden cambiar, incluso cualquiera de ellos puede ser desplazado en parte por un compuesto similar.

Cuando se usa alfa-metilestireno en sustitución de algo o todo el estireno incremen-



ta la temperatura de deflexión de la mezcla ABS/PVC, el estabilizador en la mayoría de las mezclas con PVC es un compuesto de estaño.

Cuando en la resina ABS se ha sustituido el acrilonitrilo por metilmetacrilato (resina MBS), se utiliza preferencialmente como modificador de impacto para el PVC y para el policarbonato. Esta resina MBS se prepara

por medio de varias etapas de polimerización para maximizar la resistencia al impacto; en forma de polímero de dos fases, la resistencia al impacto se incrementa debido a los enlaces transversales entre las fases.

La tabla 7.3 presenta las propiedades de algunas mezclas comerciales PVC/ABS con sus productores comerciales.

tabla 7.3. propiedades seleccionadas de mezclas comerciales de ABS/PVC

nombre comercial	empresa	resistencia a tensión (kg/cm ²)	resistencia a impacto Izod muestra de 0.317 cm (J/m)	módulo de tensión (kg/cm ²)	módulo de flexión (kg/cm ²)	resistencia a flexión (kg/cm ²)	dureza rock well (R)	temperatura de deflexión a 18.5 kg/cm ² (°C)
Cycovin K1	Borg-Warner	407.87	560.49	23,208	23,909	67,510	100	.....
Cycovin K-29	Borg-Warner	407.87	348.97	23,208	23,909	72,433	89	90.55
Cycolac K-20	Borg-Warner	302.39	427.04	22,503	23,208	55,555	95	72.22
Cycolac K-25	Borg-Warner	388.77	640.68	21,800	.....	70,323	103	72.22
Cycolac K-29	Borg-Warner	421.94	348.97	.....	.....	72,433	100	78.44
Polyman 507	A. Schulman	428.97	427.04	.....	.....	84,897	103	85
Polyman 508	A. Schulman	492.26	106.76	28,129	28,832	35,161	105	88.88
Polyman 511	A. Schulman	492.26	106.14	.....	.....	.....	110	90.55
Lustran 880	Monsanto	484.13	277.57	27,426	26,722	77,365	110	72.22
Lustran 885	Monsanto	478.19	348.97	28,832	22,503	64,899	107	80
JSR NC 100	Japan Synthetic Rubber	457.10	.....	.....	28,019	78,059	103	75
JSR NC 120	Japan Synthetic Rubber	417.16	.....	.....	28,129	76,652	108	78.11
JSR NC 150	Japan Synthetic Rubber	450.00	.....	.....	28,722	73,839	105	78.11
JSR NF 84	Japan Synthetic Rubber	428.97	.....	.....	28,019	71,028	105	72.22

7.4.2. mezclas de ABS y copolímeros de anhídrido maléico

El anhídrido maléico se usa en gran número de copolímeros que se mezclan con ABS, el más común es el formado con estireno

Los grados de SMA reforzados con hule pueden considerarse como resinas ABS en las que el acrilonitrilo se ha sustituido por MA; sin el sustrato ahulado la resistencia al impacto se ve limitada.

En la tabla 7.4 se muestran algunas propiedades de la mezcla comercial ABS/SMA distribuida con el nombre comercial MA-LECCA.

tabla 7.4. propiedades seleccionadas de mezclas comerciales de ABS/copolímeros del anhídrido maléico

nombre comercial	empresa	resistencia a tensión (kg/cm ²)	resistencia a impacto Izod muestra de 0.317 cm (J/m)	módulo de tensión (kg/cm ²)	módulo de flexión (kg/cm ²)	resistencia a flexión (kg/cm ²)	dureza rock well (R)	temperatura de deflexión 18.5 kg/cm ² (°C)
Malecca K-500Z	Denki	.....	89.39	.....	16.877	54.852	112	122.77
Malecca K-600	Denki	.....	117.43	.....	21.800	75.246	117	131.11
Malecca K-600-LG	Denki	.....	128.11	.....	18.284	64.697	114	133.88
Malecca K-700	Denki	.....	80.07	.....	25.316	80.168	120	145
Malecca K-700-LG	Denki	.....	96.08	.....	21.097	68.213	117	145

(SMA), en donde la presencia del anhídrido incrementa la resistencia al calor del homopolímero de estireno y éste copolímero a menudo se injerta con hule para mejorar su resistencia al impacto.

Las resinas SMA son compatibles con el ABS y sus mezclas tienen una alta temperatura de deflexión, buena resistencia a solventes y una resistencia al impacto tan alta como el ABS sin mezclar; sin embargo estas mezclas resisten menos a altas temperaturas que los componentes individuales.

Los polímeros comerciales de anhídrido maléico (MA) y estireno contienen 4-16 por ciento de MA, pero para mezclado se pueden usar SMA con mucho mayor contenido de MA, incluso algunos derivados del SMA se han desarrollado específicamente para mezclas con ABS y no pueden usarse en forma individual.

Las resinas de MA presentan especial interés debido a la alta reactividad de los grupos anhídrido unidos a la cadena principal, las reacciones de hidrólisis, esterificación, imidización y enlazamiento cruzado modifican las propiedades. Existen compañías que venden resinas SMA parcialmente esterificadas con peso molecular entre 1,500 y 50 mil; otras más ofrecen esta resina con alto peso molecular, modificados al impacto con un sustrato elastomérico, etc.

7.4.3. copolímeros imidados SMA, terpolímeros SAMA y SMAMM

El grupo anhídrido de la molécula de SMA puede ser imidado por medio de la reacción con una amina o amoniaco; la imidación puede hacerse sobre un monómero de anhídrido maléico. Las mezclas de ABS con copolímero estireno/maleimida son resistentes a la degradación a temperaturas de moldeo, presentan una alta temperatura de deflexión, una gran resistencia al impacto y una buena resistencia a solventes.

Los copolímeros de acrilonitrilo con estireno/anhídrido maléico se denominan terpolímeros SAMA, los cuales pueden hacerse por un proceso en solución o en masa y cuya composición típica es 71/17/12 de acrilonitrilo, estireno y anhídrido maléico respectivamente. Este terpolímero ha sido objeto de recientes desarrollos, uno de ellos consiste en formar una mezcla con 40 por ciento de policarbonato y 30 por ciento de ABS. La resistencia al impacto de la mezcla fue sustancialmente mejorada por la presencia del acrilonitrilo.

Los terpolímeros SMAMM, resultantes de la unión entre el copolímero estireno anhídrido maléico (SMA) con metilmetacrilato (MMA), también se han utilizado para formar mezclas con el ABS o sus derivados, que presentan temperaturas de deflexión relativamente altas. Por ejemplo una mezcla formada por 50 partes de SMAMM (63.5/22.5/14) con 30 partes de ABS (40 por ciento de polibutadieno), 9.2 partes de otro ABS (14 por ciento de polibutadieno) y 10.8 de un copolímero de acrilonitrilo-metil estireno (72/28) presentó una temperatura de deflexión de 115°C y una resistencia al impacto Izod ranurado de 1.2 lb/ft/in. Comercialmente las mezclas SMAMM-ABS se distribuyen por Monsanto con el nombre CADON, estas resinas tienen un buen balance entre las propiedades resistencia al calor, impacto y química, así como buen flujo para inyección y rigidez (tabla 7.5).

calor del PC con la procesabilidad de los compuestos estirénicos menos caros.

Las mezclas ABS/poliésteres son otro ejemplo de mezclas ABS en desarrollo. En éstas se intenta eliminar algunas de las desventajas presentadas por los poliésteres particularmente el polibutiléneftalato (PBT) además de reducir el precio del producto. Como se mencionó en el capítulo cinco el PBT es una resina semicristalina con buena resistencia, excelente moldeabilidad y sobresaliente resistencia química; sin embargo, su dureza superficial no es mayor de la del poliestireno, además su resistencia al impacto y su temperatura de deflexión son relativamente bajas. Estos inconvenientes pueden salvarse al agregar al PBT cantidades que van de 23-50 por ciento de ABS.

Otros desarrollos recientes incluyen a las

tabla 7.5. propiedades seleccionadas de mezclas de ABS/SMAMM

nombre comercial	empresa	resistencia a tensión (kg/cm ²)	resistencia a impacto izod muestra de 0.317 cm (J/m)	módulo de tensión (kg/cm ²)	módulo de flexión (kg/cm ²)	resistencia a flexión (kg/cm ²)	dureza rockwell (R)	temperatura de deflexión a 18.6 kg/cm ² (°C)
Cadon 127	Monsanto	351.61	293.59	21,800	23,909	69,071	109	112.77
Cadon 135 PG	Monsanto	337.55	197.50	23,208	21,800	56,258	102	107.22
Cadon 140	Monsanto	407.87	154.80	24,813	25,316	80,807	109	102.22
Cadon 152	Monsanto	386.77	168.83	24,813	25,316	73,839	109	103.88
Cadon 160	Monsanto	421.94	266.90	24,813	22,503	63,291	109	102.22
Cadon 161	Monsanto	337.55	213.52	22,503	21,800	61,884	-----	102.77
Cadon 171	Monsanto	372.71	282.91	23,208	22,503	67,510	107	98.33
Cadon FRN	Monsanto	316.45	160.14	21,800	21,097	53,445	-----	82.22
Cadon FRX	Monsanto	316.45	-----	18,947	19,890	56,258	85	102.77

7.4.4. otras mezclas de ABS

Existen otras mezclas en las que intervienen el ABS, que se encuentran en desarrollo y que hasta el momento su comercialización ha sido limitada. Una de estas es la mezcla de policarbonato (PC), ABS y SMA modificado, que en diferentes composiciones han desarrollado las siguientes empresas:

empresa	composición de la mezcla
bayer	40/24/36 (pc/abs/sama)
monsanto	40/30/30 (pc/abs/smamm)

Estas mezclas terciarias han sido desarrolladas en un intento de balancear las propiedades de alto impacto y resistencia al

mezclas de ABS-nylon y ABS-PPO (óxido de polifenileno tratado ya en el capítulo anterior). En el caso de la primera, al parecer es necesario adicionar acrilamida para compatibilizar ambos compuestos.

Se sabe que Borg-Warner intenta producir mezclas ABS-Nylon para su aplicación en la fabricación de cuerpos de paneles de automóviles. Por lo que a las mezclas ABS-PPO se refiere, éstas tienen como fin aumentar la resistencia a solventes presentada por el óxido de polifenileno modificado con estireno, al sustituir este último por SAN (estireno/acrilonitrilo) o ABS. Sin embargo, la mezcla no es compatible ya que el producto resulta con una resistencia al impacto y unas propiedades mecánicas más pobres que el PPO original, para lograr una mezcla compatible se requiere partir de un PPO altamente injertado con estireno y acrilonitrilo.

En el capítulo cuatro de este trabajo se mencionaron ya las principales características del policarbonato que lo hacen ser uno de los plásticos de ingeniería más importantes. Sin embargo, esta resina presenta algunas deficiencias entre las que se incluyen las siguientes:

- Dificultad en el procesado a causa de la viscosidad del producto fundido.
- Pérdida de la resistencia al impacto a temperaturas altas.
- Susceptibilidad a rompimiento particularmente en presencia de solventes orgánicos tales como la gasolina.
- Reducción de la resistencia al impacto a bajas temperaturas.
- Un costo relativamente alto (alrededor de 3.5 dólares/kg).

Algunas de estas deficiencias se disminuyen mediante el uso de copolímeros o aditivos, varias familias de mezclas se han desarrollado para salvar los inconvenientes presentados por el policarbonato, manteniendo a la vez las bondades originales del mismo. A continuación se presentan las que más aceptación han logrado.

7.5.1. mezclas de policarbonato y ABS.

Borg-Warner, empresa líder en la producción de resinas ABS, fue la primera empresa que lanzó a la venta en Estados Unidos las mezclas PC/ABS en 1964; mientras que en Alemania esto sucedió hasta 1977 cuando Bayer, (a través de su empresa subsidiaria Mobay) obtuvo licencia de Borg-Warner para introducir la mezcla bajo el nombre comercial de BAYBLEND. Borg-

Warner distribuía su producto con el nombre de CYCLOLOY, aunque en 1985 reintrodujo una nueva serie de mezclas PC/ABS que denominó PROLOY.

Las mezclas de Mobay tienen altos contenidos de PC, mientras que en las de Borg-Warner el producto predominante es el ABS. En 1982 las ventas mundiales de mezclas PC/ABS excedieron las 10 mil toneladas incluyendo grados reforzados; el crecimiento promedio anual para el periodo 1983-1986 ha sido cercano al 13 por ciento.

Como se mencionó en la sección anterior de este mismo capítulo, las resinas ABS están formadas por una estructura de copolímeros acrilonitrilo-estireno, en la que se dispersa el polibutadieno; la estructura está fuertemente unida a este sustrato y resulta mecánicamente compatible con el policarbonato, aunque no son miscibles. Las propiedades de la mezcla resultante son intermedias entre las del ABS y PC original, el acrilonitrilo confiere un mayor grado de resistencia química y a los solventes, el sustrato de polibutadieno del ABS hace aumentar la tenacidad del PC.

En general, las propiedades de la mezcla dependen de las cantidades relativas de los componentes agregados, así como de las características del ABS utilizado. Por lo que a las proporciones del PC/ABS utilizadas se refiere, dado que el PC es el componente más caro y es además el que incrementa la resistencia al impacto, el costo de la mezcla se incrementa con el aumento de esta propiedad. Lo más común, es que se fabriquen mezclas en las que el contenido de PC sea el mínimo necesario para obtener el valor de resistencia al impacto requerido por un cliente dado, aunque las principales mezclas PC/ABS comerciales contienen entre 65 y 85 por ciento de PC. En cuanto a las características del ABS (butadieno, acri-

lonitrilo y estireno), son parcial o totalmente sustituidos por otros compuestos; por ejemplo, el estireno puede reemplazarse por alfa-metilestireno y el acrilonitrilo por el metacrilato de metilo, en ambos casos se busca aumentar la temperatura de deflexión. También el butadieno ha sido reemplazado por otros elastómeros en el ABS, los productos más utilizados para este fin son el hule del dímero propileno-etileno (EPDM) y el butilacrilato. Algunos ejemplos de mezclas comerciales en las que el butadieno se ha sustituido por estos compuestos son los siguientes:

nombre comercial	empresa	sustituyente del butadieno utilizado
roval	dow chemical	hule epdm
luan	basf	butilacrilato
vitrax	hitachi	butilacrilato
geloy	general electric	butilacrilato

Dado que las mezclas que utilizan resinas ABS modificadas resultan más caras que las que utilizan ABS sin modificar, tales mezclas se producen en menor cantidad.

Otras mezclas de PC con derivados del ABS incluyen la ofrecida por la empresa ARCO bajo el nombre comercial de ARLOY, el derivado del ABS utilizado en este producto es el copolímero estireno/anhidrido maléico (92/8) junto con algunos aditivos complementarios. La mezcla resultante presenta mejoras en algunas propiedades mecánicas con respecto a las PC/ABS normales. Un producto similar al ARLOY de ARCO es el distribuido por la compañía DAINIPPON INK con el nombre comercial RYULEX. En la tabla 7.6 se muestran algunas propiedades de varias mezclas comerciales del PC con ABS y sus principales derivados.

7.5.2. mezcla de policarbonato y poliésteres

Los poliésteres utilizados en la elaboración de mezclas con PC son, principalmente el PET y PBT (tratados en el capítulo cinco); el objetivo buscado al realizar las mezclas PC con éstos y otros poliésteres, es aumentar la resistencia química y a solventes presentada por el policarbonato virgen. El costo de la mezcla PC/PET resulta más bajo que el PC, pero en la mezcla PC/PBT no hay un ahorro apreciable ya que el precio de la resina PBT tiene un precio comparable al PC.

Las mezclas de policarbonato con poliésteres, a menos de que sean estabilizadas, pueden experimentar un intercambio éster-carbonato formándose un copolímero con propiedades físicas disminuidas.

Algunos ejemplos de mezclas PC/poliésteres comerciales junto con sus propiedades, nombres comerciales y empresas productoras se muestran en la tabla 7.7.

Algunas variantes de las mezclas PC/poliésteres incluyen el uso de copoliésteres, uno de ellos es el copoliéster producido a partir de 1,4 dimetil-ciclohexano (CHDM) y una mezcla de ácidos tereftálicos e isoftálicos. Este tipo de mezclas (PC/copoliésteres) se han empezado a utilizar en aplicaciones médicas en las que la utilización de rayos gama en las esterilizaciones produce un amarillamiento de material, cosa que no ocurre con estas mezclas que son menos susceptibles a cambios de coloración.

tabla 7.6. propiedades seleccionadas de mezclas comerciales de PC/ABS (y sus derivados)

nombre comercial	empresa	resistencia a tensión (kg/cm ²)	resistencia a impacto Izod muestra de 0.317 cm (J/m)	módulo de tensión (kg/cm ²)	módulo de flexión (kg/cm ²)	resistencia a flexión (kg/cm ²)	dureza rockwell (R)	temperatura de deflexión a 18.5 kg/cm ² (°C)
Bayblend MC-2500	Mobay	597.74	560.49	26.722	24.613	91.420	117	115.55
Bayblend MC-3200	Mobay	597.74	453.73	26.722	24.613	91.420	117	115.55
Bayblend MD-6200	Mobay	593.88	427.04	26.019	24.613	89.310	117	104.44
Bayblend MC-6500	Mobay	597.74	560.49	26.019	26.722	96.343	117	104.44
Bayblend MH-6570	Mobay	825.67	427.04	.....	26.722	94.233	117	102.22
Bayblend MJ-2500	Mobay	590.71	533.80	.....	22.503	84.388	120	104.44
Proloy H-10	Borg-Warner	421.04	453.73	21.097	22.503	70.323	103	87.22
Proloy H-20	Borg-Warner	443.03	587.18	21.800	23.206	73.839	107	89.44
Proloy H-C2	Borg-Warner	438.00	448.38	22.603	23.206	72.433	103	99.44
Arloy 1000	Arco	464.00	640.00	.....	22.503	84.388	.....	120.00
Arloy 1100	Arco	492.00	641.00	.....	23.910	91.420	.....	125.00
Arloy 1200	Arco	563.00	634.00	.....	27.426	105.485	.....	127.00

tabla 7.7. propiedades seleccionadas de mezclas comerciales PC/poliésteres

IPET y/o PBTI

nombre comercial	empresa	resistencia a tensión (kg/cm ²)	resistencia a impacto izod muestra de 0.317 cm (J/ml)	módulo de tensión (kg/cm ²)	módulo de flexión (kg/cm ²)	resistencia a flexión (kg/cm ²)	dureza rockwell (R)	temperatura de deflexión a 18.8 kg/cm ² (°C)
Xenoy 1101	General Electric	520.39	709.95	-----	21,097	86,498	105	98.89
Xenoy 1200	General Electric	351.62	-----	-----	18,878	59,775	-----	60.00
Xenoy 2230	General Electric	252.59	800.70	-----	23,207	87,804	115	121.00
Xenoy 3220	General Electric	583.68	106.76	-----	19,690	84,388	122	98.88
Xenoy 5220	General Electric	541.49	709.95	-----	21,097	86,498	112	98.88
Xenoy 8120	General Electric	457.10	854.08	-----	19,690	73,640	113	57.22
Xenoy 6370	General Electric	835.30	117.44	-----	54,852	140,847	109	148.88
Xenoy 6620	General Electric	388.79	800.70	-----	18,174	59,775	108	60.00
Makrolond								
DP-2-1018	Mobay	492.28	960.64	-----	-----	-----	114	87.78
Tallon SC 250	Idemitsu	492.29	587.18	21,097	21,800	86,620	-----	97.22
Tallon 300	Idemitsu	527.43	928.81	21,097	21,800	90,014	-----	120.00
Tallon 500	Idemitsu	541.49	443.05	20,393	21,800	90,014	-----	122.22
Multilon AM 9020	Tajjin	618.85	854.08	-----	23,910	94,937	-----	123.88
Multilon AM 9040	Tajjin	569.62	784.88	-----	21,800	80,872	-----	107.22
Multilon AM 9060	Tajjin	576.65	587.18	-----	23,207	86,091	-----	111.11

7.5.3. otras mezclas de policarbonato

Existen algunas mezclas de policarbonato con poliolefinas en pequeñas cantidades con el fin de mejorar la procesabilidad, la resistencia al envejecimiento térmico y a los solventes del policarbonato. En este tipo de mezclas no son convenientes grandes cantidades de poliolefinas porque degradan las propiedades mecánicas; en ellas se usa un compatibilizador para aumentar la unión de la mezcla y un modificador de resistencia al impacto.

Las poliolefinas típicas usadas en estos materiales incluyen el polietileno lineal de baja densidad (LLDPE), polipropileno, copolímeros EP y EPDM, poliisobutilenos y copolímeros de etileno o propileno con otras alfa-olefinas que contengan de cuatro a ocho átomos de carbono. Un copolímero alternativo es aquel del 1-octadeceno y anhídrido maléico que se emplea para disminuir la densidad del agrietamiento en mezclas reforzadas con fibra de vidrio.

Una deficiencia que presenta el policarbonato en partes con paredes delgadas es que a bajas temperaturas su resistencia al impacto disminuye, por lo que es conveniente agregar cantidades pequeñas de modificadores de impacto; los más usados son copolímeros acrílicos, especialmente materiales de dos fases basados en hule acrilato, aunque existen otros modificadores que a la vez sirven como compatibilizadores, tal es el caso del interpolímero multi-fase con estructura "centro-coraza", cuya

descripción en mayor detalle se da en seguida.

El núcleo de este tipo de materiales se compone de butilacrilato (o cualquier otra gama de acrilato que posea una temperatura de transición al vidrio, T_g cercana a 10°C); entre 0.1 a 2.5 por ciento en peso de un monómero de enlaces cruzados tal como el diacrilato de butileno, éste con el fin de dar un nivel residual de insaturación en la fase elastomérica; una concentración de 0.1 a 2.5 por ciento en peso de monómero inyectado, de preferencia alilmetacrilato o dialilmaleato, el cual se agrega cerca de la superficie de las partículas de elastómero. En una segunda etapa de polimerización, una coraza de metilmetacrilato (MMA) se polimeriza sobre las partículas elastoméricas del centro para formar una fase rígida, por lo menos una parte de ella se une químicamente a la superficie de las partículas de elastómero. La coraza debe tener una temperatura de transición al vidrio de por lo menos 20°C y debe estar libre de componentes que tiendan a degradar el polímero con el que va a ser mezclado.

Buenos ejemplos de polímeros acrilato "núcleo-coraza" o "centro-coraza" son los polímeros Acryloid de Rohm and Haas, los cuales se venden en Europa bajo el nombre de Paraloid; Borg-Warner describe un elastómero termoplástico con un núcleo rígido y coraza elástica compuesta de butilacrilato e hidroxietil metacrilato.

Como ya se ha mencionado, existen policarbonatos diferentes a aquellos basados en el bisfenol A, como el policarbonato de

tetrametil bisfenol A (TMBPA) que tiene una Tg de 205°C y es más compatible con polímeros estirénicos que el PC de bisfenol A; en Europa, Bayer ha ofrecido los PC TMBPA como BAYBLEND H. Los policarbonatos modificados con acrílico se pueden usar en mezclas retardantes a la flama libres de halógenos, azufre y fósforo, el policarbonato de TMBPA presenta un índice de oxígeno menor que los que presentan una mezcla que contenga este tipo de policarbonato.

Otro fenol usado para fabricar policarbonatos es el bis (4-hidroxifenil) metano conoci-

do como bisfenol F, éstos PC se comportan diferentes en las mezclas, incluso existen mezclas de policarbonatos de bisfenol A y F en donde la Tg disminuye con el aumento de la concentración del PC de bisfenol F.

Con referencia a las mezclas de PC modificados, algunas patentes hacen mención a ellas con la adición de un tercer polímero ya sea de bajo peso molecular u otros polímeros más costosos como polifenilén éter sulfona, polimetilén fosfonato, polieterimida, etc., aunque no se tiene conocimiento de que alguno de ellos se ofrezca comercialmente.

7.6. procedimientos, equipo y costos en la producción de mezclas

7.6.1. procedimientos

Las mezclas de polímeros se realizan por una combinación de ellos en forma de látex, soluciones o fundiciones, aunque la técnica comercial más comunmente usada es el mezclado por fundición y en algunos casos se agregan soluciones de polímeros a polímeros fundidos, sólo que en este caso se requiere separar el solvente por volatilización u otra operación.

Los polímeros que se alimentan al mezclado de la fundición pueden estar prefundidos, sin embargo y con frecuencia, la alimentación es un polvo sólido, gránulos o pélets; ésto es útil para el premezclado de componentes sólidos antes de la fundición. A nivel comercial se pueden obtener distribuciones uniformes en toda la masa fundida ya sea en equipos por lotes o continuos y usualmente se requiere para ello únicamente buen mezclado.

Las dos fases del mezclado se realizan por las siguientes técnicas:

- Partículas sólidas se dispersan en la mezcla fundida.
- Partículas no sólidas se presentan en la mezcla, pero los sólidos que forman dan origen a dos fases por enfriamiento.

En la primera técnica se debe controlar cuidadosamente el tamaño de partícula y su distribución en la alimentación, la degradación o aglomeración de las partículas sólidas durante el mezclado se debe evitar o por lo menos controlarse cuidadosamente y predeciblemente, ya dentro del seno de la fundición las partículas deben estar uniformemente distribuidas, y finalmente, la adhesión interfacial debe desarrollarse al grado adecuado para suministrar al mate-

rial final las propiedades deseadas (especialmente resistencia al impacto).

En la segunda, las condiciones de enfriamiento y cristalización deben controlarse cuidadosamente para producir un tamaño de partícula uniforme, deben separarse las fases, así como prevenir la deslaminación durante el subsecuente procesamiento o durante el tiempo de terminación del producto.

Las descripciones detalladas de mezclado comercial son rara vez publicadas y patentadas, la información práctica puede obtenerse de fabricantes de equipo de mezclado a través de folletos; tanto vendedores de equipo como mezcladores realizan extensas pruebas para desarrollar un procedimiento específico, el cual pasa a formar parte de sus conocimientos confidenciales.

Quizás el proceso más simple de mezclado es la alimentación de dos termoplásticos con componentes compatibles a un extrusor, este tipo de operaciones pueden hacerse a pequeña escala y con un mínimo de equipo. Si una mezcla conveniente puede hacerse en una simple etapa de mezclado y extrusión, entonces se minimiza la degradación de los componentes. Sin embargo, en ocasiones el premezclado y el mezclado se realizan en diversas etapas; en algunos casos los componentes de las mezclas son en sí mezclas y el producto final puede más adelante mezclarse con diferentes aditivos o componentes adicionales para adecuarlos a una variedad de propósitos especiales, de tal modo que cada miembro de una familia de mezclas contiene los mismos polímeros en proporciones diferentes, así como aditivos específicos.

7.6.2. equipo

El equipo empleado en la fabricación de mezclas, básicamente es equipo simple que permite alcanzar todos los criterios del buen mezclado y cuyas condiciones operativas están diseñadas para desarrollar las propiedades del material final lo mejor posible.

Premezcladores. En la operación de premezclado se puede obtener una mezcla uniforme de partículas sólidas que a la vez permite una fusión más rápida de material. El equipo de premezclado generalmente es más barato y más económico de operar que un equipo de fusión de mezclas. Los premezcladores de sólidos secos, distribuyen las partículas uniformemente a través de la mezcla pero la identidad original de la partícula no se pierde, se aplican fuerzas mecánicas y de gravedad a las partículas para darles movimientos aleatorios en las tres dimensiones del equipo, de modo que un buen diseño de éste evita las zonas de estancamiento, bolsas y espacios muertos en donde existe nulo o poco movimiento.

Un mezclador estático de cámara, mezcla los gránulos y éstos caen en cascada a través de deflectores hasta un extrusor; otro tipo son los mezcladores de vuelco, en los cuales se aprovecha la gravedad para realizar el proceso de mezclado, que se realiza predominantemente de forma radial, éstos mezcladores son por lotes. La limpieza es especialmente importante en los mezcladores de vuelco, sobre todo cuando los lotes se mezclan en ciclos cortos y cuando hay escasa compatibilidad entre lotes consecutivos.

Los mezcladores de banda, típicamente cilindros horizontales, dan un mezclado más intenso de tipo convectivo y difuso; en ellos se pueden mezclar polvos y gránulos y para proveer un mezclado axial adecuado una banda especial exterior cambia el material a una dirección axial y otra banda interior lo cambia en la dirección axial opuesta; estos mezcladores pueden eventualmente convertirse de lotes a operación continua.

Otros tipos de mezcladores de sólidos secos incluyen mezcladores espirales (especialmente buenos para evitar la segregación de partículas con distintas densida-

des), mezcladores cilíndricos horizontales (más caros y difíciles de limpiar) y mezcladores verticales de alta intensidad (que dan mayores impulsos que otros mezcladores de sólidos).

Masterbatches. El "masterbatcheo" es la preparación de una mezcla de ingredientes menores con poco o nada de ingredientes principales, mezclándose posteriormente con el resto de los ingredientes. Esta operación permite una adición y distribución exacta de pequeñas proporciones de aditivos dentro de una gran cantidad de polímero, se usa mucho para mezclas con cantidades variables de aditivo y puede emplearse con diferentes mezclas de polímeros.

7.6.3 costos del mezclado

Con respecto al costo de producción de las mezclas, el costo de la adquisición de los componentes mayores, es con mucho la proporción más grande. El costo de la mezcla puede conservarse bajo limitando el contenido de resina de alto precio que se requiera para producir un balance en las propiedades deseadas; en algunos casos suele emplearse resina fuera de especificaciones con este fin.

Los estabilizadores, lubricantes y otros aditivos se agregan también al costo de materiales, algunas veces la resina comprada ya contiene todos los aditivos necesarios en la mezcla final, lo cual reduce los costos de mezclado y simplifica la operación; otras veces se prefiere agregar otros materiales para mejores resultados.

Los recipientes contenedores del producto incrementan el costo del mezclado y algunas mezclas de gran volumen pueden venderse en bultos o en recipientes de 1,000 lb, pero la mayoría de las mezclas se venden en cilindros o en bolsas plásticas de 50 lb, lo cual incrementa de uno a dos centavos de dólar por libra el costo final.

La inevitable producción de residuos y mezclas fuera de especificaciones pueden incrementar el costo de producción, incluso si ellos pueden convertirse en mezclas comercializables, existen costos asociados con el reprocesamiento. Los residuos y productos de esta naturaleza pueden ser

del uno por ciento para corridas largas y continuas de una simple operación de mezclado, pero pueden exceder al 10 por ciento si la operación consiste en diversos pasos y el volumen total de la corrida es pequeño.

La tabla 7.8 da la estructura de costos de un proceso de mezclado relativamente simple, que consiste en alimentar desde los silos las resinas pefetizadas hacia un extrusor de fundido, los pélets no son premezclados y no se requieren otros aditivos.

tabla 7.8. costos típicos del mezclado de termoplásticos a gran escala (dólares 1986)

costos de inversión	dis/año
silos de manejo a granel (2 materiales)	\$ 220 000
alimentadores y transportadores	80 000
extrusor de doble tornillo	250 000
perfiles del extrusor	50 000
sistema de control	70 000
sistema pelletizador	150 000
equipo de manejo de producto	50 000
costo de equipo instalado	1 700 000
construcción y espacio de almacen	200 000
total de capital fijo	1 900 000
costos de operación	dis/año
materiales (de acuerdo a cada formulación)	.....
servicios	93 000

tabla 7.8 continua

mano de obra	150 000
suministros de operación	15 000
control de calidad	30 000
mantenimiento	85 000
costos directos	373 000
generales de planta	178 000
impuestos y seguros	38 000
depreciación	190 000
costos de planta	779 000
administración, ventas, etc.	150 000
costos de producción	929 000

La tabla anterior muestra algunos conceptos básicos de los costos de inversión y los costos de producción para mezclas de resinas de ingeniería, cabe mencionar que si el producto final deseado contiene más de dos de estas resinas, los costos podrían variar significativamente, ya que como se ha mencionado, puede ser necesario el empleo de premezcladores, "masterbatches" y cualquier otro equipo especial. Además, el costo de las materias primas se ha omitido porque ello representa dentro de los costos de producción de las mezclas, alrededor del 95 por ciento del total y puede variar ampliamente de un producto a otro.

capítulo 8

análisis prospectivo

A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis prospectivo, el cual se realizó aplicando el método Delphi*, que contempló la participación de ejecutivos de once empresas dedicadas al negocio de los plásticos de ingeniería, la mayoría de ellas, filiales de grandes compañías transnacionales.

Cabe mencionar que la información que se describe en seguida es en su mayoría el sentir general y no necesariamente representa la opinión de las empresas para las que dichos ejecutivos trabajan.

8.1.1 mercado

La demanda en México de los plásticos de ingeniería, tradicionalmente se ha suministrado a través de importaciones, dada la actual situación económica del país y cuyo principio se dio durante 1982, se observó que el consumo aparente de este tipo de materiales se vino prácticamente a cero a partir de este año. El sector industrial espera que dicho consumo vuelva a crecer en forma sostenida y a grandes tasas cuando mejore en cierta medida el panorama económico, además, se podrá impulsar el crecimiento del consumo de existir un proyecto de producción nacional de estos plásticos, si bien puede decirse que a nivel país se tiene un mercado pequeño y no desarrollado, con esta producción, los sectores industriales que los consumen tendrían una mejor posición para la adquisición de estos materiales.

No obstante que los patrones de consumo de México difieren notablemente a aquellos de los países desarrollados, con la realiza-

ción de algunos proyectos de compañías transnacionales dentro del territorio nacional, se espera que la distribución del consumo nacional en el mediano plazo (alrededor de 1995) se realice preferencialmente en sectores como el electrónico/eléctrico y el automotriz y de transporte. Lo anterior está apoyado por la tendencia a nivel mundial mostrada por las compañías automotrices, que consiste en aumentar progresivamente el contenido de plástico en las unidades; así como el creciente incremento en la automatización en oficinas, hogar y de la sociedad en general, que requieren equipos electrónicos, de computación y de comunicaciones.

Cuando alcancemos en México este tipo de consumo, los plásticos de ingeniería que tendrán mayor demanda serán los poliace-tales, los policarbonatos, algunas poliamidas, los poliésteres (PBT y PET) y el óxido de polifenileno. No obstante, desde el punto de vista macroeconómico, se pueden enumerar algunas ventajas y desventajas que presentaría el desarrollo de un proyecto productivo de plásticos de ingeniería en México:

— Ventajas

- En México se cuenta con mano de obra barata.
- Cercanía al mercado más grande del mundo de estos materiales, con lo que se abren las perspectivas de exportación.
- Amplias posibilidades de integración horizontal y vertical de los procesos productivos en el mediano y largo plazo.
- Se desarrollarán y formularán productos específicamente para el mercado nacional.

* La metodología seguida en la aplicación de este método, así como sus características más importantes, se resumen en el apéndice A 2.

– Desventajas

- Falta de tecnología cuya compra puede resultar difícil.
- Dada la situación económica nacional, el desarrollo de un proyecto de esta clase puede implicar altos costos de inversión.
- En México existe un mercado no desarrollado.

Atendiendo a las características del mercado internacional de los plásticos de ingeniería, dominado por las grandes empresas, la posibilidad de incursionar en él se considera baja, a menos que se pueda utilizar el respaldo del tecnólogo líder a fin de poder aprovechar su experiencia, canales de comercialización y prestigio. Es especialmente importante decir que se debe penetrar este tipo de mercados en función de la calidad del producto, aprovechando al máximo las ventajas comparativas de nuestro país, como son mano de obra barata, disponibilidad de algunas materias primas y cercanía con el consumidor más importante de plásticos de ingeniería.

8.1.2 tecnología

8.1.2.1 complejidad

En general, el proceso de manufactura total de los plásticos de ingeniería se considera de alta complejidad tecnológica. Ya que además de la producción de la resina base, generalmente es necesario agregar una serie de refuerzos y/o cargas que permitan a estos materiales ofrecer las propiedades específicas para una necesidad en particular. Esto involucra la utilización de equipo y condiciones de operación, en ocasiones más severas que requieren de un control más exacto.

En el medio industrial mexicano existe, aunque poca, cierta cantidad de mano de obra calificada para operar una planta productora de plásticos de ingeniería; existiendo adicionalmente algunos recursos que con capacitación podrían hacer un buen papel en tal labor.

En cuanto al grado de automatización para los sistemas productivos, se recomienda que éste sea el más alto posible, en aras de lograr una mayor calidad que permita competitividad al producto; haciendo hincapié

en que la ventaja comparativa de la mano de obra nacional (barata) debe utilizarse en forma racional para lograr el fin mencionado.

8.1.2.2 investigación y desarrollo nacional

En México, existen pocas instituciones capaces de llevar a cabo proyectos o líneas de investigación que apoyen el desarrollo de la industria de plásticos de ingeniería, sin embargo, deben empezar a formarse centros con excelencia que cuenten con lo más moderno en equipo de procesamiento. Dichos centros podrán ofrecer cursos de actualización en procesos de extrusión, inyección, soplado y termoformado a vacío, así como enseñar nuevas técnicas como el moldeo por inyección reacción (RIM), el diseño de productos y manufactura asistidos por computadora (CAD/CAM), etc. La inversión en este tipo de centros es muy grande dado la especialización del equipo que se pretende, no obstante, pueden ayudar las cuotas cobradas por los cursos, así como el apoyo de fondos del Gobierno Federal. Por otro lado, algunas empresas tienen actualmente personal en formación para el desarrollo de proyectos en esta área, de ahí nace la importancia del apoyo que pueden suministrar los centros de investigación y desarrollo. En términos generales, las líneas de investigación que deben seguirse a nivel nacional, en orden de importancia son las siguientes:

- Materias primas. La fabricación de monómeros para plásticos de ingeniería reviste especial importancia para el desarrollo de esta industria a nivel nacional, pues sólo algunos de ellos se producen actualmente en México. En principio, la fabricación de ciertos plásticos de ingeniería deben contar adicionalmente con una planta productiva del monómero o monómeros, puesto que la importación de ellos afectaría negativamente la competitividad internacional del producto final y en el horizonte de corto plazo (dos-cuatro años) se debe comprar del extranjero la tecnología para la producción del o de los monómeros. Cabe mencionar que deberán realizarse programas entusiastas de asimilación de tecnología, mejoras e innovaciones sobre estos procesos productivos, a fin de alcanzar autosuficiencia tecnológica en los mismos mucho antes de la terminación del contrato de transferencia y en paralelo realizar pro-

yectos de I y D en estos materiales, tratando de aprovechar la ventaja comparativa de contar con petroquímicos básicos así como la integración de las cadenas productivas.

- **Nuevos productos.** El mercado nacional de los productos de uso final fabricados con estos materiales, se ha desarrollado de forma inversa a como debiera hacerlo pues las necesidades nacionales se han cubierto tradicionalmente mediante un producto existente en mercados extranjeros; razón por la cual es de vital importancia para esta industria el desarrollo de mercados internos a través de nuevos productos diseñados exprefeso para satisfacer una necesidad específica. Las compañías que fabriquen a nivel nacional los plásticos de ingeniería deberán ser las que por medio de sus departamentos de desarrollo abarquen éstas áreas, asistidos por los centros de investigación que cuenten con infraestructura adecuada y posteriormente canalizar estos productos hacia sus clientes, es decir, la industria procesadora y fabricante de productos finales.
- **Equipo.** Aunque la industria de equipo de procesamiento a nivel nacional es reducida, pueden orientarse algunas líneas de investigación y desarrollo en esta área, las cuales en un momento determinado pueden dar un soporte técnico al complejo equipo utilizado como pueden ser los controles automáticos digitales, la fabricación de metales especiales para moldes, los circuitos integrados, la inteligencia artificial y los sistemas expertos, entre otros. Uno de los factores limitantes de la I y D en estos aspectos es la carencia de recursos humanos e infraestructura física, aunque en algunas instituciones nacionales se han realizado grandes esfuerzos para empezar con algunas de estas líneas.
- **Aditivos.** Para realizar la formulación final de estos materiales, se deberá alcanzar autosuficiencia nacional, por lo menos en los aditivos que mayormente se utilizan y que por necesidad tendrían que importarse de no tener abasto interno. Es importante desarrollar proyectos orientados hacia la producción de estabilizadores U.V., plastificantes, retardantes de flama, rellenos y cargas, por mencionar sólo algunos.

8.1.3 estrategias y políticas de apoyo

La definición de áreas de decisión, así como la estructuración de un programa general de acción y una aplicación de esfuerzos y recursos hacia el logro de objetivos específicos en el área de plásticos de ingeniería es fundamental para impulsar el desarrollo nacional de mercados, así como la ejecución de proyectos productivos en esta área. Los conceptos de política y estrategias que se manejan a continuación son la conjunción de las ideas que fueron suministradas por el sector industrial involucrado en el negocio de plásticos de ingeniería.

- **Política arancelaria.** Dentro de las primeras medidas que pueden ser evaluadas para apoyar esta industria, está el cambio de aranceles para la importación de los plásticos de ingeniería, con el fin de inducir la ampliación y desarrollo posterior del mercado interno, pues no obstante que el consumo nacional de forma extraoficial puede ser considerable, no existen las fracciones arancelarias correspondientes y específicas, de forma que aquellas que involucren polímeros de ingeniería reciban arancel preferencial. Con ésto se promoverá el consumo de estos materiales por el usuario además de que presentaría varias ventajas adicionales: la producción futura de estos plásticos a nivel nacional, contará con un mercado bien identificado y conocedor de las ventajas comparativas de aprovechar una propiedad específica y no orientado por el precio; la competencia de compañías extranjeras en el mercado interno alentaría la superación de problemas comerciales y técnicos en la compañía productora nacional; se desarrollarían productos específicamente diseñados para satisfacer una necesidad nacional, que desde el punto de vista de la mercadotecnia, tendrían un mercado potencial en países con igual o inferior desarrollo al nuestro como pueden ser los de América Latina.
- **Fomento industrial y apoyo a empresas conjuntas.** La estructuración o implementación de algunas políticas adicionales de fomento industrial, específicamente destinadas a promover la inversión en proyectos de plásticos de ingeniería, serán especialmente importantes sobre todo

porque aumentarán el atractivo de los inversionistas nacionales y extranjeros; además algunos de los aspectos económicos de los proyectos se verían altamente favorecidos. Entre las líneas de acción que podrían abrir las puertas a este tipo de proyectos está el apoyo a la creación de "joint ventures" entre la inversión nacional y extranjera (que adicionalmente será la tecnóloga) y desde este punto de vista otorgar financiamientos preferenciales al capital nacional.

Pensando optimistamente, se cree que algunas compañías tecnólogas puedan participar sólo con el 40 por ciento de inversión en la empresa conjunta, de otro modo, es conveniente pensar en adecuar la Ley de Inversiones Extranjeras en este subsector si se desean producir algún día estos materiales en el país.

- Políticas económicas internas. El control del Estado en algunos sectores industriales y sociales, puede servir como canal de apertura de mercados para los plásticos de ingeniería, entre ellos están el sector salud, el de comunicaciones, la construcción, etc., hacia los cuales pueden orientarse algunos plásticos encaminados a la utilización de plásticos de este tipo. Además, estas medidas impulsarían a la industria procesadora de plásticos, la de bienes de capital y a otras ramas industriales hacia la integración nacional. En paralelo, pueden tomarse medidas económicas de integración en los procesos de manufactura de productos de uso final, pero específicamente diseñados para incrementar el contenido de material plástico producido nacionalmente y no buscar únicamente la integración en valor o en peso como se tiene ya establecido; todo esto acarrearía doblemente beneficios económicos al país, al poder exportar plásticos de ingeniería como tales y objetos manufacturados de uso final con alto contenido de los mismos.
- Políticas científicas y tecnológicas. En este sentido se han realizado grandes esfuerzos nacionales para apoyar el desarrollo de la industria del plástico, sin embargo, la mayoría de las acciones tomadas se enfocaron hacia la industria procesadora; ahora es conveniente reencauzar los planes con un horizonte más visionario del futuro de este sector industrial. Si se empiezan a orientar los esfuerzos de actualización y desarrollo de recursos humanos, creación de infraestructura nacional, identificación de las

áreas de interés, que apoyen a un subsector industrial incipiente y con muchas necesidades científicas y tecnológicas, en el futuro se alcanzará más fácilmente y en mayor medida la autonomía tecnológica del mismo.

proyectos

Como ya se ha visto, existen a nivel mundial muchas empresas que producen plásticos de ingeniería, algunas de ellas son las pioneras en el desarrollo de estos materiales; sin embargo, no puede decirse que haya alguna que sea líder mundial en la producción de más de dos de estos plásticos, lo que generalmente sucede es que existen compañías con liderazgo comercial y tecnológico en solo uno de estos materiales y la mayoría son las compañías que han logrado el desarrollo de ellos. Para la producción nacional de estos materiales, debe pensarse en las mejores opciones tecnológicas considerando además que deben existir convenios de colaboración comercial para orientar parte de la producción al mercado internacional, a través de los canales de comercialización que la compañía tecnóloga posea, la selección de la mejor opción estará en función del liderazgo comercial y tecnológico y sobre todo de la disponibilidad del tecnólogo para suministrar la asesoría técnica y de servicios a la compañía nacional, haciendo notar que el éxito del proyecto de forma inicial se fundamentará en estos otorgamientos.

Los resultados arrojados por el análisis dan como mejores opciones tecnológicas las siguientes:

poliacetales	celanese, du pont, basf
poliamidas	du pont, basf, bayer
poliésteres	celanese, general electric, basf
policarbonatos	general electric, bayer, mobay
óxido de polifenileno	general electric, basf

Desde el punto de vista de participación accionaria, los líderes mundiales en la producción de plásticos de ingeniería se mostrarán reacios a transferir la tecnología para dichos procesos productivos, sin embargo, es en estos momentos en donde mejor se debe explorar la capacidad negociadora de la industria mexicana, pues a pesar de que las empresas tecnólogas

exijan una participación accionaria de más del 40 por ciento de capital (lo cual es fácilmente comprensible) como condicionante para la venta, existe la restricción de no más de este porcentaje a la inversión extranjera en petroquímica. Este puede ser uno de los mayores obstáculos a vencer en el futuro para la producción nacional de plásticos de ingeniería, dado que según el análisis prospectivo, para realizar el proceso de transferencia, la mayoría de las posibles compañías tecnologistas pedirán una participación mayor del 50 por ciento de capital e inclusive algunos hasta el 100. Dentro del marco productivo nacional, existen algunas empresas mexicanas que cuentan con recursos humanos y económicos suficientes para llevar a cabo un proyecto de esta magnitud, además, se cuenta en nuestro país con inversiones de empresas extranjeras en otros sectores industriales, como el automotriz y el electrónico que poseen especial interés en integrar sus sistemas productivos con materias primas nacionales. Las empresas que podrían desarrollar estos proyectos de producción de plásticos de ingeniería son: Celanese Mexicana, Du Pont de México, BASF Mexicana, Industrias Resistol y Bayer de México, entre otras.

En cuanto a las empresas que pueden incurrir en el procesamiento y transformación de los mismos están: Carplastic, Autoplast, Rotoplast, Pagani, Resistol, Regio Plast, Condumex, Vitro, etc.

La conjunción de esfuerzos de estos dos grupos de empresas impulsarán el desarrollo del mercado interno de forma muy dinámica; asimismo, apoyarán sustancialmente la creación y desarrollo de mercados extranjeros a través del ofrecimiento de partes y refacciones fabricadas con estos materiales así como con la exportación de productos de uso final, fabricados en México por medio de los proyectos en planeación y desarrollo de compañías como: Nissan, Xerox, Black and Decker, IBM, Hewlett-Packard, Apple, Motorola, Chrysler y Wang.

Después del análisis prospectivo, se puede considerar que el escenario de corto plazo se observa favorable para incursionar en la producción de plásticos de ingeniería, razón por la que para concluir este apartado se presenta a continuación una serie de proyectos con sus principales descriptores, así como algunas consideraciones de im-

portancia si se desea realizar cualquiera de ellos, además, en el apéndice A 1 de este trabajo se encontrará el perfil de cada uno de estos proyectos:

ACETALES. Para la producción nacional de estos polímeros, se considera necesario instalar una planta de 15 mil T/A como tamaño adecuado para lograr competitividad en el producto. La inversión requerida en ella será de 47.0 millones de dólares (1986) para límites de batería y adicionalmente 17.0 millones para los servicios. La mejor alternativa tecnológica es la utilización de la ruta a partir de metanol vía trioxano, la cual fue desarrollada por Celanese y empleada ampliamente en el mundo; Hoescht la utiliza para producir Hostaform y con pequeñas modificaciones BASF la emplea para la fabricación de su línea de productos Ultraform. Las materias primas básicas serán el metanol y el óxido de etileno, en este sentido, no existe ningún proyecto nacional de ampliación de la capacidad de metanol, pues el proyecto de 825 MT/A se está replanteando; sin embargo, se espera que en el mediano plazo se realice por lo menos un proyecto de este petroquímico, la otra materia prima existe en el mercado nacional. La realización nacional de este proyecto, impactaría positivamente a la industria automotriz, artículos eléctricos/electrónicos y construcción, a través de las siguientes aplicaciones: rodamientos auto-lubricados, engranes, componentes del sistema de combustible, manijas de ventanillas, teclado de artículos electrónicos, interruptores, botones, válvulas y accesorios de plomería, regaderas, etc.

NYLON 6. A nivel mundial, la capacidad mínima competitiva para la producción de esta poliamida es de 10 mil T/A considerando los costos de producción estimados y el precio de venta, sin embargo cabe mencionar que existen plantas de menor capacidad que aprovechan su integración de la cadena productiva, lo que sucede en cualquiera de las tres regiones industrializadas.

De acuerdo al análisis tecnológico realizado para sus procesos de producción, la mejor alternativa es la utilización de la ruta a partir de caprolactama catalizada por agua, en donde los costos de inversión en límites de batería y en servicios alcanzan los 7.0 y 3.0 millones de dólares respectivamente. Esta tecnología es licenciada por Du Pont,

BASF y Bayer AG, que además son los líderes mundiales en la producción de nylon 6.

Con respecto a la materia prima, para este proyecto se necesitarán adicionalmente 11 mil toneladas por año de caprolactama; con el actual proyecto de ampliación es posible que exista en el corto plazo oferta adecuada de este petroquímico para producir internamente no sólo el nylon 6 grado fibra sino también el grado resina.

NYLON 6,6. Este es el segundo material poliamídico en volumen de producción mundial y en EUA es el que mayor consumo tiene, de forma diferente a Europa Occidental y Japón, de modo que la cercanía geográfica del mercado norteamericano hace especialmente atractiva la realización del proyecto nacional. La capacidad deseable para el mismo es de 10 mil ton/año, la cual considera una inversión de 7.0 millones de dólares en límites de batería y 7.0 millones en servicios, empleando la tecnología que pueden suministrar Du Pont, BASF y Bayer AG, estas empresas la utilizan para producir las líneas de productos Zytel, Ultramid y Durethan respectivamente.

La producción nacional de nylon 6,6 implica la necesidad de importar hasta 6,600 ton de ácido adípico y 5,200 de hexametiléndiamina lo que desfavorecería al proyecto, sin embargo puede ser posible adicionar la producción de estos materiales a las facilidades de producción del polímero.

POLICARBONATO. La producción nacional de este plástico de ingeniería estaría orientada hacia los policarbonatos de bisfenol A, que son los de mayor consumo mundial. La realización de este proyecto presenta especial importancia para el mercado mexicano, pues estaría complementado con un proyecto de producción de 20 mil ton/año de resinas ABS actualmente en ingeniería y ambas abrirían ampliamente el mercado de mezclas de este tipo, que de por sí ya presenta volúmenes considerables.

La mejor alternativa tecnológica es la de fosgenación directa a partir de fosgeno y bisfenol A, que puede ser suministrada por Bayer AG o General Electric, las cuales son líderes mundiales en ventas. El tamaño de la planta adecuado para México es de 10 mil ton/año considerando la competitividad internacional. En este caso debido a las características de toxicidad y propiedades

físicas y químicas de una de las materias primas (fosgeno), es casi ineludible contar con la producción de este material en un sitio adyacente a la producción del polímero; asimismo el bisfenol A tendrá que ser importado. La inversión de este proyecto contempla 32.0 millones de dólares en límites de batería y 14.0 millones en servicios.

El impacto de esta producción nacional sería altamente favorable para la industria automotriz y de transporte así como en la construcción, que como respuesta a la oferta interna, tendría un crecimiento pronunciado en algunos sectores de mercado.

POLIBUTILENTEREFTALATO. La capacidad adecuada de planta para la producción de PBT en México se considera de 10 mil ton/año, empleando el proceso de transesterificación del dimetiltereftalato con butanodiol, seguido de las etapas de pre y poli-condensación del monómero resultante. Esta ruta puede ser licenciada por General Electric, Celanese y BASF cuyas líneas de productos PBT tienen las marcas comerciales de Valox, Celanex y Ultradur respectivamente. La inversión de este proyecto es de 27.0 millones en límites de batería y 11.0 millones en servicios.

El DMT empleado como materia prima se puede obtener en el mercado interno, sin embargo, el butanodiol será necesario importarlo o producirlo a nivel nacional a partir de óxido de propileno, el cual próximamente se producirá en el país.

POLIETILENTEREFTALATO. El empleo de la tecnología de Du Pont o Bayer para producir Rynite y Pocan se considera una de las mejores opciones, además de que a nivel nacional este proyecto es fácilmente ejecutable, puesto que se cuenta con las dos materias primas (DMT y etilenglicol) nacionales. La capacidad de planta considerada adecuada para México es de 10 mil ton/año, representando una inversión de 12.0 millones de dólares en límites de batería y 7.0 millones para facilidades en servicios. Este es otro proyecto que puede impulsar el desarrollo de mercados internos para mezclas de plástico de ingeniería.

OXIDO DE POLIFENILENO MODIFICADO. La oferta nacional de poliestireno junto con la producción de óxido de polifenileno, hacen atractiva la realización de un proyecto a nivel nacional del MPPPO, que básica-

mente es una mezcla plástico de ingeniería/ plástico de gran volumen. Para la producción del PPO la mejor ruta es a partir de fenol vía 2,6 dimetilfenol empleando el proceso de baja energía, el cual es licenciado por General Electric y usando en la manufactura de su línea de productos Noryl.

La capacidad de planta que permitiría competitividad al producto sería de 10 mil ton/año, e implica inversiones de 32.0 millones de dólares en límites de batería y 18.0 millones en servicios. Con respecto a la materia prima puede decirse que existirá oferta interna suficiente para soportar esta producción.

1. Baird, R: Baird D.
Industrial Plastics
The Goodheart-Willcox Company, Inc.
E.U.A. 1976
2. Bayblend T.: mezclas PC/ABS
Bayer, folleto técnico, 1984
3. Blanco, Rafael
"Análisis General en la Industria del Plástico"
Panorama plástico
marzo/abril 1987, pp. 9-14
4. "Computer aided engineering, (CAE),
diseño computarizado en la técnica
transformadora del plástico".
Polímeros técnicos Bayer
5. Chemical Economic Program
Stanford Research Institute
varios suplementos
E.U.A.: Varias fechas
6. Comisión petroquímica mexicana
petroquímica '84, desarrollo histórico
y análisis de la situación actual de la
Industria Petroquímica en México
México, 1985
7. Comisión Petroquímica Mexicana
(SEMIP)
petroquímica '85
México, 1986.
8. Comisión Petroquímica Mexicana
(SEMIP)
Petroquímica '86
México, 1987
9. Derlin, Acetal Resins: General Guide to
Products & Properties Du Pont
Engineering Plastics, folleto técnico
10. Designing with plastics:
we have the answers
Du Pont, folleto técnico, 1985
11. Dix, S. James
"PPS: The versatile engineering
"plastic"
Chemical engineering progress
enero 1985; pp. 42-54
12. "Dow sees strong engineering
resin growth"
chemical & economics news
mayo 20, 1985 p. 8
13. Durethan: poliamidas 6 y 6,6
Bayer, folleto técnico, 1982.
14. Dutour, J.Y.
"Como elegir los plásticos de
ingeniería"
revista de plásticos modernos
No. 357, marzo 1986, pp. 354-357
15. Encyclopedia of science and
technology of polymers vols., 1,6,9
16. "Engineering plastics find new
applications in microelectronics"
modern plastics international
abril 1981, pp 34-35
17. Enginnering design, with Du Pont
Plastics
Du Pont, folleto técnico
18. Engineering design
with Du Pont polymers
Du Pont, 1986
19. Engineering design
with Du Pont polymers
Du Pont, 1987
20. Engineering desing
Derlin, Hytel, Minlon, Rynite, Zytel.
Du Pont, folleto técnico

21. "Engineering resins makers scramble to establish position as mobay launches new line" chemical marketing reporter febrero 11, 1985; pp. 4,33
22. Epolan, copolímeros y terpolímeros de estireno Industrias Resistol, folleto técnico
23. Extracto del "manual técnico termoplásticos" Bayer, folleto técnico, 1978
24. Facultad de química (UNAM) perfiles químicos-tecnológicos tercera edición México 1985
25. Fexman E.A. "Un nuevo poliactal/elastomero de alto impacto con una amplia gama de aplicaciones" revista de plásticos modernos No. 353 noviembre 1985, pp. 606-609
26. Forger, Gary "Engineering resin films make new inroads" Plastics world febrero 1984, pp. 35-39
27. "Good growth forecast for engineering resins" chemical & economic, news enero 20, 1986; p. 10
28. Gordon M. Graff "Engineering plastics: primed for key CPI role" chemical engineering agosto 23, 1982; pp. 42-45
29. Hirooka masaaki "Technological innovation and chemical industry: advanced materials and their industrial development, part II development in advanced materials and chemical industry" chemical economy & engineering review enero-febrero 1984
30. Hostaflon information Hoechst, folleto técnico
31. Hostaform report, especialidades en tipos de gran fluidez hoechst, folleto técnico
32. Hytel, poliéster elastomer Du Pont, folleto técnico
33. Instituto Mexicano del Plástico Industrial El mundo de los plásticos México, 1987
34. Instituto Mexicano del Plástico Industrial Anuario estadístico del plástico 1985 México, 1986
35. Kambayashi N. Yositeru "Panorama de la Industria del Plástico en Japón" Ponencia presentada en la Feria Internacional del Plástico celebrada en Guadalajara Jalisco México, mayo 1986
36. Kircher, K flame-retarded, polycarbonate Bayer, 1985
37. Kirk-othmer encyclopedia of chemical techology vols. 1,18
38. Leverkusen, W. Witt "Blends de polímeros" Plásticos Universales 1985; pp. 86-89
39. Listone, Harol A., Turoff, Murray The delphi method, tecniques and applications Addison-Wesley Publishing Company E.U.A. 1979
40. "Los plásticos de ingeniería, línea de productos nylon capron" anuario de los plásticos 1984
41. "Lots of news in alloys and blends" plastics technology junio 1983, p. 72
42. Martino, Joseph P. Technological forecasting for decision making ed. North-Holland segunda edición E.U.A. 1983
43. Martino, Roberto "Here's an engineering resins that cost less: polypropilene"

- Modern Plastics International
noviembre 1984; pp. 100-102
44. "Material's 85"
Modern Plastics International
enero 1985; pp. 28-41
 45. Makroblend PR: PC/PBT
Bayer, folleto técnico
 46. Makrolon. Policarbonato
Bayer, folleto técnico, 1984
 47. "Moving pet resins into engineering products"
Chemical week
octubre 12, 1983; pp. 26-28
 48. Nishimura, Yotaro
"Future of High Polymer Chemical Industry"
Chemical Economy & Engineering Review
enero-febrero 1982; pp. 21-26, 34
 49. Nylon Zitel de Du Pont. . . Dinamica de valiosas ideas
Du Pont, folleto técnico
 50. Noryl, resina termoplástica de ingeniería
Ultrapol S.A. de C.V., folleto técnico
 51. Orzut, John
"New plastics stretch properties and markets"
Iron Age
junio 9, 1980; pp. 29-32,37
 52. "PE and PP appear strong in 1986: Pricing Update"
Plastics technology
enero 1986, pp. 93, 95
 53. PEP Yearbook International 1986, vol. 1 United States
process economics program, SRI International
Menlo Park, California, USA 1987
 54. PEP Yearbook International 1984, vol. 2 United States
process economics program, SRI International
Menlo Park, California, USA 1985
 55. Piense en nylamid. . .
Plásticos de mantenimiento,
Nylamid, folleto técnico, 1987.
 56. "Plastics demand respond to changed economics"
ECN plastics supplement
julio 1985; 8, 38
 57. "Plastics '86: The new game in plastics"
chemical week
diciembre 11, 1985; pp. 3, 20, 27, 29-41
 58. Plastificantes. Productos especiales para solucionar problemas especiales.
Bayer, folleto técnico, 1986
 59. Plásticos Hoechst, Hostaform
Hoechst, folleto técnico
 60. Pocan S 1506, impact-modified polybutylene terephthalate (PBT)
Bayer, folleto técnico, 1985
 61. Pocan. Termoplastics polyester
Bayer, folleto técnico, 1981
 62. "PPG, GE to form thermoplastics unit: for the new composites"
chemical marketing reporter
julio 19, 1986; pp. 5,34
 63. Process Economic Program
Stanford Research Institute
Reportes 41, 41A, 54, 54A, 54B, 50, 50A, 50B, 96, 96A, 18, 18A, 69, 86, 86A, 86B, 175, 51
 64. Reid, R.A.: Campbell H.J.
"Organics, plastics, and synthetics industry discharge: Performance and regulations"
Chemical engineering progress
marzo 1985; pp. 16-21
 65. Resilan, aleaciones de ingeniería de ABS.
Industrias Resistol, folleto técnico
 66. Rodríguez, Ferdinand
Principles of polymer systems
Mc. Graw Hill Book Company
United States of America, 1970
 67. Ruiz, Urquhart Jorge
"Perspectivas y tendencias de los plásticos en México"
Panorama plástico
septiembre-octubre 1986, 45-49
 68. Ryton, Polyphenylene Sulfide
Compounds: Engineering Properties

- Phillips Chemical Company, folleto técnico
69. Sterfiel, Aaron
"Top-of-line engineering plastics move into high-series applications"
modern plastics int.
junio 1986; pp. 40-42
 70. Transformación. Moldeo por inyección
Bayer, folleto técnico, 1978
 71. Transformación. Extrusión
Bayer, folleto técnico, 1978
 72. Trehwitt, Jeffrey
"Diverse directions for plastics and resins producers"
chemical week
junio 26, 1985; pp. 6-8
 73. U.S. PAT. 3, 756, 986 (sept. 4, 1973),
J.L. Russ Wood, W.J.
(to Halcon International, Inc)
 74. Valox, resina poliéster de ingeniería
Ultrapol, S.A. de C.V. folleto técnico
 75. "What in the world is new"
special report-part 1
plastics world
noviembre 1979, pp. 46-51
 76. Wehrenberg, Rod
"High-productivity resins pay their war with savings"
plastics world
febrero 1985; pp. 48-51
 77. Weirguch, K
plastics in perspective: some reflections of product and market development.
Bayer 1985
 78. Wigotsky, Víctor
"Engineering, resins quicken their atride"
lastics engineering
enero 1985, pp. 37-50
 79. Wigotsky, Víctor
"Modified engineering resins: on the board-and scoring"
Plastics engineering
abril 1985, pp. 29-37
 80. Wigotsky, Víctor
"Engineering resins quicken their stride"
plastics engineering
septiembre 1985; pp. 33-48
 81. Witt, W.
"Polymer blends and their importance as engineering plastics"
international polymer science and technology vol. 1, No. 8 1985
 82. Woods, stuart
"Detroit is ready for the big action"
modern plastics international
noviembre 1985, pp. 40-43
 83. Woods, stuart
"Engineering elastomers: lost more options for demanding markets"
modern plastics international
abril 1985; pp. 48-57
 84. Yamasaki, Tatsuya
"Moves centering around engineering plastics"
chemical economy & engineering review
julio-agosto 1982, pp. 30-34
 85. Yiu, Hiroshi
"History of composite materials and current standing of thermoplastic composites"
Japan plastics
marzo-abril 1980; pp. 50-54

apéndices

poliacetales

características generales

Los poliacetales presentan excelente resistencia al impacto y al uso o desgaste, así como a la humedad y solventes, poseen buenas características de aislamiento eléctrico, son autolubrificables y su rango normal de temperaturas de operación es de 51 a 160°C. Estas propiedades les permiten ser utilizados en aplicaciones normalmente reservadas a los metales.

aplicaciones típicas

Entre sus principales aplicaciones se encuentran los componentes automotrices como son las manijas para elevadores de cristales, el tapón del depósito de combustible, dispositivos de climatización, etc. En artículos de consumo se utilizan para fabricar encendedores, válvulas para envases de aerosol y tapas para plumones entre otras. En plomería se aplican en la construcción de válvulas y conexiones para baño, tubería y filtros. En la industria mecánica se usan en rodillos y cojinetes, engranes, cadenas de transporte, etc.

métodos de procesamiento

El 95 por ciento de los objetos producidos con resina acetálica se moldean por inyección, mientras que el cinco por ciento restante se moldea mediante extrusión y soplado.

capacidad mínima competitiva

15 mil toneladas anuales.

tecnología y posibles empresas licenciantes

La mejor opción tecnológica la constituye el proceso que produce copolímero a partir

de metanol vía trioxano. Las posibles empresas licenciantes son:

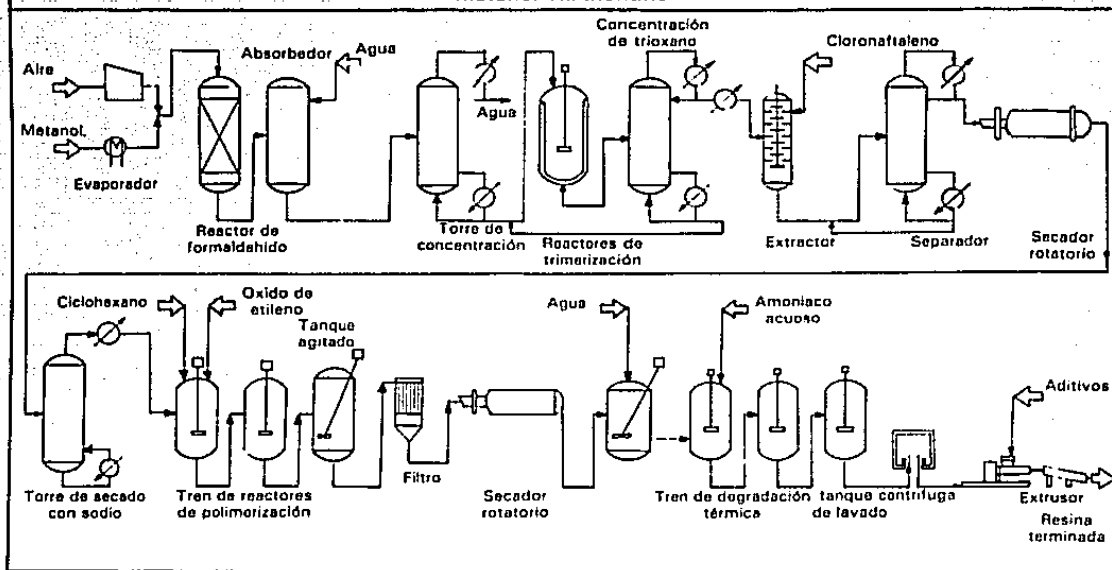
- Celanese
- Hoechst
- BASF

Descripción del proceso

El proceso inicia con la oxidación de metanol a formaldehído en presencia de un catalizador de Hierro-Molibdeno a una temperatura de entre 315-345°C. El formaldehído obtenido se absorbe en agua para producir una solución al 37 por ciento, misma que después se concentra hasta 60 por ciento. El trioxano se obtiene por la destilación de la solución anterior en presencia de un catalizador de ácido sulfúrico. El trioxano fundido se concentra, para manejar un producto sólido, mismo que se envía a un secador rotatorio y a una torre de absorción en la que se elimina toda el agua residual de los pasos anteriores. Este trioxano se alimenta junto con ciclohexano (solvente), óxido de etileno y el catalizador (BF_3) a una serie de reactores de polimerización que son fabricados con un recubrimiento de teflón. La reacción tiene lugar a temperaturas de 60-70°C después que ha reaccionado un 70 por ciento del trioxano se detiene la reacción agregando tributilamina.

La suspensión de polímero se filtra y seca para eliminar el ciclohexano y posteriormente se vuelve a suspender, ahora con una solución acuosa de amoníaco, se calienta a 150°C y 8 kg/cm² en varios reactores en serie en donde tiene lugar una degradación térmica que ayuda a estabilizar el polímero obtenido. Finalmente se lava, seca y peletiza. El rendimiento sobre trioxano es de aproximadamente 80 por ciento.

figura 2.4
producción de copolímero de acetal a partir de metanol via trioxano



inversión requerida en millones de dólares:

Límites de batería:	48.0
Servicios auxiliares:	17.0
Total	65.0

requerimientos de materias primas y servicios auxiliares

materia prima	requerimiento (T/A)
metanol	22,200
óxido de etileno	1,250
ácido sulfúrico	555
1-cloro naftaleno	90
ciclohexano	147
sodio	87
tri-n-butilamina	132
amoníaco acuoso	132
nitrógeno	363,300 nm ³
servicios auxiliares	requerimiento por ton. de producto
agua de enfriamiento	1.010 m ³
vapor	18 tons.
agua de proceso	25 m ³
electricidad	604 kwh
gas natural	611 K-Cal

costos de producción

Los costos de producción para la obtención de 15 mil T/A de poliacetales se muestran en la siguiente gráfica como una función del nivel de aprovechamiento de la capacidad productiva.

precio internacional

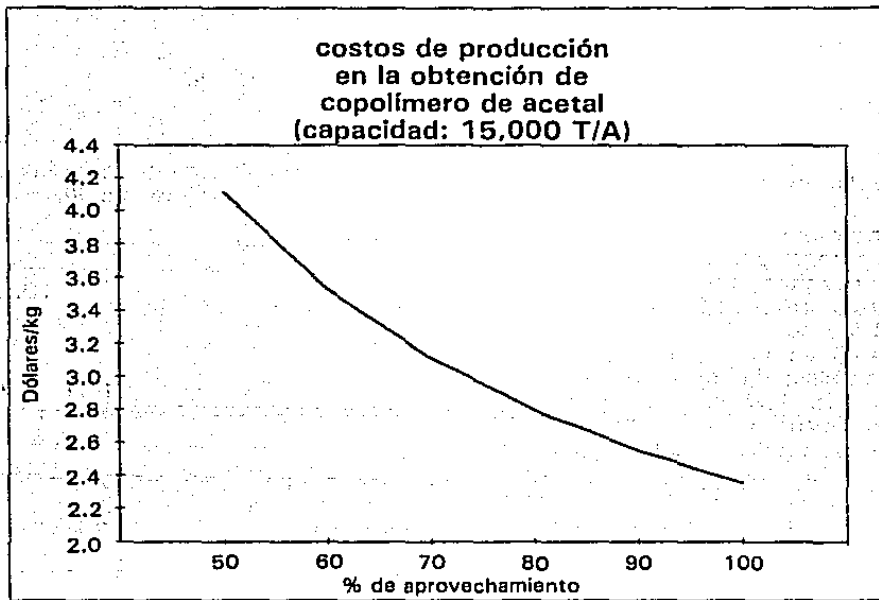
Los precios promedio de las resinas, en su grado de uso general o estándar, en las diferentes regiones son las siguientes:

región	precio dólares/kg
E.U.A.	3.52
Europa	3.00
Japón	4.00

mercado nacional

El consumo de resinas poliacetal en 1985 fue de aproximadamente 1,000 toneladas. Los principales usos son los siguientes:

- En la industria automotriz: Componentes de sistemas de combustible, cubiertas para hebillas del cinturón de seguridad, artículos para el tablero, manijas para cristales.



- Fabricación de regaderas
- Cartuchos para sanitarios
- Componentes de accesorios domésticos
- Cuerpos de encendedores y cassettes de audio y video

disponibilidad de materias primas

Actualmente no hay disponibilidad de metanol, el proyecto de Pemex por 825 mil T/A se encuentra suspendido temporalmente.

comentarios adicionales

Si se cuenta con el apoyo de algunas empresas tecnologistas el proyecto es factible a mediano plazo, considerando que una buena parte del acetal puede comercializarse en el extranjero.

nylon 6

características generales

Los plásticos de nylon 6 tienen muchas cualidades que los hacen atractivos en una gran variedad de aplicaciones mecánicas y eléctricas: son fuertes, tenaces, poseen buenas resistencias eléctrica, al uso, al calor, y la corrosión; cuentan con un bajo coeficiente de fricción, tienen una apariencia

agradable (poseen brillo natural). Además presentan la peculiaridad de ser higroscópicos (desventaja en algunas aplicaciones). Existen varios grados en el mercado como son los reforzados con fibra de vidrio, los modificados con olefinas y las mezclas y aleaciones que forman con otros plásticos como el ABS.

aplicaciones típicas

Entre sus principales aplicaciones se incluyen las automotrices (externas e internas), películas plásticas, cables, cuerpos de herramientas domésticas e industriales como taladros, sierras, piezas para equipo de cómputo, etc.

métodos de procesamiento

Los métodos comúnmente usados para moldear la resina son la inyección y la extrusión.

capacidad mínima competitiva

10 mil toneladas anuales.

tecnología y posibles empresas licenciantes

La tecnología recomendada en este caso es la de policondensación de caprolactama en

el proceso catalizado por agua. Las posibles compañías licenciadoras son:

- Du Pont
- BASF
- Bayer

descripción del proceso

La caprolactama se polimeriza en forma continua a aproximadamente 266°C para formar una mezcla en equilibrio de nylon 6 con aproximadamente 10 por ciento de caprolactama y polímero de bajo peso molecular. Se utiliza una pequeña cantidad de agua para catalizar la reacción, que tiene lugar en cerca de 18 horas. La mezcla fundida se enfría, extruye y corta en pequeños gránulos conocidos como chips, los cuales se lavan con agua caliente para eliminar el monómero que no reaccionó y los polímeros de bajo peso molecular. Finalmente la resina se seca y almacena, el rendimiento global del proceso es de 99 por ciento.

inversión requerida en millones de dólares

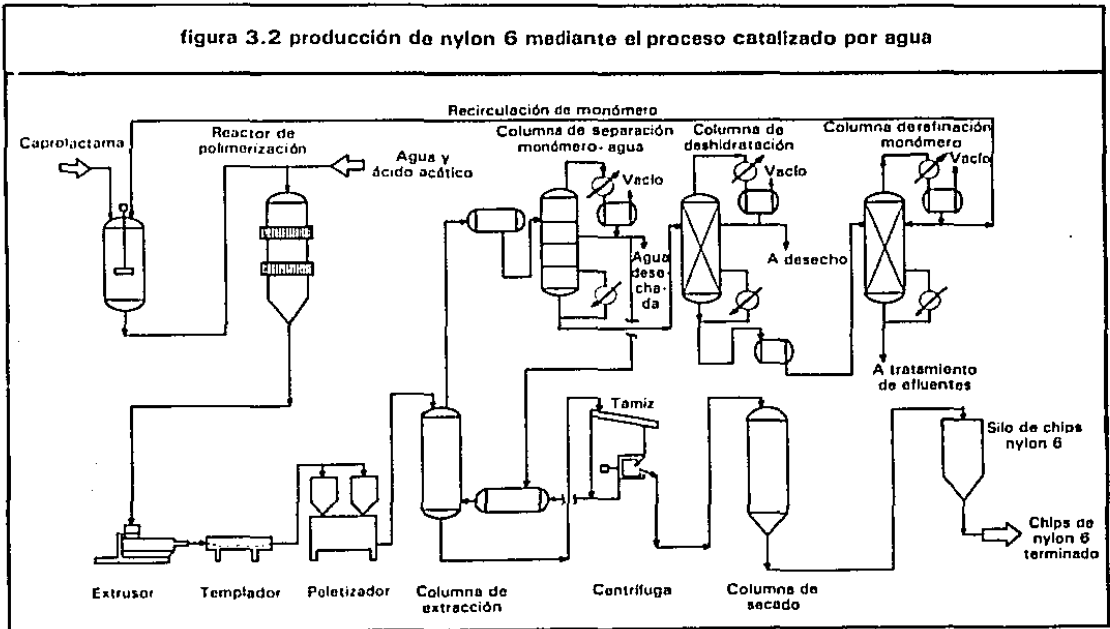
límites de batería:	7.0
servicios auxiliares:	3.0
total	10.0

requerimientos de materias primas y servicios auxiliares

materia prima	requerimientos (T/A)
caprolactama	10,500
ácido acético	20
aditivos	100

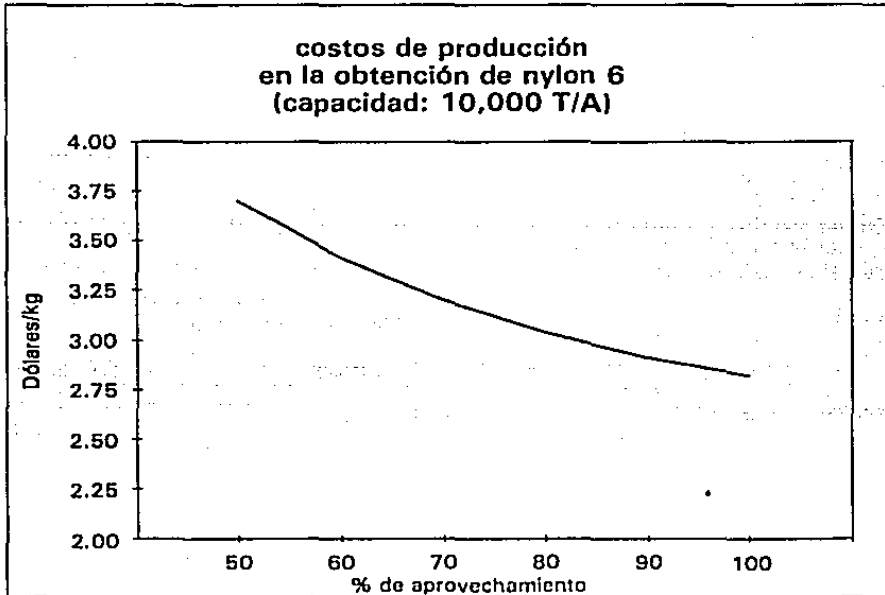
servicios auxiliares	requerimientos por ton. de producto
agua de enfriamiento	1.98 m ³
vapor de agua	3.8 tons.
electricidad	368 kwh
gas inerte	7.1 nm ³
gas natural	222 K-Cal

figura 3.2 producción de nylon 6 mediante el proceso catalizado por agua



costos de producción

Los costos de producción para la obtención de 10 mil T/A de nylon 6 se muestran en la siguiente gráfica como una función del nivel de aprovechamiento de la capacidad productiva.



precio internacional

El precio internacional para la resina de uso general es de alrededor de 4.0 dólares/kg.

mercado nacional

El consumo anual de resina nylon 6 es de aproximadamente 2,000 toneladas, siendo las principales aplicaciones la fabricación de partes automotrices y de enseres domésticos, juguetes y algunas piezas para maquinaria industrial.

disponibilidad de materias primas

La oferta de caprolactama, aun con la reciente autorización para incrementar de 50 mil a 75 mil T/A la capacidad instalada, resulta insuficiente para cubrir el mercado nacional.

comentarios adicionales

El proyecto se considera factible a corto plazo, partiendo del hecho de que las

empresas que actualmente elaboran nylon 6 grado fibra (y algo de resina), cuentan con ventajas por contar con materia prima y requerir una inversión considerablemente menor a la aquí reportada para incrementar su producción actual.

nylon 6,6

características generales

El nylon 6,6 presenta muchas propiedades semejantes a las del nylon 6 como son las de resistencia al calor, al desgaste y buenas propiedades eléctricas; aunque presenta valores ligeramente mayores que el nylon 6 en su temperatura de deflexión, resistencia al impacto y a la tensión por lo que comparte con éste muchos mercados.

aplicaciones típicas

Se utiliza frecuentemente en partes de maquinaria como engranes; en la industria automotriz en partes del sistema de combustible, de ventilación y aire acondicionado, componentes decorativos de la carrocería, etc; sus aplicaciones en artículos de consumo incluyen suelas de zapatos deportivos, juguetes, utensilios de cocina, etc; en electrodomésticos se usa en la fabri-

cación de lavadoras de platos, máquinas de coser, equipo de enfriamiento, etc.

métodos de procesamiento

Se transforma en objetos moldeados mediante inyección y extrusión, moldeo por inyección-soplo, moldeo rotacional, etc.

capacidad mínima competitiva

10 mil toneladas anuales.

tecnología y posibles empresas licenciantes

La mejor opción tecnológica la representan aquellas que producen el producto intermedio (sal de nylon) en medio acuoso. Al igual que en el caso del nylon 6 las posibles empresas licenciantes de tecnología son:

- Du Pont
- BASF
- Bayer

descripción del proceso

El proceso de obtención de nylon 6,6 se ini-

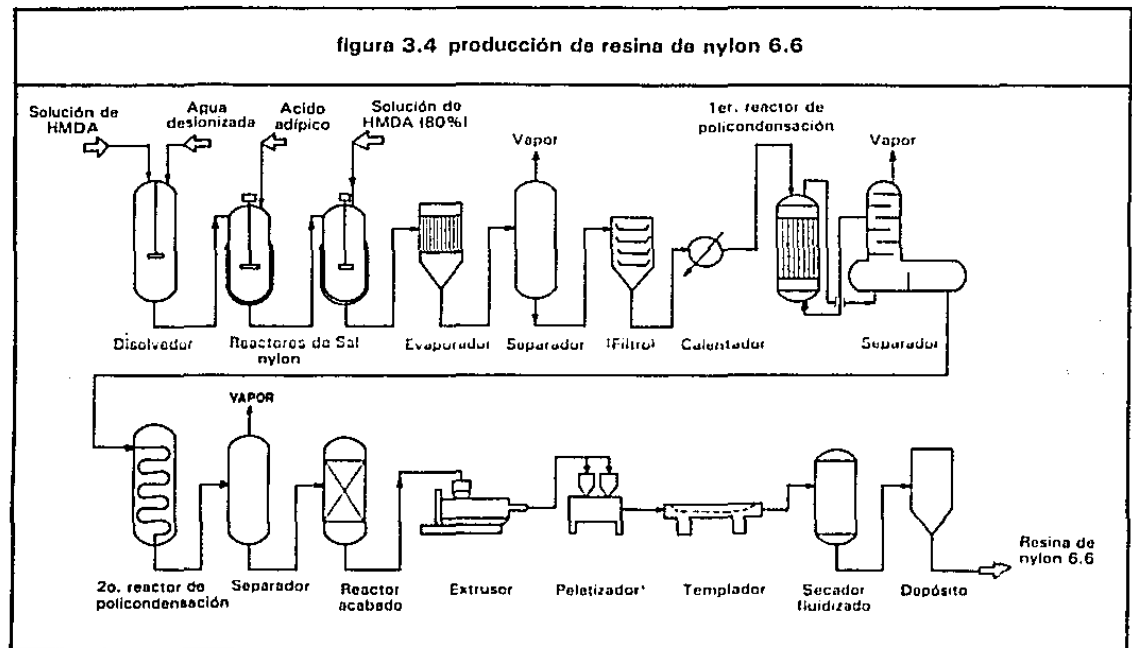
cia con la producción de un compuesto intermedio conocido como sal de nylon, que se produce al hacer reaccionar el ácido adípico y la hexametildiamina en un medio acuoso, esta sal de nylon se concentra mediante evaporación para pasar posteriormente a la policondensación. El polímero obtenido en esta etapa pasa a un reactor de acabado en el que se alcanza el peso molecular deseado; para finalmente realizar la extrusión y peletización de la resina terminada.

inversión requerida en millones de dólares:

límites de batería:	7.0
servicios auxiliares:	7.0
total:	14.0

requerimientos de materias primas y servicios auxiliares

materia prima	requerimiento (T/A)
ácido adípico	6,600
hexametildiamina	5,200
ácido acético	20

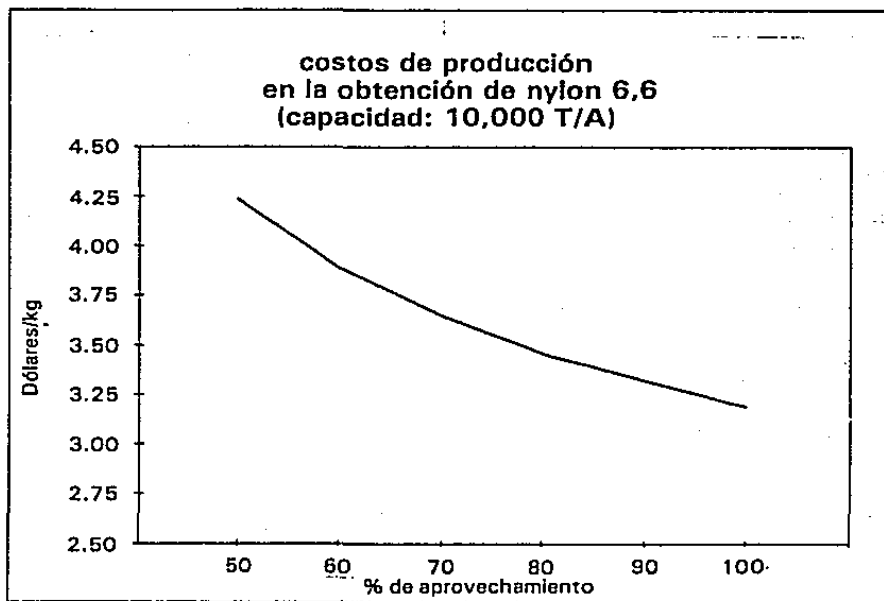


servicios auxiliares **requerimiento por ton. de producto**

agua de enfriamiento	188 m ³
vapor	2.3 tons.
agua de proceso	2.4 m ³
electricidad	88 kwh
combustibles	1,667 k-Cal
gas	1,565 nm ³

costos de producción

Los costos de producción para la obtención de 10 mil T/A de nylon 6,6 se muestra en la siguiente gráfica como una función del nivel de aprovechamiento de la capacidad productiva.



precio internacional

El precio de nylon 6,6 sin refuerzo en el mercado de E.U.A. está entre 3.9-4.1 dólares/kg., reduciéndose este precio en aproximadamente cinco-siete por ciento para la resina reforzada con 30 por ciento de fibra de vidrio.

mercado nacional

En realidad el mercado nacional de nylon 6,6 es aún muy reducido, ya que el consu-

mo anual del mismo no ha sido mayor a las 100 toneladas en los últimos cinco años.

disponibilidad de materias primas

Actualmente no hay producción nacional de ácido adípico y aunque tampoco se reporta producción de hexametildiamina, al parecer este producto sí se podría obtener en México ya que se producen los compuestos hexameten-tri y tetraamina.

comentarios adicionales

A menos que se reactive el mercado interno de este producto y se cuente con producción nacional de materias primas; el proyecto se considera factible sólo a largo plazo.

policarbonato

características generales

El policarbonato derivado del bisfenol A es un plástico transparente con un intenso brillo superficial, que puede producirse en forma translúcida, opaca o coloreada. Entre sus propiedades más sobresalientes están su alta resistencia al impacto, excelente estabilidad dimensional, gran transmisión de luz en sus tipos transparentes;

además de magníficas propiedades eléctricas. En forma modificada se pueden obtener grados autoextinguibles.

aplicaciones típicas

Construcción de caretas de seguridad, vidrios de seguridad, armazones de computadoras y aparatos electrodomésticos; aplicaciones automotrices como son cristales para cuadros de instrumentos, rejillas de calefacción y ventilación, etc. En la industria electrónica se utiliza para fabricar piezas de calculadoras.

métodos de procesamiento

Moldeo por inyección, extrusión y soplado (extrusión soplado e inyección soplado).

capacidad mínima competitiva

10 mil toneladas anuales.

tecnología y posibles empresas licenciantes

La mejor opción tecnológica para producir policarbonato la representa la ruta de fosgenación directa (ya sea en el proceso continuo o intermitente). Las posibles empresas licenciantes son:

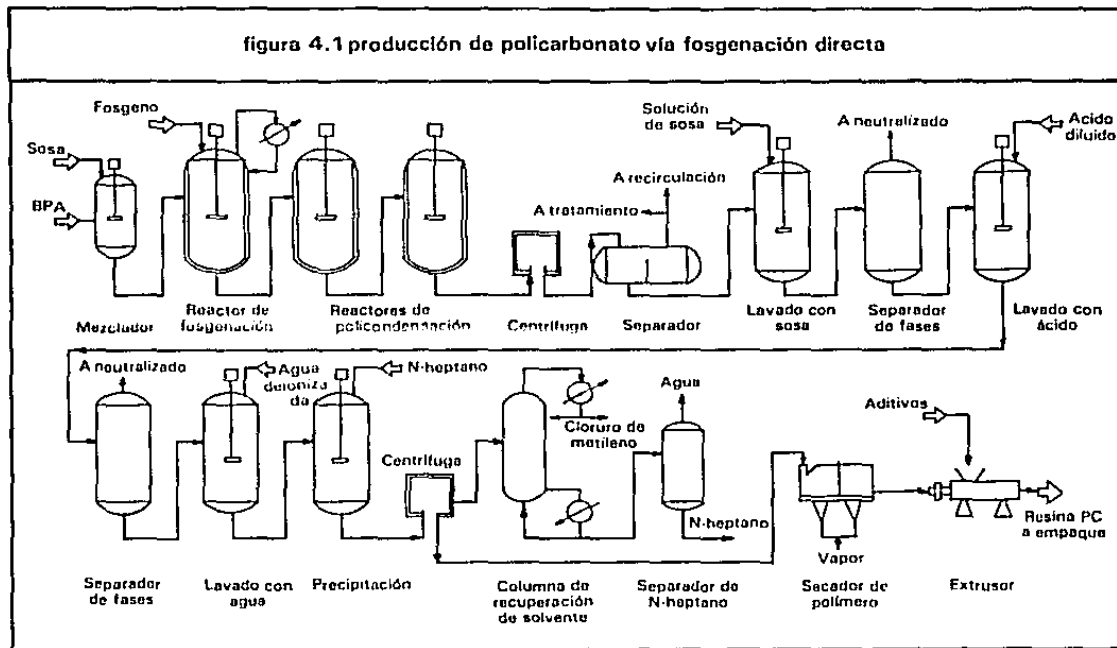
- General Electric
- Bayer

descripción del proceso

Se describe aquí el proceso de fosgenación directa intermitente (o por lotes); la diferencia con el proceso continuo está esencialmente en la forma de trabajar.

El polímero se forma en dos etapas: fosgenación y policondensación a 30 °C en una mezcla heterogénea formada por una solución acuosa caústica y cloruro de metileno en la fase orgánica. El bisfenol A reacciona inicialmente con fosgeno en presencia de p-terbutil fenol para formar un prepolímero que posteriormente se condensa utilizando trietanolamina como catalizador. Después de la reacción la fase acuosa se separa por decantación. El polímero en solución se lava en tres ocasiones, utilizando para ello una solución caústica diluida, ácido diluido y agua.

La precipitación del polímero se realiza al agregar un no-solvente (heptano), después de esto se centrifuga y seca; el solvente y no solvente utilizados son purificados y recirculados al proceso. Al polímero seco se le agregan los aditivos y cargas necesarias para lograr el grado de PC deseado.



inversión requerida en millones de dólares:

	proceso intermitente	proceso continuo
límites de batería	29.0	32.0
servicios auxiliares	15.0	14.0
total	44.0	46.0

requerimientos de materias primas y servicios auxiliares

materia prima	requerimiento (t/a)
bisfenol A	9,100
ácido clorhídrico	213
heptano	180
cloruro de metileno	120
fosgeno	4,800
sosa cáustica	4,800

servicios auxiliares	requerimiento por ton. de producto	
	proceso intermitente	proceso continuo
agua de enfriamiento (m ³)	597	137
vapor (tons.)	14	2.7
agua de proceso (m ³)	19	6.3
electricidad (kwh)	2,070	1,814
gas inerte nm ³	7.2	7.2

costos de producción

Los costos de producción para la obtención de 10 mil t/a de policarbonato se muestra en la siguiente gráfica como una función del nivel de aprovechamiento de la capacidad productiva.

precio internacional

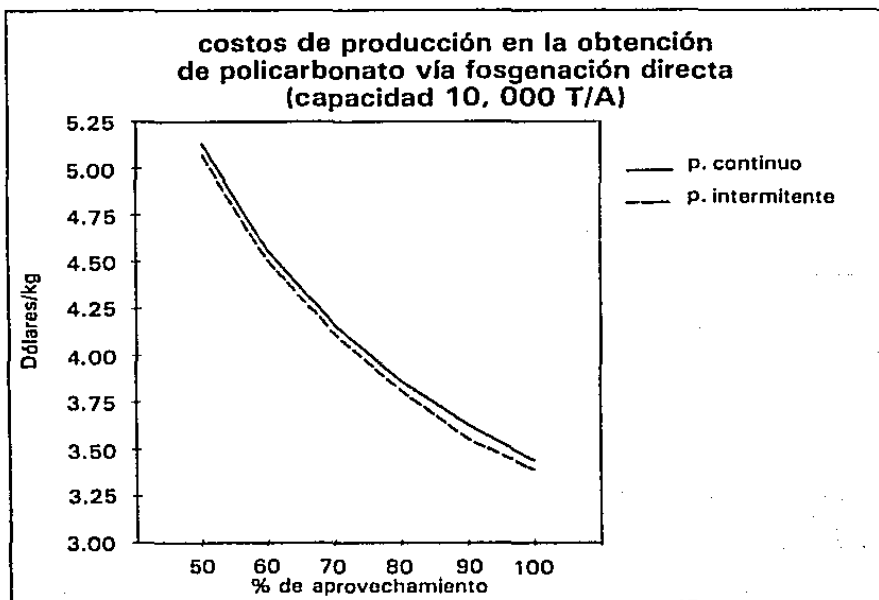
Los precios promedio de diferentes grados de policarbonato en Estados Unidos en enero de 1986 fueron:

grado	precio (dólares/kg)
inyección con 20% de vidrio	3.8
extrusión	5.16
retardante a la flama	3.85
	5.06

mercado nacional

En 1986 se consumieron cerca de 2300 toneladas de policarbonato en México. La distribución porcentual de la demanda de policarbonato en México es la siguiente:

mercado	porcentaje
eléctrico-electrónico	19
iluminación	18
óptica	2
artículos domésticos	14
industria automotriz	9
seguridad	7
manejo de líquidos	23
otros	8
total	100



En las aplicaciones más comunes se encuentran la fabricación de bobinas y medidores de corriente eléctrica, piezas para calculadoras electrónicas, discos y vicerías de semáforos, gafas para el sol, carcasas de rasuradoras electrónicas, encendedores, brazos de limpiaparabrisas, tapones de ruedas, biberones y fabricación de cantimploras, entre otras.

disponibilidad de materias primas

La capacidad instalada de bisfenol A en México es de 5,500 T/A; en 1985 la producción fue de aproximadamente 2,500 toneladas. De utilizarse íntegramente la capacidad productiva de este compuesto, sólo se requeriría de importaciones complementarias del mismo. Por lo que al fosgeno se refiere, debido a sus características de toxicidad, debe producirse en la misma planta de policarbonato.

comentarios adicionales

La necesidad de la planta adicional de fosgeno hace que la inversión, al incluirse estas facilidades, sea mayor que la que aquí se reporta.

polibutilen tereftalato (PBT)

características generales

Las resinas PBT exhiben buena resistencia a la tensión, tenacidad, baja absorción de agua, buena resistencia química y buenas propiedades eléctrica y de fricción; sin embargo, para las aplicaciones que requieren resistencia a temperaturas elevadas, se necesita un reforzamiento con fibra. Cerca del 80-85 por ciento del PBT vendido contiene entre siete y 30 por ciento de reforzamiento con fibra de vidrio y/o mineral lo que ocasiona una mejora en sus propiedades mecánicas.

aplicaciones típicas

Las aplicaciones típicas incluyen las partes automotrices como cerrajería de puertas y ventanas, extensiones de salpicaderas, defensas, etc. Otros usos importantes

es el de enseres domésticos, en donde las aplicaciones son principalmente en áreas que tradicionalmente fueron cubiertas por plásticos termofijos.

métodos de procesamiento

Moldeo por inyección, extrusión y RIM (moldeo por inyección-reacción).

capacidad mínima competitiva

10 mil toneladas anuales.

tecnología y posibles empresas licenciantes

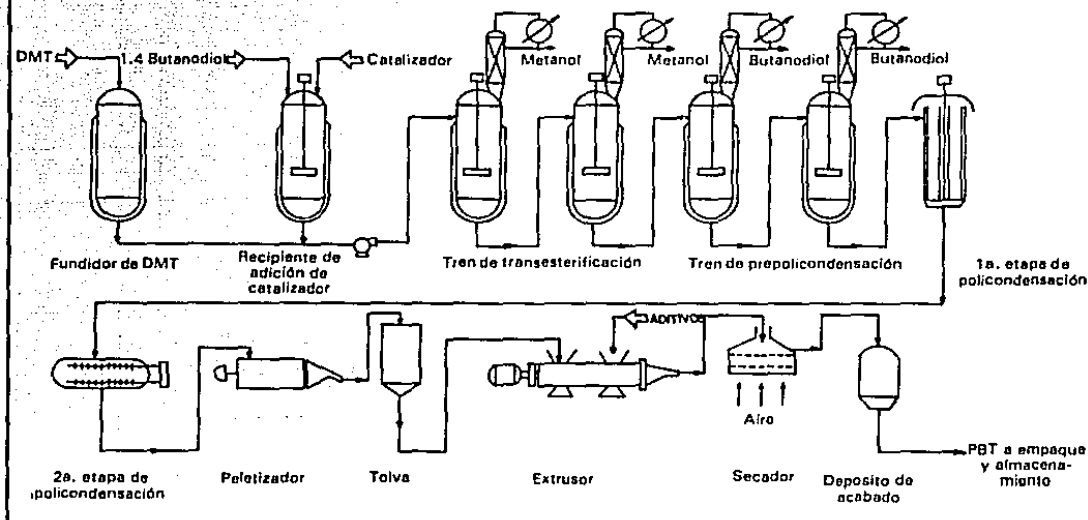
El único proceso utilizado en forma comercial es el que parte de dimetiltereftalato y butanodiol. Siendo las posibles empresas licenciantes:

- General Electric
- Celanese
- BASF

descripción del proceso

El DMT fundido reacciona con 1-4 butanodiol en un proceso de cuatro etapas: transesterificación, prepolicondensación, primera y segunda etapas de policondensación. Tanto la etapa de transesterificación como la de prepolicondensación ocurren en una serie de tres reactores equipados con una columna de rectificación en la parte superior de los mismos. La temperatura en la transesterificación va de 160°C en la primera etapa a 230°C en la tercera, a una presión de una atmósfera, mientras que en la prepolicondensación la temperatura aumenta a 250°C y la presión disminuye paulatinamente hasta 1 mm Hg. El efluente del último reactor de prepolicondensación se alimenta a un reactor tipo película en el que se realiza la primera etapa de policondensación a una temperatura de 280°C y una presión de 0.1 mm Hg. La segunda etapa de policondensación tiene lugar en un reactor tipo tornillo a las mismas condiciones de la etapa anterior. El polímero obtenido con un peso molecular promedio de 44 mil se peletiza y seca. Los rendimientos con respecto al Butanodiol y DMT son de 94 y 99 por ciento respectivamente.

figura 5.5 polibutilentereftalato a partir de DMT y butanodiol



inversión requerida en millones de dólares:

límites de batería:	27.0
servicios auxiliares:	11.0
total	38.0

requerimientos de materias primas y servicios auxiliares

materia prima	requerimiento (T/A)
DMT	9,000
butanodiol	4,000
tetrabutyl titanato	12
subproducto	
metanol	2,900
servicios auxiliares	requerimiento por ton. de producto
agua de enfriamiento	117 m ³
vapor	0.85 tons.
electricidad	472 kwh
aceite	1,111 k-Cal
gas inerte	23 nm ³

costos de producción

Los costos de producción para la obtención de 10 mil T/A de polibutilentereftalato se muestran en la siguiente gráfica como una función del nivel de aprovechamiento de la capacidad productiva.

precio internacional

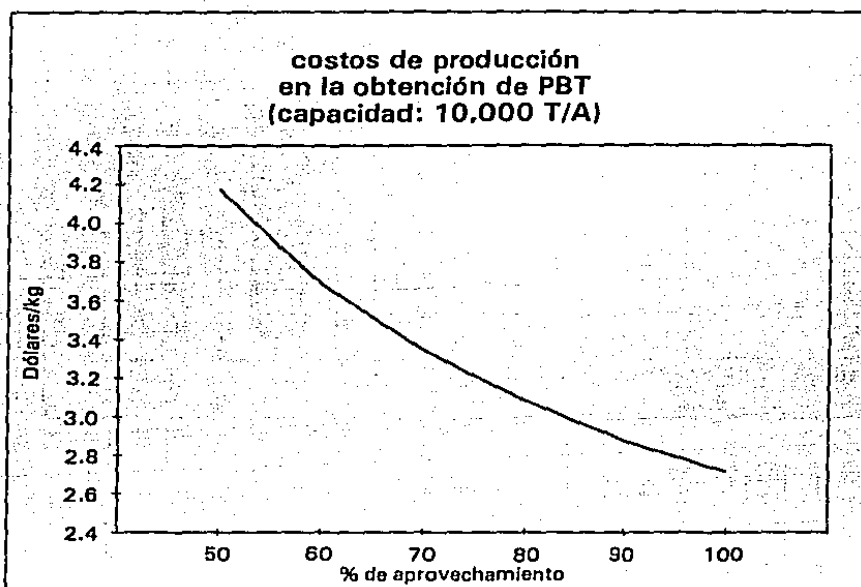
En 1984 el precio del PBT sin modificar, en los principales mercados internacionales era el siguiente:

región	precio (dólares/kg)
E.U.A.	3.90
Europa	2.26
Japón	3.60

A principios de 1986 el precio reportado en E.U.A. era muy similar al de 1984.

mercado nacional

En México una empresa subsidiaria de General Electric comercializa resina PBT bajo el nombre comercial VALOX, al parecer



destinado, en su mayoría, para aplicaciones automotrices.

disponibilidad de materias primas

El excedente de DMT ha permitido realizar exportaciones; en 1985 éstas fueron de poco más de 100 mil toneladas. Por el contrario, no hay producción nacional de butanodiol.

comentarios adicionales

La disponibilidad de la materia prima principal (DMT), hacen pensar que de contar con el apoyo de alguna de las empresas tecnologistas el proyecto puede considerarse factible a corto plazo.

polietilentereftalato (PET)

características generales

Existen tres grados diferentes de PET en el mercado: el PET grado fibra, el grado botella y el grado ingeniería. Este último grado presenta propiedades similares a las del polibutiléntereftalato (PBT) por lo que compete con éste en varios mercados, aunque está ganando mercados en aplicaciones en

las que se requiere de alta rigidez y resistencia al calor. Se suele producir en grados reforzados con hasta un 55 por ciento de fibra de vidrio o bien, en forma de mezcla PET/PBT.

aplicaciones típicas

Se utiliza en aplicaciones automotrices, sobre todo en partes eléctricas y en partes para equipo de cómputo y herramienta.

métodos de procesamiento

Se procesa principalmente mediante molde por inyección, aunque las aplicaciones de extrusión van en aumento.

capacidad mínima competitiva

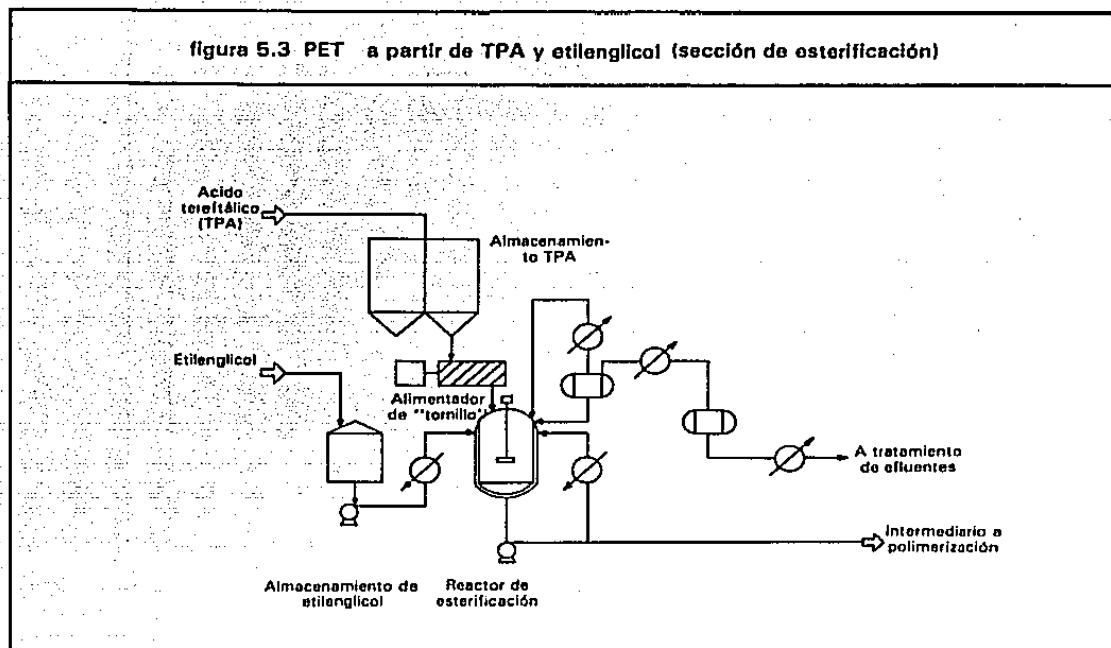
10 mil toneladas anuales

tecnología y posibles empresas licenciantes

La mejor opción tecnológica es la parte del ácido tereftálico y etilenglicol, siendo las posibles empresas licenciantes:

- Du Pont
- Mobay
- Bayer

figura 5.3 PET a partir de TPA y etilenglicol (sección de esterificación)



descripción del proceso

El ácido tereftálico se esterifica con etilenglicol a 260°C y 4.5 kg/cm² para producir un compuesto intermedio (BHET)*. El agua formada en la reacción es separada del etilenglicol que no reaccionó mediante destilación, mientras que el BHET se prepolimeriza en presencia de un catalizador de trióxido de antimonio a una temperatura de 260°C y 10 mm Hg para finalmente polimerizarse a una temperatura de 293°C y un vacío casi absoluto. El etilenglicol obtenido en la parte de polimerización se recircula al reactor de esterificación. El producto obtenido es polímero fundido (no en forma de chips).

El rendimiento teórico es de 100 por ciento con respecto al ácido tereftálico y de 90 por ciento con respecto al etilenglicol.

Inversión requerida en millones de dólares:

límites de batería:	12.0
servicios auxiliares:	7.0
total	19.0

requerimientos de materias primas y servicios auxiliares

materia prima	requerimientos (T/A)
ácido tereftálico	8,600
etilenglicol	3,600
trióxido de antimonio	3
dióxido de titanio	42

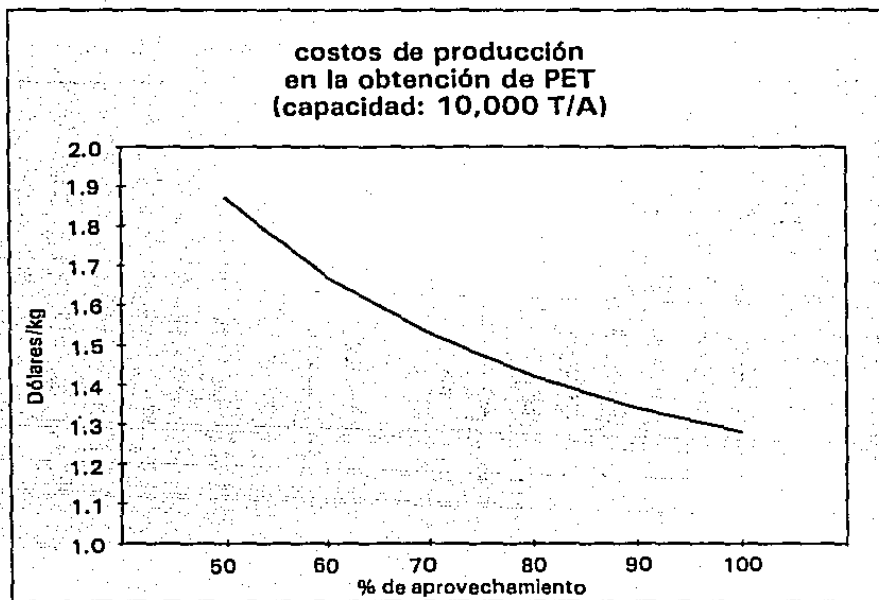
servicios auxiliares

servicios auxiliares	requerimientos por ton. de producto
agua de enfriamiento	54 m ³
vapor	1.1 ton.
electricidad	163 kwh
gas inerte	24 nm ³
gas natural	1,556 K-Cal

costos de producción

Los costos de producción para la obtención de 10 mil T/A de polietilenteraftalato se muestran en la siguiente gráfica como una función del nivel de aprovechamiento de la capacidad productiva.

De 12-hidroxietil) tereftalato



precio internacional

El precio de la resina PET en el mercado de Estados Unidos en diferentes grados es el siguiente:

grado	precio (dólares/kg)
reforzado con 30% de fibra de vidrio	2.90—3.40
reforzado con 55% de fibra de vidrio	3.90
retardante de flama	4.00—4.29

mercado nacional

El consumo nacional de PET en su grado ingeniería, es bajo (menor a las 100 T/A) siendo la industria automotriz la que, al parecer, es la principal consumidora de este producto.

disponibilidad de materias primas

Existe un excedente de 140 mil T/A de ácido tereftálico, mientras que en etilenglicoles (en conjunto) el mismo concepto es de cerca de 20 mil toneladas; aunque no se conoce la cifra exacta que corresponde a etilenglicol.

comentarios adicionales

Si se aprovecha la disponibilidad de las materias primas y se cuenta con el apoyo de algunas de las empresas tecnologistas, el proyecto se considera factible a corto plazo.

óxido de polifenileno

características generales

El óxido de polifenileno es un termoplástico opaco, semirígido y autoextinguible cuyo procesamiento en su forma natural resulta difícil por lo que se le agrega poliestireno para mejorar su procesabilidad. A esta mezcla se conoce como óxido de polifenileno modificado (MPPO) y constituye la principal forma en la que se distribuyen las resinas de óxido de polifenileno.

Entre las principales características del MPPO se encuentra su alta resistencia al impacto, su gran estabilidad dimensional y su mínima absorción de agua.

aplicaciones típicas

Las aplicaciones más comunes del óxido de polifenileno modificado son bastidores de

computadoras, máquinas de escribir, herramientas, artículos para el cuidado personal, así también como en partes de automóvil (molduras, paneles de instrumentos, cubiertas, cajas de fusibles, etc.).

métodos de procesamiento

El MPPO se transforma en objetos finales principalmente mediante moldeo por inyección, aunque las aplicaciones de partes moldeadas por extrusión van creciendo rápidamente.

capacidad mínima competitiva

10 mil toneladas anuales

tecnología y posibles empresas licenciantes

La mejor opción tecnológica para producir MPPO vía 2-6 dimetilfenol es emplear el proceso de baja energía, siendo la posible empresa licenciante:

- general electric

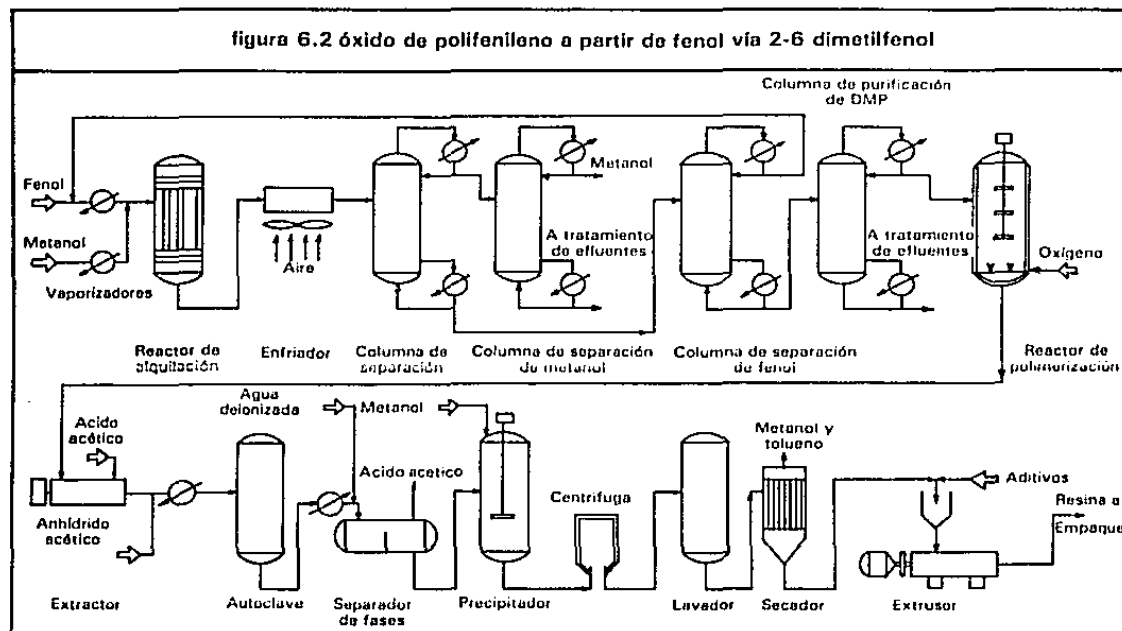
descripción del proceso

El fenol reacciona con metanol para formar 2-6 dimetilfenol el cual se purifica, disuelve

en tolueno y se burbujea con oxígeno usando bromuro cúprico y di-n-butilamina como catalizadores, para polimerizar por acoplamiento oxidativo. Se extrae la corriente efluente del reactor con ácido acético para remover el catalizador, la solución del polímero se trata entonces con anhídrido acético para estabilizar las cadenas. El polímero estabilizado se precipita con metanol, se centrifuga, lava y seca. El polvo seco se mezcla con pequeñas cantidades de aditivos y se extruye para formar pélets. El rendimiento del monómero 2-6 dimetilfenol es de 97 por ciento basado en fenol y el rendimiento del polímero es de 99 por ciento basado en el monómero. En la figura anterior se utiliza metanol como agente precipitante mientras que en el proceso que aquí se recomienda (de baja energía), se utiliza vapor de agua.

Para la producción del polímero modificado, se mezclan pélets de PPO y de poliestireno con polibutadieno (poliestireno impacto), posteriormente se extruye esta mezcla para formar pélets que contienen 46 por ciento en peso de PPO, 50 por ciento de poliestireno y cuatro por ciento de otros compuestos. Es posible hacer mezclas que contengan otra relaciones de PPO e incluso reforzando con fibra de vidrio.

figura 6.2 óxido de polifenileno a partir de fenol vía 2-6 dimetilfenol



inversión requerida en millones de dólares:

límites de batería:	32.0
servicios auxiliares:	18.0
total	50.0

requerimientos de materias primas y servicios auxiliares

materia prima	requerimiento (T/A)
fenol	8,150
anhídrido acético	286
metanol	6,240
tolueno	87
oxígeno	1,338
cera sintética	91
di-n-butilamina	94
sosa cáustica	113
tridecilsfosfite	272

servicios auxiliares requerimiento por ton. de producto

agua de enfriamiento	486 m ³
vapor	12.78 tons.
agua de proceso	3.95 m ³
electricidad	727 kwh
gas inerte	0.36 nm ³

costos de producción

Los costos de producción para la obtención de 10 mil T/A de óxido de polifenileno se muestran en la siguiente gráfica como una función del nivel de aprovechamiento de la capacidad productiva.

precio internacional

Los precios de las resinas de óxido de polifenileno modificado grado general en las diferentes regiones es:

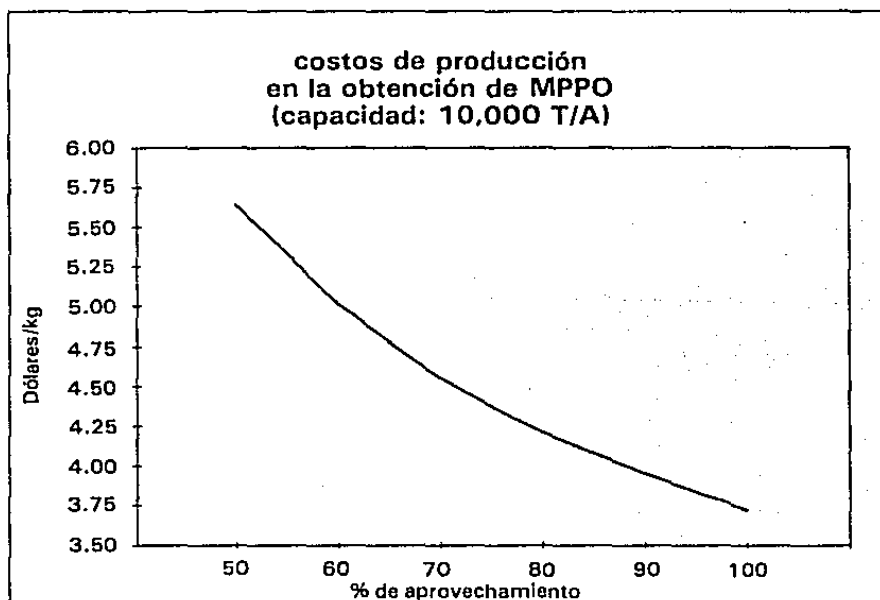
región	precio dólares/kg (enero 1986)
E.U.A.	3.30 — 5.60
Europa	3.60 — 4.20
Japón	4.30 — 4.60

mercado nacional

El consumo nacional de PPO es bajo (menor a las 100 T/A), y se cubre íntegramente con importaciones que realiza una empresa comercializadora subsidiaria de General Electric.

disponibilidad de materias primas

Actualmente existe un excedente de aproximadamente 5,000 T/A de fenol en el



mercado nacional y se espera que el panorama sea aun mejor al concretarse el proyecto para producir 100 mil T/A adicionales. Por lo que al anhídrido acético se refiere, la producción actual es apenas suficiente para cubrir la demanda nacional.

comentarios adicionales

El proyecto se considera viable a largo plazo ya que aunque actualmente el mercado nacional de este producto es muy reducido, se espera que en el futuro sea uno de los plásticos de ingeniería con mayor crecimiento.

A continuación se presentan algunas ideas alrededor de lo que es la prospectiva, que tiene como importancia fundamental el constituir una herramienta de planeación; asimismo, se intentará aquí aplicarla al entorno junto con factores incidentes en los plásticos de ingeniería, con el fin de poder predecir de una forma racional el impacto futuro de estos materiales en diversas ramas de la industria nacional.

Prospectiva tiene que ver con futuro y con imaginación. Prospechar del latín pro, delante y spectar, mirar; mirar hacia adelante en el tiempo; representar el porvenir idealmente o crearlo en la imaginación. Prospechar, una más de la riquísima gama de expresiones que figurativamente se refieren a la vista para en significado referirse a procesos mentales, es prever, ver anticipadamente en el sentido de conjeturar por ciertas señales lo que ocurrirá.

Diferentes términos se refieren al deseo de prever el futuro: predecir (anunciar algo que sucederá); adivinar (predecir el futuro o descubrir las cosas ocultas por medio de agüeros o sortilegios); pronosticar (conocer el futuro por ciertos indicios); augurar (pronosticar por el vuelo o canto de las aves y otras observaciones); profetizar (anunciar las cosas en virtud de un don sobrenatural).

Al menos dos cosas distinguen a la prospectiva de las artes adivinatorias: (a) la razón que permite hacer explícitos los mecanismos empleados para analizar el futuro y potencialmente repetibles los ejercicios de análisis y (b) la intención de explorar el futuro (señalar cómo podrá ser) y no necesariamente de predecirlo (asegurar que será de cierta manera). Lo primero es lo más importante, si predecir con certeza fuese posible seguramente esa sería una de las tareas de la prospectiva; la unión entre imagi-

nación y razón es la piedra de toque de la prospectiva.

Entre las razones específicas que justifican un estudio prospectivo (o de prospectiva) se pueden anotar las siguientes:

- Maximizar los beneficios de los eventos externos a una organización.
- Maximizar los beneficios de eventos resultantes de acciones realizadas por una organización.
- Minimizar las pérdidas asociadas a eventos incontrolables externos a una organización.
- Compensar o aminorar acciones de organizaciones competidoras u hostiles.
- Predecir la demanda para producción y/o control de inventarios.
- Predecir la demanda para planeación de servicios y capital.
- Desarrollar planes administrativos y de política interna para una organización (personal y presupuestos).
- Predecir los impactos que sobre una organización pueden tener los eventos que suceden en el entorno.

Como puede observarse la mayor parte de razones enlistadas contienen en sí mismas la idea de maximizar beneficios o minimizar pérdidas en las condiciones futuras, con base en una acertada toma de decisiones. Ralph Lenz, pionero en la prospectiva tecnológica, ha presentado la siguiente lista de papeles específicos que puede jugar la prospectiva en el mejoramiento de la calidad de las decisiones.

- La prospectiva identifica los límites hasta los cuales es posible llegar.
- Establece posibles velocidades de desarrollo, de forma tal que el plan pueda realizarse aprovechando las ventajas

de dichas velocidades y no demanda una velocidad de desarrollo imposible.

- Describe las alternativas que se abren para la elección.
- Indica, si se desea, las posibilidades que pueden esperarse.
- Provee de un plan de referencia. Esto permite, en un punto en el tiempo, determinar si el plan aún puede cumplirse totalmente o no.
- Suministra signos de alerta que permiten modificar el rumbo de las presentes actividades.

Las definiciones de prospectiva dadas anteriormente incorporan nociones de racionalidad y análisis de datos, sin embargo, existen varias alternativas para realizar una predicción racional y analítica, algunas de éstas son las siguientes:

- a) No realizar una prospectiva. En esta alternativa se toman las decisiones sin intentar ver como puede ser el futuro y sin observar cuales pueden ser sus consecuencias, lo cual puede ser favorable o desfavorable. Es claro que una organización que opere bajo esta base puede no sobrevivir, aunque generalmente esta alternativa no se presenta como tal en forma literal. Lo que sí suele suceder es que una organización no realice predicción alguna durante un período dado, partiendo de la suposición de que durante tal período no se observará un cambio significativo en el entorno o en los factores de interés o que la velocidad con que ocurre el cambio es muy baja.
- b) Algo puede ocurrir. Esto representa la actitud de que el futuro se comporta en forma completamente impredecible (aleatoria), por lo que se cree que el hacer alguna predicción bajo estas circunstancias es muy difícil (o inútil). Esto equivale a renunciar de antemano a realizar el esfuerzo asociado a las implicaciones de la prospectiva. A una organización que se desenvuelve sobre estas bases le espera una corta vida.
- c) El glorioso pasado. En esta alternativa se adopta una actitud de observar el pasado e ignorar el futuro; puede ocurrir en organizaciones en las que un pasado promisorio las lleva a observar el futuro en forma por demás superficial (u optimista) sobre la suposición de que un pasado glorioso garantiza un futuro también glorioso.
Desafortunadamente, cuando las condi-

ciones cambian es muy poco probable que las decisiones y políticas tomadas en el pasado continúen siendo válidas. Una organización que concentra su atención en el pasado en lugar de hacerlo en el futuro corre el riesgo de convertirse en una pieza de museo.

- d) Prospectiva "de ventana cerrada". Aquí se involucra la actitud de que los acontecimientos se mueven en una ruta fija, sin dejar "abierta la ventana" para el cambio de rumbo por innovaciones futuras. Una organización que adopta esta actitud se autoimposibilita para aprovechar tales innovaciones.
- e) Acción de crisis. Esta alternativa puede describirse mejor como "tomar decisiones por pánico". Consiste en enfrenar un problema hasta que se ha llegado a un punto crítico (o de crisis) y entonces realizar alguna acción intentando atenuar el impacto provocado por dicha crisis. El moverse sobre una base como ésta, elimina la posibilidad de que una organización se dirija hacia un objetivo determinado y si los efectos de la crisis son muy fuertes, quizá ya ninguna acción posterior sea útil. Rigurosamente hablando esto no debiera ser una alternativa de la prospectiva ya que precisamente uno de los objetivos buscados al realizar una prospectiva es evitar llegar a una situación de crisis.

Como puede observarse todas las alternativas mostradas anteriormente no son alternativas reales (o recomendables) para efectuar una prospectiva, más bien ayudan, en cierta forma, a remarcar la importancia de realizar predicciones basadas ya sea en la intuición o en un análisis racional. El hacerlo de esta última forma además de asegurar mejores resultados, permite realizar la prospectiva mediante un proceso sistemático susceptible de ser explicado, comprendido, revisado y (en su caso) modificado por otras personas.

En general el método de prospectiva utilizado depende de varios factores, algunos de los más importantes son los siguientes:

- Grado de conocimiento del fenómeno (conocido, totalmente nuevo, etc.)
- Naturaleza de la decisión a tomar (preliminar, estratégica, etc.).
- Cantidad de datos disponibles.
- Período para el cual se realizará la prospectiva.

- Tiempo y recursos disponibles.

Como este estudio no se pretende realizar un estudio exhaustivo de las técnicas de prospectiva, en la siguiente sección solo se analizará con cierto detalle el método que se utilizó en el mismo.

método delphi

En las situaciones en las que no existen datos históricos o bien no se puede establecer la influencia que factores externos ejercen sobre el desarrollo de un fenómeno dado, la opinión de un experto puede ser la única fuente disponible para realizar una prospectiva. Entre los factores externos a los que se hace referencia se incluyen cambios en la opinión pública o en sus hábitos de consumo, nuevos descubrimientos o desarrollos tecnológicos, disposiciones gubernamentales (extranjeras), etc.

El método Delphi aprovecha precisamente el conocimiento y experiencia de un grupo de expertos para aplicarla en forma sistemática, con el objetivo de realizar una prospectiva cuyos resultados puedan utilizarse para vislumbrar cuales pueden ser las políticas más adecuadas a seguir en una situación dada.

Los objetivos perseguidos al emplear el método Delphi para realizar una prospectiva son los siguientes:

- Observar todas las posibles opciones de una situación
- Estimar el impacto y consecuencia de una opción en particular.
- Examinar y estimar la validez de una o varias opciones en particular.

Para un fenómeno dado, para el cual se quiere realizar una prospectiva, el método⁽¹⁾ consiste inicialmente en recabar la opinión de una serie de expertos (en el área en la que se circunscribe el fenómeno dado), a partir de un cuestionario que es elaborado expreso para este fin, el cual una vez contestado por la totalidad de los expertos seleccionados, se analiza para observar cual es la tendencia predominante en cada una de las respuestas. Después del análisis y sumarización de todas las respuestas, se cuenta ya con un resultado global preliminar de cada respuesta, estos primeros re-

sultados se "afinan" al realizar una entrevista posterior con cada uno de los expertos que ayudaron a contestar el cuestionario. Esto tiene una doble función, por un lado el experto en cuestión al conocer las respuestas globales de esta primera ronda, se ve retroalimentado y, en su caso, puede rectificar o ratificar sus respuestas exponiendo sus razones; y por otro lado, permite al grupo que aplica el método obtener más información alrededor del fenómeno y comprender mejor las respuestas obtenidas.

Este proceso puede repetirse en varias ocasiones (rondas) hasta que se logre un grado determinado de convergencia en las respuestas totales.

En el intervalo que existe entre las entrevistas, se analizan los resultados de éstas con lo que se pueden detectar errores asociados al proceso mismo o a la naturaleza de cada pregunta, como puede ser el ver la necesidad de modificar o agregar preguntas que ayuden a lograr más rápidamente la convergencia o reorientar para acercarse más al objetivo original del que se partió al iniciar el proceso.

Cabe aclarar que los cuestionarios se entregan por separado a cada experto, por lo que no existe interacción alguna entre ellos de tal forma que tampoco conocen el nombre del resto de las personas que forman el grupo o panel (su relación se da sólo a través de la(s) persona(s) que dirige(n) el estudio de prospectiva).

Esto constituye dos de las características particulares del método como son el anonimato con que se conduce y una alimentación controlada de información a cada integrante del plan. En la figura 8.1 se muestra en forma esquemática el procedimiento general seguido en la elaboración de un estudio de prospectiva utilizando el método Delphi. A continuación se dan algunas de las principales características de cada una de las fases del procedimiento.

- 1) Delimitación del objetivo. En la etapa inicial del proceso, una vez que se ha identificado un problema o necesidad, es necesario plantear un objetivo acorde con la naturaleza del problema y en el que se especifique el alcance y resultados que se pretenden alcanzar con el estudio.

(1) El método se desarrolló en 1969 y debe su nombre a la región Delphi (Delphos en la que, según la mitología griega, era el lugar en el que se daban las predicciones por él o los oráculos).

2) Elaboración del cuestionario. El cuestionario deberá estar formado por preguntas cuyas respuestas ayuden a lograr el objetivo buscado, por lo que a fin de obtener información útil al estudio por parte de panelistas (expertos), tales preguntas deben estar debidamente orientadas, sin ambigüedades, limitarse a una sola cosa (intentando separar cada uno de los factores); se recomienda además, que las preguntas se formulen de tal forma que conduzcan a respuestas concretas. Estas dos últimas cuestiones tienen como fin facilitar el análisis de las respuestas obtenidas.

3) Selección de los expertos. La selección del grupo de expertos se debe realizar con base en su experiencia, los integrantes se pueden reclutar de la industria, institutos de investigación, asociaciones, cámaras y órganos colegiados. No existe un número óptimo de integrantes, éste está en función tanto del tipo de problema como de la disponibilidad de expertos y recursos disponibles para manejar la información que el mismo grupo generará. Se entiende por "experto" a una persona que tiene un amplio conocimiento del tema en cuestión debido a su formación profesional,

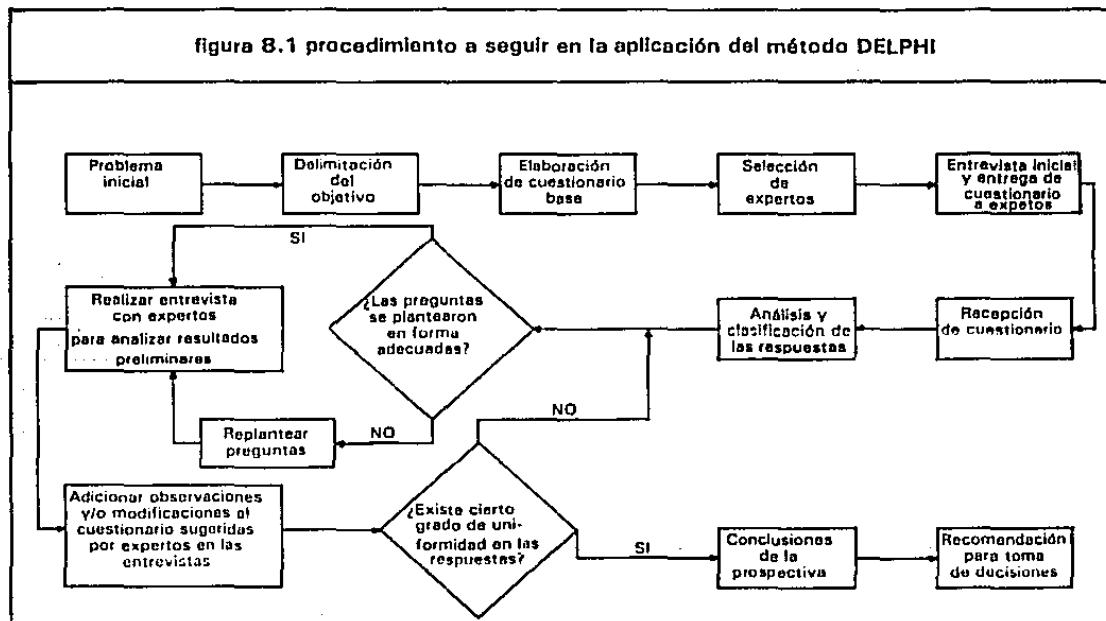
ocupación y trabajos realizados sobre el particular.

La filosofía del método contempla el hecho de que no se pretende formar un grupo que genere sus propias decisiones, sino que permite contar con un grupo informado que presente todas las opciones posibles (o la mayor parte de ellas) y que cuente con el soporte necesario de sus consideraciones. La filosofía del método es por lo tanto, una herramienta que permite el análisis de las consecuencias de determinadas políticas, más que un mecanismo para tomar decisiones.

4) Entrevista inicial y entrega de cuestionarios. Una vez que una persona ha aceptado formar parte del grupo de expertos, es necesario que antes de entregarle el respectivo cuestionario se le explique estrictamente cual es el objetivo que se espera lograr y que se espera de su participación, así como invitarlo a que aporte la mayor cantidad de comentarios posibles.

5) Análisis y clasificación de las respuestas. Cuando se tienen ya los cuestionarios de todos los integrantes del panel, el siguiente paso consiste en clasificar las

figura 8.1 procedimiento a seguir en la aplicación del método DELPHI



diferentes preguntas a fin de poder analizar los resultados, en la medida de lo posible, mediante métodos estadísticos para poder cuantificar el grado de uniformidad o dispersión de las respuestas obtenidas. En este punto es conveniente revisar si las respuestas obtenidas pueden ser útiles para lograr el objetivo deseado del estudio o si es necesario replantear alguna(s) pregunta(s) buscando una mejor comprensión por parte de los expertos, mayor facilidad de su manejo estadístico, eliminación de posibles ambigüedades, etc.

Se pueden identificar seis fases diferentes en el proceso de análisis:

- a) Formulación de las respuestas. ¿Qué respuestas deben realmente tomarse en cuenta?
- b) Exposición de las opciones. Dada una respuesta ¿cuáles son las políticas que de ellas se pueden contemplar?
- c) Determinación de las posiciones iniciales de los expertos, observando las cuestiones en las que existe acuerdo y en las que, por carecer de importancia se deben descartar.
- d) Intentar conocer las razones de los desacuerdos, mediante el análisis de las suposiciones y hechos en los que se basaron los expertos para proporcionar las respuestas.
- e) Evaluar las razones fundamentales, observando cuales fueron las suposiciones utilizadas para defender las diferentes posiciones a fin de compararlas entre sí sobre alguna(s) base(s) relativa(s).
- f) Reevaluar las opciones. La reevaluación se realiza en base a los puntos de vista que presentan alguna "evidencia" que los soporte, a fin de otorgarle cierta relevancia a cada posición.

La obtención de un consenso no debe ser el objetivo final del método, la información, puntos de vista y posibles consecuencias de adoptar una política dada pueden ser en sí mis-

mos, resultados más valiosos para la prospectiva.

- 6) Entrevistas para analizar resultados preliminares. Este segundo encuentro permite lograr un mejor entendimiento de las preguntas por parte de los expertos y de las respuestas obtenidas por parte del grupo que aplica el cuestionario. A partir de los comentarios y sugerencias de los expertos se pueden realizar modificaciones al cuestionario.
- 7) Análisis posteriores. El análisis estadístico de las respuestas permite observar la uniformidad en ellas, de tal forma que ésto puede utilizarse como criterio para decidir si se requieren rondas adicionales para alcanzar cierto grado de convergencia.

Entre las principales ventajas asociadas al método Delphi se pueden mencionar las siguientes:

- El anonimato en el que se mantienen los participantes permite a los mismos expresar libremente su opinión, evitando que ésta se vea influenciada por la emitida por una personalidad que goce de gran prestigio.
- El abarcar un amplio espectro de posibilidades gracias al aprovechamiento sinérgico de los conocimientos y experiencia de cada uno de los expertos.
- La posibilidad de conocer cada una de las razones últimas que llevan a cada experto a dar sus puntos de vista.
- Al no existir una interacción directa entre los participantes se elimina la influencia que pueda ejercer la presencia de un integrante con personalidad dominante.
- Se puede a partir del tratamiento estadístico de las respuestas, asignar una probabilidad a cada una de las opciones vislumbradas.

El tiempo requerido para realizar un estudio de prospectiva utilizando el método Delphi es variable y depende de factores como el alcance del estudio, el número de expertos que intervienen y rondas requeridas para alcanzar la uniformidad en las respuestas, así como de los recursos disponibles para efectuar la prospectiva. Los tiempos reportados para diferentes estudios van de varios meses hasta uno o dos años.

A.3. condiciones recomendadas para el moldeo

tabla A-1 factores recomendados en la transformación de resinas acetal vía moldeo por inyección

grado	temperatura de flujo (°C)	viscosidad de la resina (pascal-seg)	velocidad de inyección	temperatura de moldeo (°C)	% máxima reprocesada	diámetro del orificio de entrada (pulg)	encogimiento (pulg/pulg)	tiempo mínimo del ciclo (segundos)
homopolímero								
estándar (incluye reforzamiento con fibra de vidrio)	204 - 227	240 - 1300	baja o moderada	82 - 104	30	0.063-0.075	0.020	20
impacto modificado	193 - 215	330 - 1300	baja o moderada	10 - 71	35	0.063-0.075	0.020	20
copolímero								
estándar (índice de flujo-45)	177 - 199	180	media o alta	65 - 93	25	0.080-0.150	0.020-0.022	20
media viscosidad (índice de flujo-8)	182 - 199	250	media	↑	↑	0.100-0.150	0.020-0.023	30
alta viscosidad (índice de flujo = 25)	188 - 204	400	media			0.125-0.200	0.018-0.022	35
reforzado con fibra de vidrio								
12.5%	188 - 204	335	media	↑	↑	0.100-0.150	0.006-0.020	30
25%	193 - 210	400	media			0.125-0.200	0.004-0.018	30
reforzado con mineral								
bajo reforzamiento y alto flujo	182 - 199	200	baja	↑	↑	0.100-0.150	0.018-0.020	30
alto reforzamiento y flujo medio	188 - 204	280	baja					
impacto modificado	182 - 199	.....	media	↓	↓	0.100-0.150	0.018-0.020	30
medio impacto	182 - 199	.....	media					
alto impacto	188 - 204	.....	media	65 - 93	25	0.125-0.200	0.017-0.020	30

tabla A-2 factores recomendados en el procesamiento de nylons mediante moldeo por inyección

grado	temperatura de flujo (°C)	viscosidad de la resina (pascal-seg)	velocidad de inyección	temperatura de moldeo (°C)	% máxima reprocesada	diámetro del orificio de entrada (pulg)	encogimiento (pulg/pulg)	tiempo mínimo del ciclo (segundos)
nylon 6								
reseta sin modificar	238 - 271	120	baja a alta	10 - 93	50	0.040-0.070	0.009-0.0015	12 a 15
baja viscosidad	243 - 282	.....	baja a alta	10 - 93		0.060-0.090	0.009-0.0015	12 A 15
media viscosidad	238 - 271	120	baja a alta	82 - 93	50	0.040-0.070	0.007-0.013	9 a 12
baja viscosidad y rápida cicatrización	238 - 271	120	baja a alta	82 - 93				
reforzamiento con fibra de vidrio								
15%	243 - 277	.....	↑	82 - 93	25	0.060-0.090	0.004-0.008	12 a 18
33%	260 - 293	200		alta		82 - 93	0.080-0.125	0.003-0.006	12 a 18
44%	265 - 299	.....	alta	82 - 93	0.060-0.125	0.002-0.005	12 a 18	
reforzamiento mineral								
35 - 40%	271 - 299	185	↑	82 - 104	25	0.060-0.125	0.009-0.012	12 a 18
reforzamiento fibra vidrio/mineral	271 - 299	200	alta	82 - 104		0.060-0.125	0.008-0.006	12 A 18
impacto modificado								
bajo	249 - 282	100	baja a alta	10 - 93	25	0.040-0.080	0.09-0.080	15 a 18
medio	249 - 282	.....	baja a alta	10 - 93		0.060-0.090	0.010-0.016	15 a 18
alto	249 - 282	.....	baja a alta	10 - 93	0.060-0.090	0.010-0.016	15 a 18	
retardante de llama								
sin reforzar	238 - 260	.....	↑	82 - 93	25	0.060-0.090	0.009-0.015	12 a 18
25% de F.V.	260 - 293		alta		82 - 93	0.060-0.125	0.003-0.006	12 a 18
nylon 6,6								
reseta sin modificar	271 - 293	1000 posea	↑	38 - 93	50	0.040-0.070	0.015-0.020	12 a 15
baja viscosidad	271 - 293	1000 posea	↑	38 - 93		0.040-0.070	0.015-0.020	12 a 15
reforzada con fibra de vidrio; 13.33 y 43%	287 - 302	.....	↑	65 - 93	25	0.060-0.125	0.003-0.008	12 a 18
reforzamiento mineral	282 - 299		alta		82 - 109	0.060-0.125	0.012-0.017	12 a 18
reforzamiento fibra vidrio/mineral								
35 - 40%	282 - 299	.....	↑	82 - 104	25	0.060-0.125	0.010-0.015	12 a 18
impacto modificado	288 - 293		alta		38 - 93	0.060-0.125	0.010-0.020	12 a 18
retardante de llama								
sin reforzar	249 - 271	.....	↑	38 - 93	25	0.060-0.090	0.015-0.020	12 a 15
25% de F.V.	249 - 271		alta		38 - 93	0.060-0.090	0.003-0.005	12 a 18
otros								
superduro	288 - 293	.....	alta	38 - 93	25	0.060-0.090	0.015-0.020	12 a 15

tabla A-3 factores recomendados en la transformación de los poliésteres termoplásticos mediante moldeo por inyección

grado	temperatura de flujo (°C)	viscosidad de la resina (pascal-seg)	velocidad de inyección	temperatura de moldeo (°C)	% máximo de reprocesado	diámetro del orificio de entrada (pulg)	encogimiento (pulg/pulg)	tiempo mínimo del ciclo (segundos)
pbutilen tereftalato (PBT)								
resina de uso general	243 a 254	.....	baja a alta	90 a 146	25	0.050	0.018 a 0.022	35 a 50
reforzado con fibra de vidrio, 20 a 30%	249 a 265	.....	alta	79 a 90	25	0.060	0.004 a 0.007	30 a 40
reforzado con fibra de vidrio/mineral	248 a 260	.....	alta	79 a 90	25	0.060	0.004 a 0.007	30 a 40
impacto modificado	232 a 254	.....	alta	88 a 90	0	0.095	0.017 a 0.022	50 a 100
retardante de flama 20 a 30%	248 a 265	.....	alta	79 a 90	25	0.060	0.004 a 0.007	30 a 45
polietileno tereftalato (PET)								
reforzado con fibra de vidrio					25	0.020 a 0.100	0.004 a 0.008	15 a 18
15%	271 a 293	.....	moderada alta	82 a 121	25	0.020 a 0.100	0.003 a 0.005	15 a 18
30%	282 a 310	120 a 350					0.002 a 0.003	
45%	282 a 310	110 a 350					0.002 a 0.003	
55%	282 a 310	110 a 400					0.002 a 0.003	
reforzamiento mineral/ fibra de vidrio 35 a 40%	282 a 310	105 a 500	moderada alta	82 a 121			0.003 a 0.006	
impacto modificado								
30%	276 a 302	600	alta	93 a 121			0.002 a 0.009	
35%	271 a 298	450	alta	85 a 121			0.002 a 0.009	
retardante de flama reforzado con fibra de vidrio					25	0.020 a 0.100	0.004 a 0.008	15 a 18
15%	271 a 293	.....	alta	82 a 121	25	0.020 a 0.100	0.0015 a 0.009	15 a 18
30%	282 a 298	120 a 300	alta	82 a 121				
35%	282 a 298	110 a 300	alta	82 a 121				

tabla A-4 factores recomendados en la transformación del óxido de polifenileno (PPO) mediante moldeo por inyección

grado	temperatura de flujo (°C)	velocidad de inyección	temperatura de moldeo (°C)	% máximo de reprocesado	diámetro del orificio de entrada (pulg)	encogimiento (pulg/pulg)	tiempo mínimo del ciclo (segundos)
resina de uso general	280 a 315	baja a alta	65 a 121	25	0.080 a 0.125 0.125 a 0.250	0.005 a 0.007	30 a 60
reforzado con fibra de vidrio	228 a 326	baja a alta	88 a 104	25	0.060 a 0.125 0.125 a 0.250	0.007 a 0.005	30 a 60
retardante de flama	232 a 315	baja a alta	65 a 121			0.005 a 0.007	30 a 60
automotriz	276 a 310	baja a alta	76 a 104			50 a 90	

tabla A-5 factores recomendados en la transformación de policarbonato vía moldeo por inyección

grado	temperatura del flujo (°C)	velocidad de inyección	temperatura de moldeo (°C)	% máximo de reprocesado	encogimiento (pulg/pulg)	tiempo mínimo del ciclo (segundos)
resina sin modificar	271 - 315	baja a media	65 - 93	20 a 25	0.005-0.007	15 a 20
ciclo rápido	277 - 315					15 a 20
media viscosidad	288 - 315					15 a 20
alta viscosidad	315 - 343					15 a 20
alta resistencia al calor (poliéster policarbonato)	332 - 360				0.007-0.010	20 a 25
reforzado con fibra de vidrio						
10%	299 - 326		82 - 115		0.002-0.004	20 a 25
20%	315 - 338		62 - 115		0.003	20 a 25
30%	315 - 349		82 - 115		0.0025	
40%	315 - 349		93 - 126		0.002	
impacto modificado	288 - 315		71 - 93		0.005-0.007	20 a 75
retardante de flama						
ciclo rápido	271 - 304	baja a media	65 - 93	20 a 25	0.005-0.007	15 a 20
baja viscosidad	277 - 293		71 - 93			20 a 25
media viscosidad	288 - 315		71 - 93			20 a 25
alta viscosidad	315 - 343		82 - 126			20 a 25

tabla A-6 factores recomendados en la transformación de los copolímeros del eter de polifenileno mediante moldeo por inyección

grado	temperatura de flujo (°C)	velocidad de inyección	temperatura de moldes (°C)	% máximo de reprocesado	encogimiento (pulg/pulg)
resina de uso general	260 - 288	baja a moderada	71 - 82	25	0.005 - 0.007
retardante de flama	282 - 304	baja a moderada	82 - 110		0.006 - 0.008
retardante de flama estructura espuma	260 - 304	alta	27 - 60		0.005 - 0.007
reforzado con fibra de vidrio 20 - 30%	277 - 304	baja a moderada	82 - 110		0.002 - 0.004
reforzado con fibra de vidrio 20 - 30% y retardante de flama	277 - 304	baja a moderada	82 - 110		0.001 - 0.003