



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

34
9
e.j.

Prospectiva de los Plásticos de Ingeniería en México:
Un Análisis del Valor Agregado por
Cadena Tecnológica de Producción

TESIS MANCOMUNADA

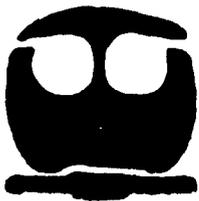
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A N :

JAIME RAUL CORDOBA CORTES

JOSE RAMON HERNANDEZ AGUILAR



MEXICO, D. F.

1996

1995

FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

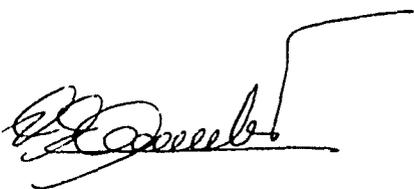
Jurado asignado según el tema:

Presidente	PROF. CARLOS ESCOBAR TOLEDO
Vocal	PROF. ARTURO LÓPEZ TORRES
Secretario	PROF. EDUARDO MARAMBIO DENNETT
1er. Suplente	PROF. HECTOR MARCELINO GÓMEZ VELASCO
2do. Suplente	PROF. FERNANDO DE JESÚS RODRÍGUEZ RIVERA

Sitio donde se desarrolló el tema:

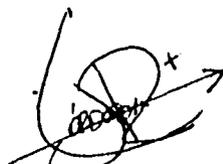
**DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN INDUSTRIAL
EDIFICIO D, FACULTAD DE QUÍMICA
CIRCUITO INSTITUTOS, U.N.A.M.**

Asesor:

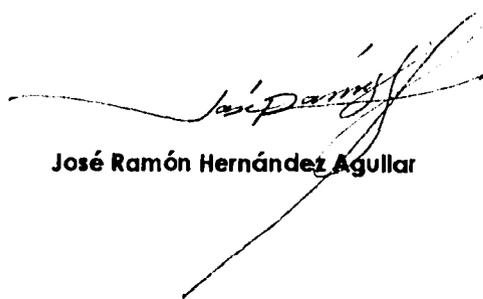


Dr. Carlos Escobar Toledo

Sustentantes:



Jalme Raúl Córdoba Cortés



José Ramón Hernández Agullar

**A Dios,
Nuestro Señor.**

Agradecimientos

Al Dr. Jaime Córdoba (q.e.p.d.),
su presencia en mi corazón sólo causa en mí, respeto,
admiraación y siempre el mas grande deseo de superación.

A María Elena,
todo su amor y nobleza que me ha otorgado,
los seguiremos viviendo por siempre.

A Jorge,
por su ejemplo y cariño,
que va más allá de la hermandad.

A Helen,
con la misma ternura que siempre vives.

Especialmente a José Ramón, Cristina y Andrés
y a los Amigos de Siempre,
por toda la amistad que estamos cosechando.

A la Universidad Nacional y su Facultad de Química,
por todas las oportunidades aprovechadas y las que faltan por,
me encuentro en deuda y con un compromiso por cumplir.

A las familias Córdoba y Cortés,
con mucho cariño.

Jaime Raúl Córdoba Cortés

Agradecimientos

A la Universidad,
sus Instituciones y sus Maestros.

A mi padre,
que con su ejemplo me ha enseñado lo fundamental
para vivir con integridad, responsabilidad y honestidad.

A mi madre,
que con su amor ha mantenido a nuestra familia unida
brindándome siempre un hogar que ha sido mi mayor sostén.

A Sandra,
por ser: mi amiga, mi novia, mi compañera,
la razón de mi esfuerzo diario, mi sueño y mi recompensa.

A mis hermanos Oscar y Juan Carlos,
por el cariño y apoyo que siempre he recibido.

A las familias Hernández y Aguilar,
con amor y gratitud.

A mis amigos Ricardo, Daniel, Iván, Ernesto y Jaime
por compartir conmigo lo trivial y lo profundo
de la vida a través de los años.

José Ramón Hernández Aguilar

Agradecimientos

Al Dr. Carlos Escobar Toledo,
por sus conocimientos compartidos que son la herramienta
más valiosa para afrontar las situaciones que nos da la vida,
con admiración y afecto.

Al Ing. Jorge Hanau,
por la gran oportunidad,
muestra de responsabilidad y carisma.

Al Ing. Mario Lepe,
por todos los conocimientos
y experiencia compartida.

A nuestros compañeros de trabajo
que en CPI siempre han demostrado su apoyo.

Jaime Raúl Córdoba Cortés
José Ramón Hernández Aguilar

CONTENIDO

	Página
Introducción	i - xxiii
Capítulo I	
Situación Actual de los Plásticos de Ingeniería	
1. Panorama General. Antecedentes	1
Capítulo II	
Los Plásticos de Ingeniería	
1. Propiedades	10
2. Procesamiento	13
3. Poliacetales	15
4. Poliamidas	40
5. Policarbonatos	60
6. Poliésteres	75
7. Óxido de polifenilo	103
Capítulo III	
Metodología de Análisis	
1. Metodología de Análisis	118
2. Acetal Copolímero	120
3. Acetal Homopolímero	121
4. Nylon 6 Chips	126
5. Nylon 6 Fundido	128
6. Nylon 6,6	130
7. Policarbonatos	135
8. Tereftalato de polibutileno extendido	140
9. Tereftalato de polibutileno cristalizada	143
10. Tereftalato de polietileno	147
11. Óxido de polifenilo	151
12. Óxido de polifenilo modificado	152
Capítulo IV	
Metadología Multifatributo	
1. Objetivos Múltiples y Multifatributos. (El Método ELECTRA)	162
2. Jerarquización y Selección de Tecnologías en Cadenas Petroquímicas	167
3. Selección Óptima de Tecnológicas en Cadenas Petroquímicas	172

Capítulo V
Resultados del Análisis de la Metodología Multiatributo

1. Acetal Copolímero	176
2. Acetal Homopolímero	178
3. Nylon 6 Chips	180
4. Nylon 6 Fundido	182
5. Nylon 6,6	184
6. Policarbonatos	186
7. Tereftalato de polibutileno extendido	188
8. Tereftalato de polibutileno cristalizado	190
9. Tereftalato de polietileno	192
10. Óxido de polifenilo	194
11. Óxido de polifenilo modificado	196
12. Resultados de la Optimización de Recursos Financieros	198

Capítulo VI
Prospectiva de los Plásticos de Ingeniería

1. Ciclo de los Proyectos de Inversión y Tipos de Estudios de Pre-Inversión	200
2. Conclusiones sobre la aplicación de la Metodología ELECTRA para la Planeación Estratégica de los Plásticos de Ingeniería	210
1. Conclusiones Generales.	223

Anexos

1. Memoria de Cálculo del Valor Agregado y Valor del Producto	
---	--

Bibliografía

Introducción

La presente tesis se enmarca en el proyecto de investigación denominado "Perspectivas de la Industria Petroquímica en México", que se está desarrollando en esta Facultad de Química [1].

El proyecto a que nos referimos tiene varios antecedentes. Nuestra intención no es repetir los numerosos trabajos que sobre este aspecto se han publicado. En la bibliografía, las referencias [2], [3], [4], explican en forma detallada los alcances y la metodología que se ha seguido.

Sin embargo, queremos expresar el principal objetivo que puede enunciarse como sigue:

" Desarrollar una metodología útil para la Planeación Estratégica de la Industria Petroquímica (IPQ) Mexicana, de manera de definir los procedimientos que permiten anticipar oportunidades y establecer estrategias para su futuro desarrollo. Localizar problemas dentro de su actual estructura, con una perspectiva de conjunto, por cadenas y rutas tecnológicas de producción, para la toma de decisiones a largo plazo, con un Horizonte de Planeación (HP) que cubra hasta el año 2015".

Introducción

La presente tesis se enmarca en el proyecto de investigación denominado "Perspectivas de la Industria Petroquímica en México", que se está desarrollando en esta Facultad de Química[1].

El proyecto a que nos referimos tiene varios antecedentes. Nuestra intención no es repetir los numerosos trabajos que sobre este aspecto se han publicado. En la bibliografía, las referencias [2], [3], [4], explican en forma detallada los alcances y la metodología que se ha seguido.

Sin embargo, queremos expresar el principal objetivo que puede enunciarse como sigue:

" Desarrollar una metodología útil para la Planeación Estratégica de la Industria Petroquímica (IPQ) Mexicana, de manera de definir los procedimientos que permiten anticipar oportunidades y establecer estrategias para su futuro desarrollo. Localizar problemas dentro de su actual estructura, con una perspectiva de conjunto, por cadenas y rutas tecnológicas de producción, para la toma de decisiones a largo plazo, con un Horizonte de Planeación (HP) que cubra hasta el año 2015".

Introducción

De acuerdo a este objetivo, el futuro comportamiento de la IPQ se ha analizado a través de un conjunto de variables que incluyen el desarrollo de procesos desde el punto de vista químico, tecnológico, económico y energético.

Por otra parte, debido a que las interrelaciones existentes entre estas variables fue necesario construir un conjunto de modelos que las representen, utilizando como herramienta, un procedimiento computacional [5].

Por otra parte, la IPQ es una compleja red de procesos formada con un gran número de cadenas correlacionadas, que satisfacen la demanda de los productos finales de ésta industria: materiales plásticos, fibras y hules sintéticos, fertilizantes y productos químicos especializados. La red de procesos, tiene como punto de partida los productos obtenidos de la refinación del petróleo y del procesamiento del gas natural. De esta manera, un producto intermedio puede ser producido a través de diferentes materias primas, mediante diferentes procesos tecnológicos, inclusive partiendo de distintos conjuntos de materias primas. El número de combinaciones de los procesos que parten de los productos básicos hasta los finales es muy grande, lo que conlleva a elegir el mejor conjunto de proyectos de desarrollo para la IPQ desde una óptica integral, tomando a la industria como un todo y no únicamente desde la perspectiva particular de cada uno, lo cual hace compleja la selección.

De acuerdo a ésta metodología, una vez determinadas las mejores estructuras de la IPQ y tomando en cuenta la demanda de los productos finales para producir la de los básicos así como las capacidades de producción internacionalmente competitivas, se busca obtener los productos con mayor Valor Agregado en la cadena de producción correspondiente.

Dentro de la "cartera" de proyectos obtenidos en ésta metodología, de manera global, se encontró al que se refiere la presente tesis, es decir, Los Plásticos de Ingeniería (PI's).

Introducción

Planeación Estratégica de la Industria Petroquímica.

Se han desarrollado diferentes esfuerzos para la planeación de la IPQ mexicana, de las cuales hemos tomado los que nuestra Facultad de Química ha realizado, bajo los cuales enmarcamos nuestra visión y que se encuentran en las referencias citadas [6, 7, 8, 9].

La planeación de la Industria Petroquímica (IPQ) de acuerdo a los estudios de referencia, debe establecer un rol estratégico concediéndole, además, un carácter prioritaria, en base a la oportunidad que esta representa para aprovechar nuestros recursos naturales, generar divisas y fortalecer la integración industrial del país. En virtud de que los hidrocarburos son la base y el punto de partida de esta y tomando en cuenta que la elaboración de algunos productos que se obtienen de la primera transformación química pertenecen al Estado, la política energética esta entonces ligada directamente a la planificación de esta industria. Al mismo tiempo, esta planificación es base para las siguientes transformaciones químicas y representa la interfase entre los requerimientos de energía secundaria y las materias primas para la elaboración de productos finales como plásticos, fibras sintéticas, elastómeros, fertilizantes nitrogenados, etc., que son a su vez la fuerza motriz de diversas industrias manufactureras.

Por lo tanto, el Sector Petrolero es el pivote de la Industria Petroquímica Básica y, a través de ella, lo es también de la Petroquímica Secundaria que utiliza los insumos de aquel, para aprovecharlos mas racionalmente, incorporando a los productos que elaboran, ese mayor Valor Agregado; asimismo, por sus efectos multiplicadores, impulsan la expansión productiva de un considerable numero de ramas industriales vinculadas con ellas, acelerando la actividad económica y contribuyendo al logro del crecimiento y la industrialización de nuestro país.

En un primer intento de modelación, se propuso como misión:

"Es menester, que se planteen para la Industria Petroquímica Básica, estrategias que conlleven al cambio estructural y que induzcan con ella y a través de ella, la oportunidad de participar activamente en los mercados de exportación con el fin de generar divisas, buscando a la vez que esto se logre por medio de las ventajas comparativas en la producción de bienes en forma competitiva sobre otros países productores".

Introducción

Las premisas en que se fundamentó dicha misión fueron:

a) De esta forma se propiciará, además, la formulación de estrategias, planes y programas específicos no solamente para la Petroquímica Básica, sino también para la Secundaria y las industrias manufactureras que procesan los insumos de ambas, estimulando por este camino las inversiones productivas que el país requiere.

b) El futuro desarrollo de la IPQ nacional no puede basarse solamente en programar metas de corto plazo; es necesario también responder a los cuestionamientos de como, para que y para quien producir, bajo la óptica de una planeación sectorial de mediano y largo plazos.

c) Tomando a la IPQ como un sistema, la elaboración específica de un programa integral de desarrollo de la misma, debe tratar de buscar congruencia entre las estrategias planteadas para la oferta de sus productos básicos, con la correspondiente a los productos de la IPQ secundaria y final, tratando de proporcionar para la primera, las prioridades de Integración y diversificación y, para la segunda, el sentido y la dirección de inversiones estratégicamente deseables para el país.

d) La estructura tecnológica de la IPQ se define aquí por cadenas productivas, en las cuales un producto de la demanda final, puede producirse por una diversidad de insumos que le son inmediatos a su producción y los que, a su vez, pueden también manufacturarse por diferentes rutas.

e) Tener agrupada a la IPQ por cadenas productivas, aclara la situación de interdependencia de un grupo de petroquímicos considerados dentro del esquema de producción nacional. El análisis por cadenas productivas establece, de esta manera, la interacción existente de un producto final con todos sus insumos e inversamente, las interacciones de este con todos sus derivados, siendo el conjunto de los petroquímicos finales los que dan el efecto inductivo a toda la cadena.

f) Deberá así proponerse específicamente, una cartera de proyectos susceptibles de formularse y evaluarse detalladamente, a la luz del cambio estructural que se analiza y de una política de participación en el mercado internacional. Considerando el marco de política sectorial, se coadyuvará a integrar las consecuencias que tales proyectos tendrán hacia origen y hacia destino.

Introducción

en sus diferentes ámbitos de influencia.

Este trabajo plantea las posibles estrategias alternativas para el desarrollo de la IPQ nacional, considerando un horizonte de planeación hacia el año 2015, estableciendo los requerimientos de petroquímicos básicos y sus materias primas (crudo y gas natural), a través de la concepción de las diversas rutas tecnológicas para la elaboración de productos de la demanda final e identificando las posibilidades de asistencia al mercado internacional y los requerimientos de inversión necesarios para la implantación de las estrategias evaluadas.

En una economía mixta, la planeación de la IPQ, debe consistir en un proceso de adaptación de programación su desarrollo, involucrando a las empresas de los sectores público y privado participantes en la producción, dentro de un marco de estrategias que conlleven al cambio estructural.

Para tal fin, se requiere una planeación que permita instrumentar metas cualitativas en forma cuantitativa, haciendo factible la búsqueda de alternativas en un contexto de optimización de recursos.

La planeación que ha articulado solamente programas de corto plazo y que se enmarca en una sola estrategia de desarrollo, ha dado resultados limitados. Debe por lo tanto, considerarse la factibilidad de realizar una planeación estratégica con especificación en el largo plazo de objetivos y metas y no solo con la especificación de políticas y operación; con la determinación global de necesidades y recursos y no solamente con el diseño de una estructura organizativa.

De este modo, se identificarán planes alternativos, existiendo entonces una función de demérito o de preferencia establecida, para no satisfacer la demanda a cualquier costo, con cualquier cantidad de recursos. Aún más si son escasos.

Dentro de este mismo aspecto, debe señalarse lo inadecuado que resulta el utilizar la evaluación de proyectos como criterio de planificación; ello equivale a suponer la existencia a priori de un equilibrio parcial en la economía, postulado que no es válido, particularmente cuando hay fuertes interdependencias entre los proyectos y cuando hay efectos de economías externas.

Introducción

En la industria de proceso, como es el caso de la PQ básica y de la secundaria, la dependencia es muy alta, ya que un bien producido fluye entre las unidades de un mismo sistema intercambiando productos, de tal modo que un desequilibrio de cualquiera de las partes repercutirá sobre el costo social, la balanza comercial y la rentabilidad financiera de otras unidades, empresas y sectores. Aún sin que existan relaciones explícitas entre productos Intermedios, la interdependencia puede darse si tales productos compiten por más de un solo recurso escaso.

Sistema de modelos

Utilizando un banco de información que contiene las principales características de un producto petroquímico (producción, capacidad instalada, variables de mercado, coeficientes de inversión y rutas tecnológicas alternativas para su obtención o de las que es precursor) [16] y sobre la base de escenarios macroeconómicos, se determinó la demanda de cada uno de los productos finales, especificando, además, las posibilidades de exportación de los diferentes productos, y de tal forma crear un escenario de demanda acorde a cada política de crecimiento. Con la información anterior y la estructura de las cadenas productivas, se calcularon las demandas inducidas de todos los insumos requeridos en cada una de las cadenas. Las demandas inducidas de los petroquímicos básicos, se alimentaron a un conjunto de modelos de simulación destinados a la planeación de IPQ básica para tener en cuenta sus interfaces: por una parte, con la política energética en materia de hidrocarburos y por otra, con los encadenamientos estratégicos de la política de modernización industrial.

Se obtuvieron a continuación las necesidades de inversión al integrar las producciones de la petroquímica básica, la intermedia y la final así como las importaciones, las que al relacionarse con la actividad exportadora en términos de metas, permitieron realizar el balance de divisas dentro de cada cadena y para toda la industria petroquímica. Al mismo tiempo se obtuvieron también los requerimientos de las materias primas básicas: crudo y gas natural.

Cabe mencionar que en cuanto a las posibilidades de expansión productiva, aquellas que involucran la selección de la mejor tecnología disponible para la producción, se resolvieron utilizando un criterio de evaluación beneficio/costo para cada cadena productiva, permitiendo de esta manera llevar a cabo una selección basada en los costos de producción de cada producto final en cadenas integradas.

Introducción

Con los resultados obtenidos del análisis de cada estrategia alternativa, se procedió a escoger la mejor de entre ellas utilizando criterios económicos como parámetros de selección.

De la estrategia seleccionada, se pudo determinar una cartera de oportunidades de inversión a corto plazo y mediano plazo para la Industria Petroquímica Secundaria, considerando que los proyectos de inversión concernientes a la Petroquímica Básica son necesarios para lograr el desarrollo deseado para la IPQ Nacional.

Diferentes políticas de diversificación tecnológica.

Una vez definidas las alternativas estratégicas, las tácticas alternativas resultan del conjunto de decisiones modeladas que determinan la estructura total del sistema en cada periodo del horizonte de planeación. Desde el punto de vista de la función de planeación integral, la solución consistirá entonces, en obtener la táctica alternativa óptima para la selección de una estrategia determinada.

Estos modelos responden al crecimiento de productos petrolíferos y petroquímicos básicos. Para estos últimos el pronóstico proviene de las diversas estrategias que puedan implementarse integralmente para toda la IPQ, a través de las demandas inducidas discutidas anteriormente. Para los primeros fue necesario implementar pronósticos que proporcionen las demandas futuras de dichas productos.

Escenarios de largo plazo para la IPQ nacional

Se ha podido observar la relación entre los modelos de oferta anteriores y la metodología a través de la cual se seleccionara la mejor estrategia de desarrollo para la IPQ nacional: la demanda de petroquímicos básicos se obtiene en forma inductiva, para luego alimentarla al sistema de modelos. Dada la complejidad que planteó llevar a cabo la simulación de cada una de las estrategias, se creó un sistema de cómputo adecuado a las necesidades de información y evaluación que proporciona en detalle y globalmente, los resultados de cada evaluación.

Introducción

Selección de los productos incluidos en las estrategias

Es necesario mencionar que a través del análisis histórico, para las variables de mercado de toda la IPQ de México, se identificaron en cada caso tanto la Integración como la utilización de las materias primas de cada cadena. De allí se obtuvieron un conjunto de productos finales que, por su importancia, podrían afectar la evolución de la IPQ mexicana.

En consecuencia, fue necesario llevar a cabo la selección cuidadosa de todos aquellos productos que se debieron incluir, tomando como criterios para tal selección, el grado de importancia de cada producto en cuanto a su utilización como insumo para la manufactura de otros petroquímicos, su impacto en otros sectores económicos del país, cuando se utiliza como materia prima de otro tipo de manufacturas y su uso como piedra angular para la integración de las cadenas petroquímicas.

El contexto de la IPQ mundial.

Para proceder a establecer las fuerzas y debilidades, las oportunidades y riesgos de México al acudir al mercado Internacional de petroquímicos como exportador, también fue necesario realizar un estudio sobre la IPQ mundial. En este, se efectuó un análisis de las características y posibles estrategias de los principales actores que conforman el mercado mundial de petroquímicas. Así, se pudo examinar la evolución de ese mercado mundial, estableciendo las fuerzas y debilidades por regiones y países para un conjunto representativo de productos finales.

Base para la evaluación de las estrategias

Con el propósito de llevar a cabo una comparación y posterior selección entre las diferentes estrategias, fue necesario evaluar cada una de ellas, utilizando un instrumento que permitiera cuantificar tanto las fuerzas, como las debilidades que cada una de ellas posee dentro del horizonte de planeación.

Una estrategia que se pretende simular mediante algún instrumento, inmersa en un medio ambiente específico, se apoya en la definición de las interrelaciones de los diferentes productos que forman la

Introducción

Selección de los productos incluidos en las estrategias

Es necesario mencionar que a través del análisis histórico, para las variables de mercado de toda la IPQ de México, se identificaron en cada caso tanto la integración como la utilización de las materias primas de cada cadena. De allí se obtuvieron un conjunto de productos finales que, por su importancia, podrían afectar la evolución de la IPQ mexicana.

En consecuencia, fue necesario llevar a cabo la selección cuidadosa de todos aquellos productos que se debieron incluir, tomando como criterios para tal selección, el grado de importancia de cada producto en cuanto a su utilización como insumo para la manufactura de otras petroquímicas, su impacto en otros sectores económicos del país, cuando se utiliza como materia prima de otro tipo de manufacturas y su uso como piedra angular para la integración de las cadenas petroquímicas.

El contexto de la IPQ mundial.

Para proceder a establecer las fuerzas y debilidades, las oportunidades y riesgos de México al acudir al mercado internacional de petroquímicos como exportador, también fue necesario realizar un estudio sobre la IPQ mundial. En este, se efectuó un análisis de las características y posibles estrategias de los principales actores que conforman el mercado mundial de petroquímicos. Así, se pudo examinar la evolución de ese mercado mundial, estableciendo las fuerzas y debilidades por regiones y países para un conjunto representativo de productos finales.

Base para la evaluación de las estrategias

Con el propósito de llevar a cabo una comparación y posterior selección entre las diferentes estrategias, fue necesario evaluar cada una de ellas, utilizando un instrumento que permitiera cuantificar tanto las fuerzas, como las debilidades que cada una de ellas posee dentro del horizonte de planeación.

Una estrategia que se pretende simular mediante algún instrumento, inmersa en un medio ambiente específico, se apoya en la definición de las interrelaciones de los diferentes productos que forman la

Introducción

Industria, mediante el concepto ya definido de cadenas productivas, permitiendo, de esta manera, obtener una visión de conjunto o de algún subconjunto de productos. Así, se conceptualizó a la IPQ dentro de una estructura que permitió evaluar, en Interacción con su medio ambiente, la implantación de una estrategia en particular y sus efectos sobre el total, ya sea entre sus partes, con sus clientes y con sus competidores, tomando en cuenta los productos inicial y final de una o varias cadenas, simultáneamente

Obviamente, la mejor vía para resolver este problema es llevar a cabo una evaluación económica detallada acerca de los costos y beneficios que sería posible obtener de implantarse alguna de las estrategias pero esto podría convertirse en una labor titánica, de no existir el sistema de modelos y la metodología que se propone.

Es sumamente importante mantener claros los siguientes conceptos fundamentales:

- Costo Total de materia prima. Es el costo expresado en dólares por tonelada de producto final, que resulta de multiplicar el precio del petroquímico que inicia la cadena, por los coeficientes técnicos que se encuentran en la trayectoria del petroquímico inicial hacia el producto final y sumando finalmente el costo de materia prima de cada petroquímico que inicia la cadena.
- Costo total de inversión. Es el costo expresado en dólares por tonelada de producto final, que resulta de sumar las inversiones requeridas por tonelada de producto final, partiendo de los petroquímicos que inician la cadena, mas cada una de las inversiones adicionales de los productos intermedios, tomando en cuenta los coeficientes técnicos que se encuentran en la trayectoria entre el producto del que se hace la inversión y el producto final de la cadena
- Costo anualizado de la inversión. Es el costo total de inversión anual considerando una vida útil de las instalaciones y un costo de oportunidad del capital expresado como una tasa de interés.
- Costo representativo de producción. Es la suma del costo total de materia prima mas el

Introducción

costo total anual de la inversión

- Relación costo representativo de producción/precio de venta. Es una medida de la posición competitiva de un producto con respecto al mercado.

Los costos se componen básicamente de inversiones (incluyendo la rentabilidad del capital), materias primas y requerimientos de divisas para llevar a cabo la importación de aquellos productos petroquímicos cuya demanda interna no es satisfecha por la producción nacional. En cuanto a las ganancias, estas quedan delimitadas en muy buena parte por la generación de divisas, por ejemplo por la vía de las exportaciones.

Al tomar en cuenta tanto el balance de divisas, como los requerimientos de inversión y materias primas para cada estrategia, se dispone de los elementos necesarios para que el análisis individual y de conjunto de las estrategias, se lleve a cabo a la luz de los mismos factores y utilizando las mismas bases de evaluación.

Lo anterior puede conducir no solo a la selección de la mejor estrategia sino también a la jerarquización de las estrategias restantes, con la certidumbre de que el instrumento utilizado en el análisis toma en cuenta factores que son estables en su aplicación y que a la vez, son los necesarios para llevar a cabo la selección final.

Por todo lo anterior, la mejor estrategia será aquella que posea el mínimo costo total, entendiéndose que tal costo estará compuesto, para un periodo en particular, por los costos anuales equivalentes de las inversiones requeridas, el balance de divisas y el costo de las materias primas que se demandaran durante dicho periodo.

Conclusiones del Mercado Internacional

Debido al panorama cambiante de los costos de las materias primas y de la energía, la sobrecapacidad actual de producción, la globalización del mercado de productos petroquímicos, la desincorporación de compañías estatales en la producción petroquímica y a la disminución de

Introducción

los márgenes de ganancia, se puede concluir que han ocurrido grandes cambios estructurales en la IPQ y que estos seguirán teniendo lugar en un futuro previsible.

A pesar del cambio en la dinámica de esta industria, el potencial de producción y mercadeo de los países desarrollados, se verá afectado en un grado menor al que se había pronosticado. Por lo tanto, los grandes países comercializadores de mercancías petroquímicas, continuarán fuertes en el escenario internacional de su comercio.

Por otro lado, de las fuerzas que actúan sobre la IPQ, las que crearán un cambio estructural permanente, serán aquellas provenientes de las grandes inversiones en nuevas plantas, por nuevos participantes en nuevas regiones geográficas.

Aún así, hasta que estas inversiones se consoliden realmente en términos de las materias primas, tecnologías y mercadeo, su impacto en la IPQ será temporal.

De las tendencias en términos de la competitividad regional, a través de la próxima década para los principales petroquímicos básicos, que representan el punto de partida de la IPQ, se puede concluir que los productos basados en los hidrocarburos C1, principalmente amoníaco y metanol, mantendrán, como en el inicio de la IPQ y la criogenia, su origen de producción en las áreas mundialmente ricas en hidrocarburos.

Por lo que corresponde a la cadena cuyo punto de partida son los hidrocarburos C2, básicamente el etileno, seguirán siendo altamente disputados entre los diferentes actores en países desarrollados y en desarrollo con recursos de hidrocarburos. Sin embargo, estos últimos, irán ganando paulatina pero seguramente, la competencia que se ha generado. Por lo que corresponde a los hidrocarburos C3, básicamente propileno y olefinas más pesadas (butadieno), así como los aromáticos y sus derivados, permanecerán competitivos en los países desarrollados.

En el caso de los hidrocarburos C1 existe una creciente ventaja de costos más competitivos para los países ricos en hidrocarburos, que desean aumentar su producción de petroquímicos dentro del mercado de los energéticos. El resultado de este cambio estructural incrementará la competencia con la participación de compañías estatales, reduciendo entonces las expectativas de alta

Introducción

rentabilidad y, por lo tanto, incrementando el riesgo financiero para todos los productores.

Por su parte, las compañías multinacionales se han dirigido a sus mercados locales cada vez más, siendo también más selectivas en sus nuevas inversiones. Todos los esfuerzos de tales compañías estarán a su vez encaminados a reducir los riesgos mediante el reforzamiento de las actividades de Investigación y Desarrollo, la conservación y uso eficiente de la energía y la reducción de costos. Su objetivo será, por lo tanto, obtener el máximo beneficio de las plantas existentes.

Por otra parte, las compañías petroleras con áreas dedicadas a la producción PQ, que se habían integrado verticalmente hacia tal campo y que aún sufren de una sobre-expansión, tratarán de preservar su autonomía dentro de las complejas estructuras de sus organizaciones.

En el futuro, las restricciones de inversión impuestas, limitarán la respuesta de estas compañías a las oportunidades que pudieran presentarse dentro de la IPQ.

En el caso de las compañías estatales de países ricos en hidrocarburos, incluyendo a México, han tenido que enfrentar una disminución de sus ingresos, debido a los decrementos del precio del petróleo - en términos reales - y a las altas tasas de interés prevalecientes en los mercados financieros internacionales. Esta situación ha cancelado muchos planes enfocados a la producción en la IPQ; sin embargo, debería esperarse que estas compañías sean las primeras en proporcionar una respuesta a las necesidades del mercado, en lo que respecta a los hidrocarburos C1 y C2 e inclusive C3.

Deberá tenerse en cuenta, no obstante, que las restricciones internas no disminuyen su competitividad en un escenario de precios deprimidos de hidrocarburos que es inversamente proporcional al costo de los productos petroquímicos y por lo tanto a la rentabilidad.

El resto de los actores, podrían tener nuevas expectativas de crecimiento gracias a la disminución de los precios de la energía. Sin embargo, también las altas tasas de interés han disminuido la demanda inducida de petroquímicos intermedios y finales, deteniéndose así muchos proyectos.

Dentro de esta misma óptica, es posible que en los países desarrollados con exceso de capacidad, se considere que las grandes inversiones realizadas en la década de los años setenta, estén ya

Introducción

rentabilidad y, por lo tanto, incrementando el riesgo financiero para todos los productores.

Por su parte, las compañías multinacionales se han dirigido a sus mercados locales cada vez más, siendo también más selectivas en sus nuevas inversiones. Todos los esfuerzos de tales compañías estarán a su vez encaminados a reducir los riesgos mediante el reforzamiento de las actividades de Investigación y Desarrollo, la conservación y uso eficiente de la energía y la reducción de costos. Su objetivo será, por lo tanto, obtener el máximo beneficio de las plantas existentes.

Por otra parte, las compañías petroleras con áreas dedicadas a la producción PQ, que se habían integrado verticalmente hacia tal campo y que aún sufren de una sobre-expansión, tratarán de preservar su autonomía dentro de las complejas estructuras de sus organizaciones.

En el futuro, las restricciones de inversión impuestas, limitarán la respuesta de estas compañías a las oportunidades que pudieran presentárseles dentro de la IPQ.

En el caso de las compañías estatales de países ricos en hidrocarburos, incluyendo a México, han tenido que enfrentar una disminución de sus ingresos, debido a los decrementos del precio del petróleo - en términos reales - y a las altas tasas de interés prevalecientes en los mercados financieros internacionales. Esta situación ha cancelado muchos planes enfocados a la producción en la IPQ; sin embargo, debería esperarse que estas compañías sean las primeras en proporcionar una respuesta a las necesidades del mercado, en lo que respecta a los hidrocarburos C1 y C2 e inclusive C3.

Deberá tenerse en cuenta, no obstante, que las restricciones internas no disminuyen su competitividad en un escenario de precios deprimidos de hidrocarburos que es inversamente proporcional al costo de los productos petroquímicos y por lo tanto a la rentabilidad.

El resto de los actores, podrían tener nuevas expectativas de crecimiento gracias a la disminución de los precios de la energía. Sin embargo, también las altas tasas de interés han disminuido la demanda inducida de petroquímicos intermedios y finales, deteniéndose así muchos proyectos.

Dentro de esta misma óptica, es posible que en los países desarrollados con exceso de capacidad, se considere que las grandes inversiones realizadas en la década de los años setenta, estén ya

Introducción

amortizadas o que su amortización se considere un costo sumergido (diferencia entre el valor registrado en libros y el de salvamento) para que, en cualquiera de los dos casos, se pueda vender a costo marginal, incrementando con ello su competitividad.

Aunado a lo anterior, se agrega que:

Las especialidades de alta tecnología seguirán siendo producidas y comercializadas por los países desarrollados, en donde las compañías multinacionales absorberán a las pequeñas que posean alta rentabilidad.

Aumentarán las inversiones en la IPQ incrementando su nivel de concentración, tomándose una situación clara de oligopolio.

Existe un potencial de mayor rentabilidad durante cada etapa de recuperación en cada ciclo económico, que hará, sin embargo, que esta rentabilidad se considere de un alto riesgo.

Por último, la investigación futura encaminada a aumentar eficiencias, disminuir el consumo de energía o al desarrollo de nuevos productos y aplicaciones, se seguirá dando a no dudarlo en los países con el potencial para realizarla en función de expectativas económicas.

Se prevé, asimismo, un incremento en la investigación de la transformación de metanol (que en el caso de México, inclusive cuenta actualmente con un plan de investigación en marcha en el Instituto Mexicano del Petróleo), a otros petroquímicos básicos e intermedios, que redundará en concentrar el aprovisionamiento de este producto en áreas ricas en gas natural que lo exportaran por esta vía, para que los países proveedores de esas tecnologías, los transformen en productos finales de alto valor agregado, que entonces les serán vendidos a altos precios con márgenes de utilidad cada vez mayores.

Sistema de Modelos: Resultados

Una vez considerados diferentes estrategias para el desarrollo de la IPQ, se aportan los siguientes resultados:

La estrategia óptima es la de la especialización de la producción. Es menester advertir, sin embargo,

Introducción

que el ejercicio de planeación que se ha realizado puede presentar variaciones de fondo y forma que alterarían los resultados encontrados desde esta óptica y dentro del marco del Sistema Nacional de Planeación Democrática. Estos requieren de un proceso exhaustivo de consulta con los diversos sectores involucrados en el desarrollo de esta Industria

Debido a que la estrategia óptima se vincula con la producción petroquímica en forma selectiva con un proceso de exportación-importación basado en la detección de fuerzas y debilidades y de oportunidades y riesgos en el mercado internacional, podría esperarse que cualquier cambio significativo en las condiciones del entorno, tenga repercusiones de trascendencia para los diferentes oferentes o demandantes de productos de este sector.

La estrategia seleccionada solo se puede observar integralmente en el largo plazo; a este respecto es conveniente aclarar cuales son sus fortalezas y debilidades

Fortalezas

- a) Se promueve una IPQ congruente con los objetivos nacionales y se demuestra abajo los análisis costo-beneficio realizado, la rentabilidad de la Industria por cadena productiva y no por producto aislado.
- b) Se impactan cadenas productivas considerando la importancia estratégica de contar con suministro nacional.
- c) Se hacen eficientes a las cadenas productivas por cambios en sus rutas tecnológicas de producción, que inclusive pueden sustituir importaciones.
- d) Se elaboran productos competitivos a escala mundial con metas de exportación de corto y largo plazo, aprovechando la capacidad instalada actual en el primero y creando infraestructura suficiente para el segundo.
- e) Se aprovechan ventajas comparativas en la petroquímica básica.

Introducción

Debilidades

- a) Se depende, para satisfacer la demanda interna, del comercio exterior, importándose a partir de la década de los 90, productos de consumo generalizado.
- b) Los cambios económicos que trastorquen las ventajas comparativas que en algunas cadenas producidas el país posea, para cada uno de los periodos del horizonte de planeación.
- c) El impacto de variaciones drásticas en el precio internacional del petróleo crudo que afecte las relaciones costo-beneficio de las cadenas productivas seleccionadas para esta estrategia, cambiándolas en una dirección tal que las convierta en no viables.
- d) Las altas cantidades de propileno, petroquímico básico con debilidades en la actual estructura productiva, significarían un esfuerzo adicional para satisfacer la demanda interindustrial de este compuesto en términos de la materia prima requerida.

De la articulación interna de la industria

Es necesario operar sobre bases de eficiencia a lo largo de las cadenas productivas, de manera que la ventaja comparativa que representa la disponibilidad de los recursos naturales básicos, sea transmitida a eslabones posteriores de dichas cadenas. En este contexto, la adecuada articulación entre la Petroquímica Básica y la Secundaria constituye el punto de partida para lograr el desarrollo sano y sostenido del sector y asegurar una participación continua en el mercado internacional.

Además de lo anterior, para instrumentar la estrategia óptima, es indispensable que dicha articulación se continúe en los eslabones subsecuentes de las cadenas productivas de manera que la competitividad se mantenga a lo largo de dichas cadenas, lo cual es necesario para lograr exportaciones con mayor valor agregado, así como para obtener precios internos adecuados.

De la política tecnológica

Introducción

La existencia de una estructura tecnológica eficiente es esencial para lograr la competitividad de la industria petroquímica del país. Asimismo, el fortalecimiento de la tecnología propia es condición necesaria para reducir la dependencia del exterior en este campo y lograr un desarrollo industrial más autónomo. Para lograr lo anterior es necesario, en primer lugar, asegurar que las rutas tecnológicas, es decir, los procesos y materias primas utilizadas para elaborar un determinado producto, sean las que reporten mayor eficiencia en la investigación y desarrollo tecnológico a nivel internacional.

Es en este sentido, como queda configurada la estrategia óptima. Asimismo, es necesario fortalecer el proceso de transferencia y asimilación de tecnologías de punta y promover la investigación y desarrollo propios. Las rutas tecnológicas utilizadas en la estrategia óptima implican un cambio estructural, cuyos frutos se harán evidentes en el mediano y largo plazos.

Por lo anterior, se debe utilizar el amplio margen de acción para mejorar las políticas de adaptación, investigación y desarrollo de tecnología, que aprovechen el potencial de nuestros centros de educación superior y de investigación, en forma coordinada con los centros de producción de la IPQ.

Debe considerarse para este efecto, que las piedras angulares del desarrollo tecnológico de la IPQ nacional son los hidrocarburos C1, C2 y C3 y que por lo tanto, la investigación deberá encaminarse al aprovechamiento de tales hidrocarburos dentro de las cadenas de elaboración de productos de la demanda final donde la participación en el mercado internacional y las condiciones costo-beneficio, sean las óptimas, tratando de maximizar el contenido de tales hidrocarburos. Por lo que se refiere al esfuerzo para fortalecer las cadenas C3, será necesaria una interacción de la política energética para la obtención del propleno por cuanto que este producto es obtenido en su mayor parte de fracciones de la refinación del petróleo crudo.

Las refinerías petroquímicas podrían jugar un papel preponderante en la elaboración del propileno que fortalecería, también, la disponibilidad de los hidrocarburos aromáticos, tales como el benceno, tolueno y xileno. De igual manera, la producción de propleno con base en el propano, susceptible de obtenerse de los líquidos del gas natural, la tecnología de proceso ha mejorado últimamente en forma contundente. México cuenta ya con una planta o escalo internacional.

Introducción

De la participación de los agentes económicos en la producción

Las disposiciones constitucionales en materia petroquímica, son fundamentales para asegurar la soberanía de la Nación sobre sus recursos naturales y el manejo directo, por parte del Estado, de ramas industriales de carácter estratégico y constituyen, a no dudarlo, un elemento inamovible en términos de la Política Nacional de desarrollo industrial.

Considerando la importancia que se le pretende asignar a la IPQ dentro de la estrategia de la modernización, sería necesario estudiar muy detenidamente la posibilidad de centralizar la IPQ para formar un ente corporativo en el que diversas empresas petroquímicas actuarían en forma de divisiones.

Al definir de esta manera el conjunto mencionado de empresas, se conservan los lineamientos del Reglamento de la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo, en materia petroquímica. Además, a partir de la segunda transformación de los derivados de los hidrocarburos se podría promover la creación de empresas subsidiarias a la corporación con participación del sector privado sin menoscabo de la participación del Estado en esta industria eminentemente estratégica.

Las ventajas que se tendrían de una estructura corporativa como la que se pretende serían:

- La delegación de autoridad y de responsabilidad para tomar decisiones en el ámbito de su propia actividad, incluyendo tecnologías, compra de insumos, venta de productos, etc.
- Servir de fuerza directriz para instrumentar las políticas de desarrollo industrial promovidas por el Estado.
- Abatimiento de los costos de operación e inversión a través de los precios de transferencia entre las empresas de la corporación, como uno de los medios más importantes de control, participación y distribución de responsabilidades, beneficios y costos y precios de transferencia. Estos se pueden utilizar para valorar el flujo de bienes y servicios que se transferirán entre las

Introducción

empresas de la corporación considerándose con las propiedades de mantener la autonomía de las empresas y hacer que estas tiendan hacia el objetivo global de la corporación.

- Valorar los recursos naturales con los que cuenta la nación en materia de hidrocarburos.
- Dar continuidad, con la inversión privada, a los objetivos de la corporación haciéndolos incluir, a su vez, hacia el sector de las manufacturas.

La tabla 1 presenta para los petroquímicos finales que por mercado sería importante ampliar su capacidad de producción o construídas debido a que no se elaboran en México.

PEYROQUÍMICOS FINALES: CADENAS INTEGRALES
Inversiones: mas de 100 millones de dólares
(valor presente, 1990, 10%)
• Resinas de poliuretano
• Cloruro de polivinilo
• Polietileno de alta densidad
• Urea
• Resinas y fibras de polipropileno
• Fibras acrílicas
• Éter metil terbutílico
• Nylon 6 y 6/6 (plásticos)
• Policarbonatos
• Copolímero de acetato de vinilo y etileno
• Resinas poliacetales
• Polivinil butiral
• Poliésteres termoplásticos (PBT y PET)
• Óxido de polifenileno modificado

Tabla 1

Otros resultados relevantes:

- Una tasa de ganancia elevada conduce a un aumento de la inversión hacia origen, es decir, al nivel del sector de explotación de los hidrocarburos.
- Orientar los mercados de exportación selectivamente con los productos que tengan el mejor Valor Agregado para la economía del país.
- Estimular las cadenas de petroquímicos teniendo en cuenta sus características estructurales y su

competitividad a nivel internacional.

Consideraciones.

Es necesario subrayar que los modelos aquí descritos son solamente las herramientas que sirven para la planificación integral del desarrollo de la IPQ y que solamente ayudan a que esta planificación no se efectúe a posteriori o sobre bases más bien especulativas.

Estos modelos ayudan así a los tomadores de decisiones, para medir y analizar las consecuencias de sus decisiones alternativas posibles. Esto último quiere decir, que tales decisiones serán tomadas en última instancia por quienes tienen la capacidad para tomarlas y que todo modelo debe utilizarse solamente si existe la voluntad potencial de querer explotar y percibir la naturaleza del fenómeno propuesto y no para engendrar cifras.

Los últimos acontecimientos relativos a la desincorporación de varios productos petroquímicos que habían sido clasificados como básicos tal como lo indica la resolución de la Secretaría de Energía, Minas e Industrial Paraestatal [2], obligan a reformular algunas estrategias que habían estado incluidas en los modelos de simulación ya descritos, principalmente el que se refiere al de Oferta de Petroquímicos (básicos e Intermedios manufacturados por Pemex) y gas natural.

El cambio cualitativo importante debe efectuarse en el modelo de oferta de petroquímicos. En este, puede notarse que la función objetivo era la minimización del valor presente de los costos totales incurridos menos los beneficios derivados de las exportaciones. De la misma forma la solución global de los tres modelos descritos, cambia de manera importante. La explicación es la siguiente: el modelo deberá incluir una función objetivo diametralmente opuesta. Ya Pemex no debe integrarse verticalmente respecto de los productos petroquímicos intermedios que debía manufacturar para satisfacer la demanda nacional: ahora compete contra posibles importaciones y contra productores nacionales, la mayor parte de ellos integrados hacia destino.

Pemex debe por lo tanto tratar de maximizar sus ganancias pues la empresa ha sido colocada en un contexto de competencia, considerándose también una adecuada política fiscal para la

Intraducción

retención razonable de impuestos.

Baja esta óptica, la producción petroquímica básica debe buscar maximizar la diferencia entre los ingresos por la venta tanto en el exterior (exportaciones) como en el interior de sus productos, menos todas las costas en que se incurra, incluyendo las de importación. Lo anterior puede conllevar a que la expresión de dicha función objetivo sea no lineal, ya que sería necesario utilizar como variables endógenas tanto los precios internos de los productos básicos e intermedios contra los que compite, como las cantidades de estos mismos productos susceptibles de venderse internamente y/o exportarse.

Respecto de la coordinación y jerarquización de los modelos centralizados, que conduzcan a la solución óptima global, el concepto de precio de transferencia se debe sustituir por el de costo de oportunidad y, entonces, la coordinación se hará por medio de la asignación óptima de recursos a los productos que Pemex manufacture de acuerdo a aquel uso alternativo del recurso que proporcione la mejor rentabilidad y no destinada a dar un subsidio virtual a las empresas privadas, de utilizarse el concepto de precio de transferencia.

Específicamente, las plásticas representan una parte muy importante en la satisfacción de muchas necesidades de cualquier sociedad civilizada del mundo. Su consumo en países altamente industrializados llega a ser de alrededor de cien kilogramos per capita. Estamos sin duda en la Era del Plástico. Gran participación en este desarrollo han tenido los llamados *plásticos de gran volumen* (commodities) -polietileno, polipropileno, PVC, poliestireno y poliuretano-, los cuales seguirán creciendo a tasas moderadas. El mercado de los anteriores será principalmente los países en vías de desarrollo, mientras que en los desarrollados su principal consumo será sobre los que nos ocupan, Las Plásticas de Ingeniería (PI's).

En el caso de México, con un consumo de plásticas de casi quince kilogramos por habitante, y con un potencial como gran consumidor así como la cercanía geográfica con un país altamente industrializado y enorme mercado a nivel mundial de plásticas, se hace necesaria el conocimiento de este sector industrial; su desarrollo, tecnologías actualmente empleadas y las proyecciones mundiales.

Introducción

Los cuadros profesionales que crea la Universidad deben tener una visión más práctica y comprometida con la situación que actualmente vive el país. Los profesionistas tenemos ahora la responsabilidad de afrontar los retos por venir, es decir, no sólo debemos tener interés en ser mejores, sino esforzarnos en hacer realidad nuevos proyectos que impulsen la economía del país. La actividad intelectual generada en las Universidades debe crear metodologías y sistemas asimilables que permitan al sector creativo de la sociedad mexicana acceder al movimiento económico desarrollado en nuestro país. Existen muchos ojos puestos en México pretendiendo sacarle provecho y también nosotros debemos dar valor a las oportunidades y potencialidades que existen.

La creación o renovación de nuestras empresas se debe sustentar en la siguiente base: tener una misión no sólo de acumulación de riqueza sino también de beneficio a la sociedad. Como Ingenieros Químicos hemos visto la necesidad y la posibilidad de que en un determinado sector se pueda invertir y generar dichas empresas. Esta tesis pretende dar una metodología y una visión que se extienda a otros sectores que también resultarían beneficiados. El país reclama mejores, más eficientes y eficaces empresas, no sólo para competir sino para satisfacer sus propias demandas.

Los sistemas que actualmente vivimos no ha provocado una situación de bienestar clara a la mayoría de los mexicanos. Esto no quiere decir que los esquemas estén totalmente caducos, sino que pueden ser enriquecidos con el afán de procurar un beneficio más representativo de toda la sociedad.

Así pues, para enriquecer este afán creativo y promotor, la presente tesis comprende lo siguiente:

En el primer capítulo, ponemos de manifiesto la importancia de los PI's a partir del análisis de su mercado a nivel mundial. Dentro del binomio oferta-demanda, consideramos solamente esta última para observar su crecimiento entre 1984 a 1994. Consideramos también el mercado mundial en los principales países desarrollados: E.U.A. , Unión Europea y Japón.

En el segundo capítulo y continuando con la importancia de los PI's, describimos sus principales propiedades así como los mercados a los cuáles están destinados y los principales procesos de obtención.

Introducción

En el tercer capítulo utilizando un método recursiva como una metodología de análisis para calcular el Valor Agregado de la cadena tecnológica correspondiente a cada PI; para ello hemos acudido a una base de datos de los diversos procesos que están involucradas en las cadenas de producción, desde sus materias primas básicas y los productos intermedias hasta completar el producto final correspondiente. En cada etapa de la cadena se utiliza el concepto de "Valor de Producto" que es por definición, su costo total de producción mas una rentabilidad basada en la inversión de cada planta dentro de la cadena.

Creemos creído conveniente utilizar solamente capacidades de producción competitivas a nivel mundial. La contribución principal de este capítulo está representada por las diferentes combinaciones entre tecnologías y materias primas que se pueden implantar para producir cualquiera de los PI's bajo análisis.

En el capítulo cuatro, proponemos una metodología multiatributo para jerarquizar y seleccionar óptimamente los procesos (tecnologías) y materias primas que llevarían a la producción de cada uno de los PI's que estamos analizando. Para ello definimos la característica de "atributo" de cada cadena para llevar a cabo la etapa de jerarquización. Por lo que respecta a la etapa de selección óptima, la función objetivo quedará representada como la maximización de los valores de los atributos sujeta a restricciones presupuestales respecto de capital necesario para implantar los proyectos jerarquizados.

En el capítulo cinco presentamos los resultados que corresponden a la información proporcionada en el capítulo tres que además de mostrarse sirve como alimentación a la metodología descrita en el capítulo cuatro, en la que se refiere a la etapa de jerarquización para todas las combinaciones de tecnologías - materia prima de la cadena que termina con alguno de los PI aquí analizadas. Como ejemplo de la etapa de optimización, solamente hemos obtenido los resultados para el caso del tereftalato de polietileno (PET).

En el último capítulo proporcionamos los lineamientos para implantar a nivel de proyecto específico, cualesquiera de los PI's analizados. Este capítulo contribuye al proceso de planeación estratégica, etapa necesariamente anterior a la de realizar un estudio técnico-económico para analizar la factibilidad de producir en México uno o varios de los PI's aquí propuestos, ya que se tendrán las materias primas necesarias, la tecnología y los resultados económicos globales que

Introducción

Justifican la puesta en marcha de una o varias productoras del objeto de nuestro estudio.

Se proporciona además de la bibliografía, un anexo que corresponde a la memoria de cálculo de los 4 atributos empleados (Valor Agregado, Valor del Producto, Materias Primas necesarias y Servicios Auxiliares necesarios), así como la calificación de estos para cada una de las tecnologías analizadas de PI's y que dan pie a la optimización de procesos, presentada únicamente para el PET, que se resumen en el capítulo cinco.

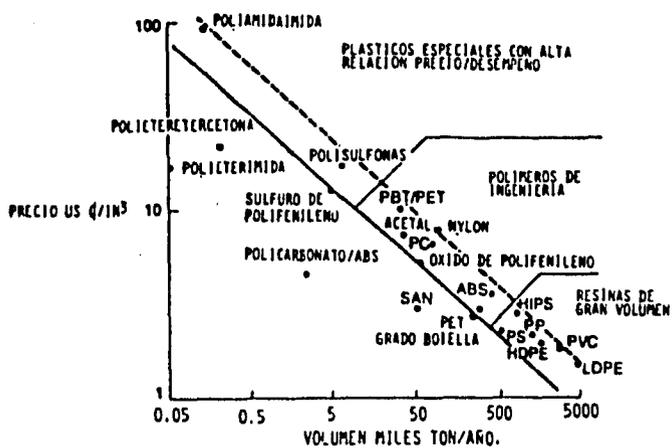
Capítulo I

Situación Actual de los Plásticos de Ingeniería

El desarrollo de resinas de ingeniería empezó con el trabajo de Carothers [13,15] sobre los nylons en E.I Du Pont de Nemours and Co. durante los años 30's. Tienen una etapa de desarrollo dinámica en los 60's y 70's, emergiendo en este periodo varios materiales poliméricos que ofrecían una versatilidad muy grande en cuanto a sus propiedades térmicas y mecánicas, sustituyendo a materiales tradicionales como la madera, el vidrio, la cerámica, el acero, etc.

Su disponibilidad hizo que su aplicación en mercados especiales (electrónico, aeronáutico, automotriz) creciera prununciadamente, se vió rentabilidad en los proyectos de desarrollo y se disminuyó el tiempo entre desarrollo y comercialización.

SENSIBILIDAD DE LA RELACION PRECIO/VOLUMEN EN LAS RESINAS DE GRAN VOLUMEN Y DE INGENIERIA (ESCALA LOGARITMICA)



Los Plásticos de Ingeniería, [13,15] forman un grupo de materiales con relación bajo volumen de producción / alto precio, con esto se diferencian de los de gran volumen y los plásticos especiales (Ver Gráfica 1). Sus precios son gobernados principalmente por los costos de las materias primas. Sin embargo, cuando un PI se encuentra consolidado en su ciclo de vida, el alcanzar altos niveles de producción les permite aprovechar el efecto de la economía de escala para lograr una disminución en los costos de producción, reflejándose en los precios.

A pesar de que los últimos años 20 años se desarrollaron y comercializaron varios PI, sólo la polieterimida ha sido el único comercializado en los 80's, esto asociado con el alto riesgo asociado con la introducción de nuevos materiales, que cuesta millones de dólares y años de esfuerzo. Sin embargo ahora se comercializan nuevas mezclas de PI's, a menudo diseñadas para aplicaciones específicas y para las cuales se requieren entre dos y cuatro años para su implementación, siendo las inversiones en equipo y planta mínimas.

En la presente tesis realizaremos una revisión acerca del desarrollo, producción, procesamiento y mercados de los principales PI y de ello veremos que es innegable la importancia que hoy en día tienen estos materiales en la sociedad, cada uno de los que presentamos así como sus diversos derivados. 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 aplicación es cada vez más amplio.

Hoy en día existen más de 30 plásticos de ingeniería en el mercado, aunque los que a continuación se analizarán, observan 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 a la obtención de polímeros tipo aromático altamente condensado y sus tecnologías de procesamiento; otro aspecto relevante en el desarrollo de nuevos materiales 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 las de ingeniería o entre una de ingeniería y otra de gran volumen, también a través de la combinación diversificada de resinas con relleno y fibras (entre ellas están la fibra de carbón, fibra de boro, fibra polianida aromática, etc.).

Hoy en día no existe un sólo producto que por su forma no pueda ser fabricado de 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. Tal es el caso de 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 de la 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.

Uno de las aplicaciones más revolucionarios de éstos productos es en la medicina, la fabricación de instrumental, partes de algunos equipos médicos y además se aprovechan las propiedades de biocompatibilidad para fabricar venas sintéticas, huesos, órganos internos, piel sintética, etc., lo que representa 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 inverso y diálisis, se reducen 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.

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 pequeños que pueden ser transportados 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 acentuó 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 substancialmente los índices de fluidez a ciertas temperaturas, con lo cual, los procesadores del plástico de

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 aprovechan las propiedades de biocompatibilidad para fabricar venas sintéticas, huesos, órganos internos, piel sintética, etc., lo que representa 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.

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 substancialmente 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 de alto índice de fluidez sin menoscabo de su resistencia y estabilidad dimensional.

Estos dos grandes aspectos de los PI no pueden avanzar sin un apoyo económico que soporte las actividades de investigación y desarrollo. En países desarrollados se invierte mucho dinero en éstos 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 este primer capítulo, es conveniente mencionar que los PI comprenden una parte muy importante del volumen de ventas mundiales de plásticos, al grado tal, que en algunas regiones del mundo, específicamente Estados Unidos, Europa Occidental y Japón, se habla ya de los PI de gran volumen, esta terminología contempla a aquellos cinco PI que más se consumen mundialmente y que son los que analizaremos a continuación.

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 las propiedades específicas de diferentes materiales termoplásticos, y que presentan ventajas adicionales con respecto al desarrollo de nuevos plásticos de ingeniería.

Por otra parte, dado que hemos ya sentado el marco de referencia sobre el cual haremos nuestro análisis, es decir los tipos de plásticos de ingeniería que vamos a analizar, una serie

de datos que sí queremos incluir son los de la demanda de estos productos que establezca el porqué de este trabajo bajo la simple perspectiva de la importancia a nivel mundial de estos productos.

Así pues, a manera de breve resumen enlistamos los datos estadísticos disponibles de la demanda de estos productos para los últimos 5 años¹ [10, 11, 12] para los principales mercados internacionales ya mencionados (Estados Unidos de Norteamérica, Europa Occidental y Japón).

Al mismo tiempo se establece mediante la siguiente relación matemática lo que se conoce como "Tasa media anual de crecimiento de la demanda":

$$\text{Tasa media anual de crecimiento de la demanda}_{\text{año}_n - \text{año}_i} (\%) = \left[\left(\frac{\text{año}_i}{\text{año}_n} \right)^{1/n} - 1 \right] * 100$$

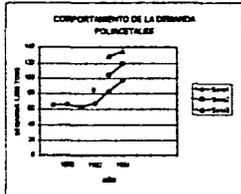
donde año_n : es el último año de datos disponibles ,
 año_i : es el año del dato más antiguo disponible y
 n : cantidad de datos disponibles

¹ En algunos casos estos datos no estuvieron disponibles para los PI's específicos de esta tesis, de manera que se consideró el dato del tipo general de PI correspondiente (i.e. Nylon 6,6 en Nylons) o el dato reportado del producto con mayor demanda en el mercado que pertenece al tipo de PI.

Policarbonato

Año	Demanda [1,000 TONS]				
	EE.UU.	BRIC OCC.	JAPÓN	MÉJICO	
1989	65				
1990	64				
1991	67				1,194
1992	77				2,021
1993	83	104	129		1,385
1994	87	114	132		

TASA ANUAL DE CRECIMIENTO (%) = 4.8997 4.9667 2.2992 -4.6927



Policarbonato

Año	Demanda [1,000 TONS]				
	EE.UU.	BRIC OCC.	JAPÓN	MÉJICO	
1989	264				0.74
1990	263				
1991	275				3,042
1992	254	209			2,282
1993	264	240	162		5,241
1994	113	291	207		

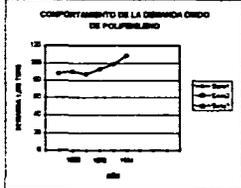
TASA ANUAL DE CRECIMIENTO (%) = 1.6337 3.2493 5.0922 16.2941



Quete de Policarbonato

Año	Demanda [1,000 TONS]				
	EE.UU.	BRIC OCC.	JAPÓN	MÉJICO	
1989	86				N/D
1990	90				N/D
1991	87				N/D
1992	93				N/D
1993	99				N/D
1994	108				N/D

TASA ANUAL DE CRECIMIENTO (%) = 1.6312

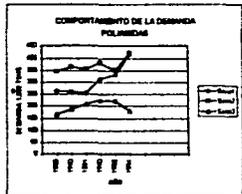


Fuentes: [1] Asociam. Plásticos
[2] IRI
[3] CANACINTRA

Policarbonato

Año	Demanda [1,000 TONS]				
	EE.UU.	BRIC OCC.	JAPÓN	MÉJICO	
1989	263	246	167		1,926
1990	259	246	156		3,273
1991	253	385	204		
1992	314	387	222		6,644
1993	251	302	220		
1994	418	422	181		

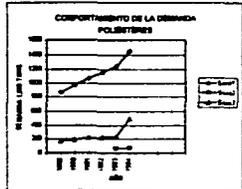
TASA ANUAL DE CRECIMIENTO (%) = 8.0281 3.3448 1.3508 42.7714



Policarbonato (PI + PIR)

Año	Demanda [1,000 TONS]				
	EE.UU.	BRIC OCC.	JAPÓN	MÉJICO	
1989	646		177		5,354
1990	972		190		4,522
1991	1067		212		3,725
1992	1151	69	225		13,294
1993	1245	77	232		19,219
1994	1451	77	493		

TASA ANUAL DE CRECIMIENTO (%) = 9.2209 5.6302 19.1791 47.8802



Considerando ahora el paulatino crecimiento histórico específico de la Industria mexicana del plástico así como su desarrollo futuro, existen altas posibilidades de que sean los plásticos de ingeniería con mayor volumen de ventas mundiales, lo que primeramente pudieran inundar el mercado nacional, asimismo, puede pensarse que necesariamente son lo que primero se deberán producir en nuestro país, y de esta forma, estar acordes con los lineamientos del desarrollo industrial del país para el sector petroquímico.

De todo lo anterior es necesario entonces establecer una clara prospectiva de la situación de los PI con miras a lograr una reorganización de toda la IPQ mexicana, sin embargo, no es esto motivo de un estudio extremadamente profundo específicamente en el área de la administración industrial como lo sería un análisis de prefactibilidad o factibilidad con todas sus etapas.

Capítulo II

Los Plásticos de Ingeniería

1.1 Propiedades [13, 14, 15]

En los PI, se emplean métodos de prueba ASTM, los límites de flamabilidad se basan en estándares de Underwriters Laboratories (UL). En la tabla 1.2 se muestran las propiedades, métodos de prueba y unidades en el Sistema Internacional.

Propiedades físicas. La morfología de los PI 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 polietilacetona, etc., en tanto que los polímeros amorfos sí lo hacen. Otras propiedades afectadas por la morfología se presentan en el cuadro siguiente.

PROPIEDAD	PLÁSTICO CRISTALINO	PLÁSTICO AMORFO
Transmisión de la luz	NADA - BAJA	ALTA
Lubricidad	ALTA	BAJA
Estabilidad dimensional	ALTA	MODERADA
Encogimiento al moldear	ALTA	BAJA
Resistencia al disolventes	ALTA	BAJA

Tabla 1.1 Efecto de la morfología sobre las propiedades

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 (como es el caso de partes para aeronaves o en partes automotrices de tamaño considerable al del automóvil).

Propiedades térmicas. Todos los PI presentan excelentes propiedades térmicas, lo que permite aplicaciones en altas o muy bajas temperaturas. Presentan una temperatura de deflexión de color 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 enfocado a producir materiales con propiedades térmicas predecibles, adecuados 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.

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
Transparencia	D 1003	%
Índice de refracción		Adimensional
Índice de amarillamiento	D 1925	Adimensional
Térmicas		
Temperatura de deflexión	D 648	
A 0.46 MN/mm ²		°C
A 1.82 MN/mm ²		°C
Capacidad calorífica		J / (Kg °K)
Capacidad térmica		W / (m °K)
Coefficiente de expansión térmica	D 696	Por °C
Nivel de inflamabilidad estándar UL 94		
1.6 mm de espesor		Varios códigos
3.2 mm de espesor		Varios códigos
Eléctricas		
Resistencia dieléctrica en corto tiempo	D 149	KV / mm
3.2 mm de espesor		
Constante dieléctrica	D 150	
60 Hz		Adimensional
10 ⁶ Hz		Adimensional
Mecánicas		
Resistencia a la tensión	D 638	
De cedencia		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

1 N/mm² = 1 MPa

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	D 256	
En un espesor de 3.2 mm		
Ranurado		J / m
Sin ranurar		J / m
Dureza Rockwell	D 785	
M		Adimensional
R		Adimensional
Reológicas		
Viscosidad		
Dinámica		Pa s
Intrínseca*		D / gr
Cinemática		mm ³ / s
Flujo en espiral		cm
3.2 mm DE ESPESOR		
Índice de fluidez	D 1238	gr

Tabla 1.2 Métodos de prueba y unidades para las propiedades de plásticos de Ingeniería

Propiedades eléctricas y mecánicas. La resistencia dieléctrica, constante dieléctrica, factores de disipación y resistividad volumétrica pueden cambiar con la temperatura y con la absorción de agua. En el caso de las mecánicas ocurre de igual forma. Estas últimas los hacen ideales para la manufactura de partes pequeñas y muy complejas o de paredes delgadas y muy resistentes. El desarrollo de PI con propiedades eléctricas especiales (fotosensibilidad, conductividad eléctrica, piezoelectricidad, etc.) presenta un futuro muy halagüeño.

Resistencia química. Esta propiedad está menos definida que las anteriores. Los métodos de prueba incluyen la inmersión en vapores o líquidos, tratamiento superficial, pruebas a altas temperaturas, etc., las cuales se evalúan midiendo antes y después de cada prueba las propiedades del material. La escala empleada en los resultados se indica sólo como excelente, buena o mala, las interpretaciones pueden ser muy amplias.

Agentes que afectan la resistencia química son productos: químicos orgánicos, ácidos y bases acuosas, sales, disoluciones tampón, luz de varias longitudes de onda, etc. En este último caso, varias resinas contienen moléculas que absorben luz visible y ultravioleta (entre 2.500 y 3.000 nm) de modo que esta susceptibilidad es importante para aplicaciones en la construcción o uso a la intemperie.

Propiedades reológicas. Se determinan tanto en el estado sólido como en el fluido. En el último, para el diseño de partes plásticas y moldes (inclusive por CAD y CAM); afecta también la formación de líneas (o zonas) en las que se concentran esfuerzos internos, llenado del molde y las condiciones

necesarias de procesamiento. Los perfiles de propiedades completas incluyendo datos reológicos no se encuentran disponibles para todos los plásticos de ingeniería, no obstante la recopilación de esta información va cambiando.

1.2 Procesamiento

Moldeo por inyección. Es el más comúnmente utilizado 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 sometidos posteriormente a secado. Estos 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, así la viscosidad tipo debe ser de 10,000 Pa s a un esfuerzo de corte de 100 s⁻¹.

Una variación es el moldeo por inyección de espuma, en donde a la resina fundida y a presión en la cámara de fusión se le inyecta junto con un gas inerte o un agente neumatógeno. 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, que pueden ser muy grandes o complejas.

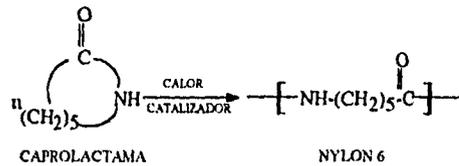
Moldeo por soplado. La resina fundida se extruye como tubo plástico cilíndrico, el molde se cierra alrededor del tubo y se inyecta súbitamente aire por la parte interior del tubo plástico; con esto las paredes adoptan la forma del molde, que posteriormente se abre para permitir la liberación de la parte moldeada y fría.

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 soplado. Los PI 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 estos.

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 en la fabricación de contenedores moldeados por soplado, películas extruídas y láminas.

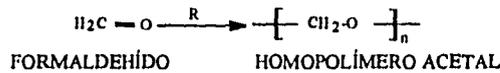
Moldeo por inyección-reacción (RIM) y fundición reactiva. Estos procesamientos han sido demostrados sobre el Nylon 6, el cual es polimerizado por medio de la apertura catalítica del anillo bencénico y condensación lineal de la caprolactama, la cual se puede ejemplificar por la reacción:



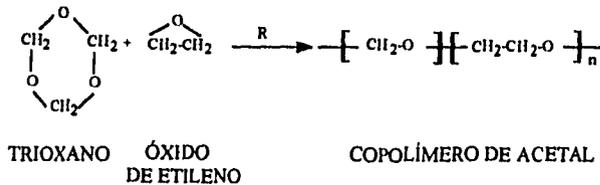
Algunos otros plásticos pueden procesarse de esta forma, incluso han sido empleados en construcciones preimpregnadas en donde el termoplástico es totalmente dispersado como una fase continua con vidrio, otros plásticos, fibra de carbón o cualquier otro reforzamiento. Los artículos de uso final que pueden fabricarse con estas construcciones utilizan técnicas usuales de termoformado.

2. POLIACETALES

Las resinas acetal son homopolímeros de óxido de polimetileno y formaldehído, así como 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 grupos éster o éter.



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 disolventes y autolubricantes, sus características de flujo son excelentes, 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.

PROPIEDAD	DELFIN 500 (HOMOPOLÍMERO)	CELCON M90 (COPOLÍMERO)
Temperatura de deflexión a 18.5 Kg/cm ²	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	26.766
Densidad relativa	1.42	1.41

Tabla 2.1 Propiedades de las Resinas Acetal

Estas clases 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.

2.1 Generales

Los polímeros de 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. Du Pont 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 grupos 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 (Acrilonitrilo-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 está 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.

2.2 Propiedades de las resinas acetal

Las principales propiedades, intermedias entre las de los plásticos y las 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 disolventes
- Buenas características de aislamiento eléctrico
- Rango normal de temperaturas de operación: 51°C a 160°C
- Buena apariencia
- Lubricidad natural

En la siguiente tabla 2.2 se dan los valores numéricos de las principales propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas tanto del copolímero como del homopolímero.

PROPIEDAD	HOMOPOLÍMERO	COPOLÍMERO	PRUEBA ASTM
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	D 732
Resistencia al Impacto Izod a 23° C ranurada (J/m)			D 256
23° C	69 - 122	53 - 80	
-40° C	53 - 95	43 - 64	
Dureza Rockwell, Escala M	94	80	D 785
Coefficiente de fricción dinámica			D 1894
Con acero	0.1 - 0.3	0.15	
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	
Coefficiente de expansión térmica lineal x 10 ⁻⁵ /°C	75	84	D 696
Conductividad térmica (W/m ² K)	0.2307	0.2307	
Capacidad calorífica (J/Kg ² K)	1465	1465	
Punto de fusión (°C)	175	165	
Temperatura de flujo, °C	184	174	D 569
ELÉCTRICAS			
Constante dieléctrica 10 ² - 10 ⁶ Hz	3.7	3.7	D 150
Factor de disipación 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
Carta tiempo en hojas de 2.29 mm	20	20	
Resistividad superficial (Ohm)	1 x 10 ⁵	1.3 x 10 ¹⁶	D 257
Resistividad volumétrica (Ohm cm)	1 x 10 ⁵	1 x 10 ¹⁴	D 257

Tabla 2.2 Propiedades de las resinas poliacetal

2.3 Usos de la 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 e instrumentos. La descripción de cada uno de éstos mercados se da a continuación.

Automotriz

El uso principal de los polioacetos se encuentra en las partes para automóviles y camiones, principalmente en pequeños componentes mecánicos donde se requieren buena resistencia y apariencia agradable. Ejemplos comunes de estas partes son manijas para puertas y ventanas, interruptores, broches de cinturones de seguridad y partes para el sistema de combustible. En algunos casos automotrices el uso de los polioacetos está limitado a las temperaturas que éstos soportan.

Artículos de consumo

Este es el segundo mercado en importancia para los polioacetos, y aunque en los artículos de consumo las preferencias del consumidor juegan un papel muy importante, los polioacetos 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 años se espera un crecimiento moderado de este mercado, debido a que se prevé que en el mercado de los cintos de videocassettes los resinos ABS desplacen a los polioacetos en base a su menor costo.

Maquinaria Industrial

En este mercado las propiedades que se requieren son de lubricidad, estabilidad dimensional y rigidez, propiedades que reúnen los resinos acetol, lo que los hace competir favorablemente con los metales en la fabricación de pequeños 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 cojinetes, poleas, engranes, etc. Los nuevos polioacetos 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 los resinos acetol 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 en 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.

2.4 Mercado Internacional de los Poliacetales

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.

A continuación se presenta la información relativa a mercados de consumo para las resinas acetales [10, 13, 14, 15]:

Mercado	Estados Unidos	Japón	Europa Occidental
Componentes y Partes Automotrices	26.6	30.3	26.3
Artículos de consumo	22.5	3	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	5	19.7 ^a
Otros	2.7	10.4	2.8
Total	100%	100%	100%

Tabla 2.3 Distribución porcentual de la demanda de resinas poliacetal por región mundial [1994]

2.5 Mercado Nacional

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. Sin embargo, los niveles de dichas importaciones continúan siendo bajos.

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 de 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 la 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.

^a Includida en "otros"

^b Se incluyen videocasetes y discos

^c Se incluyen en el renglón de maquinaria industrial

^d Incluye equipo de oficina

En la siguiente tabla se resume la distribución porcentual de consumo de Poliacetales en México [11, 12]:

Mercado	%
Cuerpo de encendedores	20
Cuerpos de cassettes de audio y video	17
Electrodomésticos	15
Juquetes	15
Industria Automotriz	13
Artículos de plomería	10
Otros	10
Total	100

Tabla 2.4 Distribución porcentual de la Demanda de poliacetales en México [1994]

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 económica es deseable utilizar la primera como materia de arranque, se analiza la situación de mercado nacional para ambos productos.

Metanol

Es uno de los petroquímicos que más sana desarrollo ha tenido, pasando de producto de importación a producto de exportación, logrando además relaciones de producción-capacidad instalada bastante buenas. Otras aplicaciones del metanol están en la producción de formaldehído, dimetil tereftalato y metacrilato de metilo, además de usarse como disolvente.

Formaldehído

Existen 14 empresas productoras de formaldehído en México. 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 las siguientes productos:

- Resinas Fenólicas
- Hexametil Tetramina
- Resinas Urea - Formaldehído

- Resinas Melamina Formaldehído

2.6 Tecnología

Rutas Tecnológicas Existentes para Producir Resinas Poliacetal

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

- Ruta a partir de metanal 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 homopolímera 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 copolímera denominado polloximileno. 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 acetal.

Análisis 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
- Catalización 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 tal y como se muestra en la figura 2.1.

Las materias primas iniciales pueden ser trioxano, formaldehído gaseoso, paraformaldehído 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 disolución-suspensión anhidra
- Polimerización en disolución-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 purificación 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.

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 anhidros. La mayor desventaja de trabajar con sistemas acuosos o metanólicos de polimerización, además del control más estricto que requiere, está en que la reacción requiere más tiempo (en ocasiones se requieren hasta días).

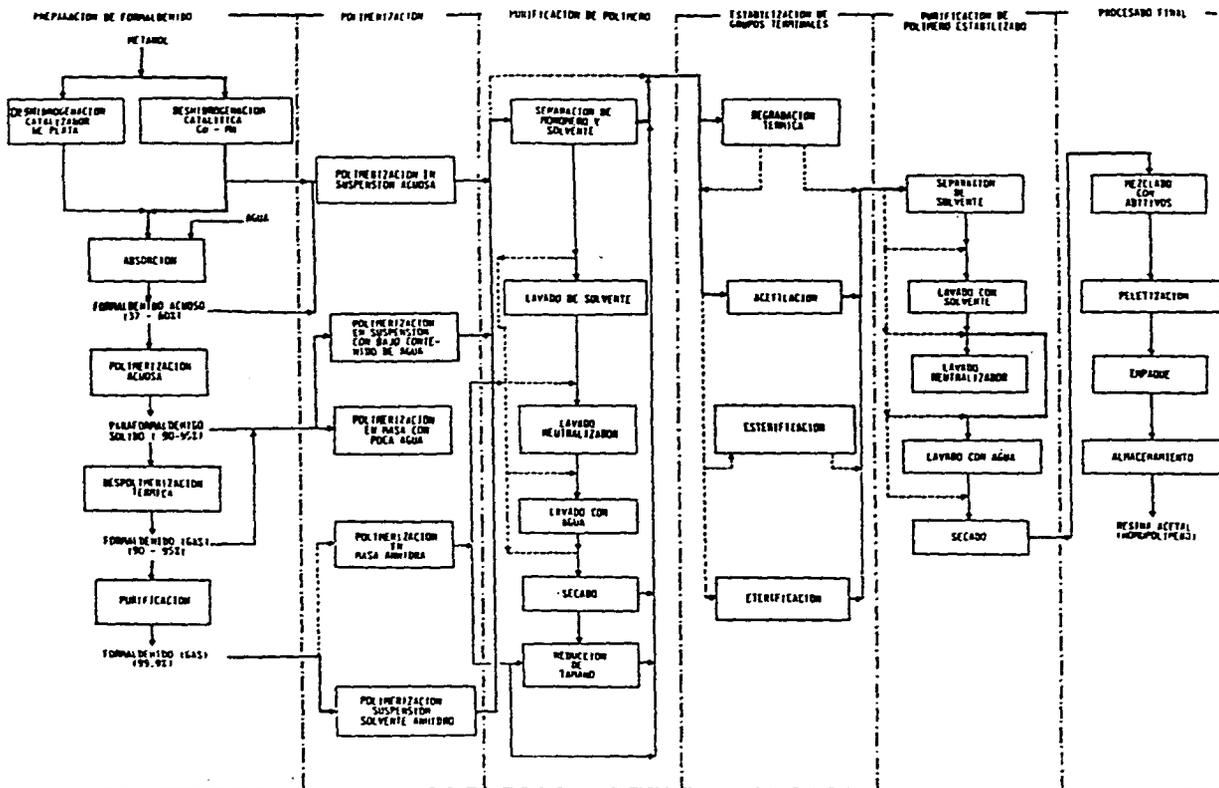


FIGURA 2.1. RUTAS ALTERNATIVAS PARA LA OBTENCION DE RESINAS ACETAL A PARTIR DE METANOL VIA FORMALDEHIDO

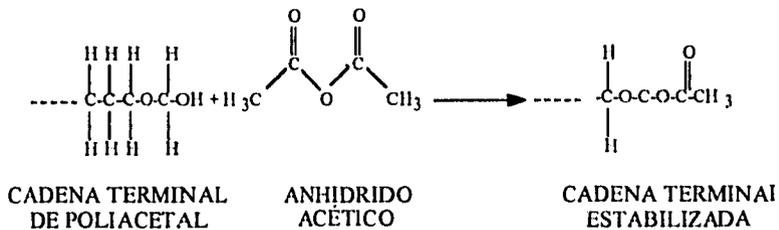
La mayor parte de la polimerización de formaldehído de alto peso molecular se realiza en sistemas agitados con polimerización en disolución-suspensión anhidra. El control del peso molecular en este sistema se realiza mediante la adición de agentes de transferencia de la cadena como alcoholes, amidas, anhídridos 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 y 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.

Reactivo	Condiciones de reacción	Catalizador	Rendimiento	Estabilidad*
Anhídrido acético	20 min. a 140°C	Acetato de sodio	95%	4 - 6%
Anhídrido benzoico	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	90	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
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

Tabla 2.5 Condiciones en la estabilización de grupos terminales de las resinas acetal

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



Descripción del Proceso

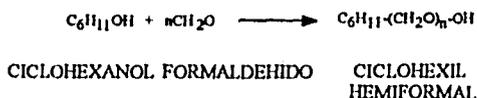
A continuación se presenta una descripción más detallada de un proceso para producir resinas acetal que sigue la ruta tecnológica mostrada en la figura anterior con línea gruesa. El proceso

* Por ciento de descomposición después de una hora, sobre nitrógeno a 190°C

deriva de las patentes asignadas a Du Pont (excepto en las secciones de preparación de formaldehído y de procesamiento de polímero final).

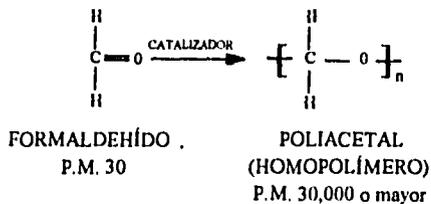
La figura 2.2 es un esquema simplificado del proceso. El formaldehído se sintetiza haciendo pasar metano, vapor y aire a través de un reactor tubular que utiliza un catalizador de molibdeno y óxido de hierro a una temperatura entre 315 - 343° C, los gases que abandonan el reactor se enfrían y pasan a una serie de tres columnas de absorción, en donde el formaldehído se absorben en ciclohexano en las primeras dos columnas, el formaldehído residual, lo mismo que el ciclohexano (vapor) se absorbe en agua en la tercera torre.

La parte inferior de las torres conteniendo ciclohexanol, ciclohexil hemiformal, agua y metanal principalmente, se destilan para separar agua del azeótropo que se forma. El ciclohexil hemiformal se forma de acuerdo a la siguiente reacción:



El ciclohexil hemiformal de los fondos de la columna azeotrópica se lleva a una columna de descomposición en donde a 160°C se produce formaldehído anhidro con una pureza de 99.5. A continuación el formaldehído gaseoso anhidro se introduce en la parte superior del reactor de polimerización, junto con ciclohexanol y una pequeña cantidad de n-tributilamina (catalizador).

La reacción es la siguiente:



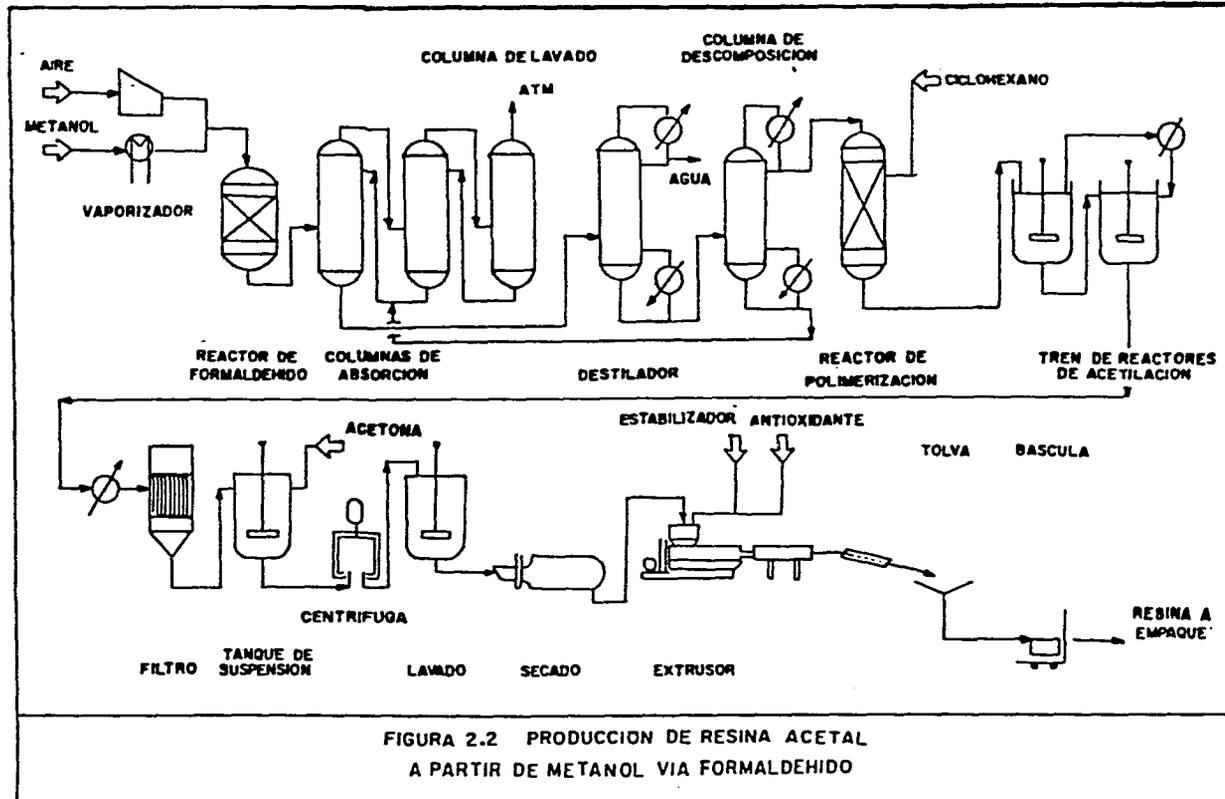


FIGURA 2.2 PRODUCCION DE RESINA ACETAL A PARTIR DE METANOL VIA FORMALDEHIDO

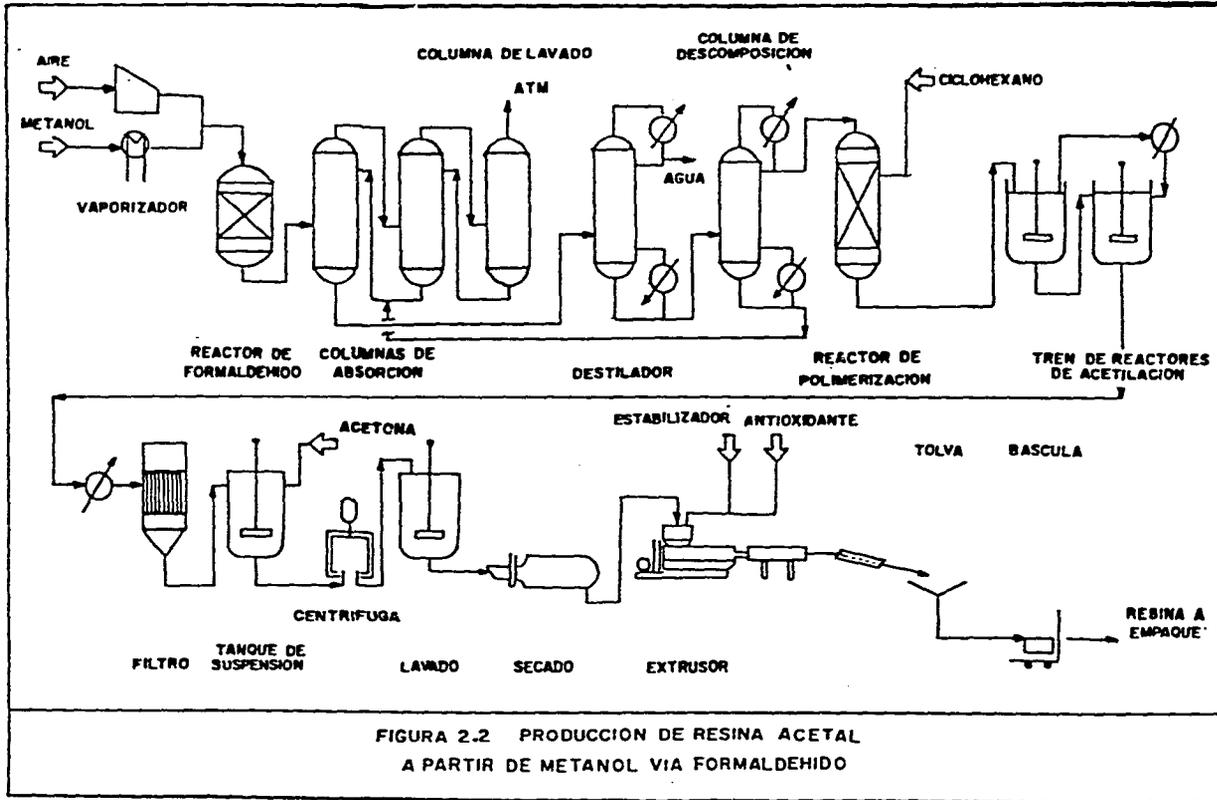


FIGURA 2.2 PRODUCCION DE RESINA ACETAL A PARTIR DE METANOL VIA FORMALDEHIDO

El sistema de polimerización se enfría con la evaporación de una parte de ciclohexanol a 33°C y 95 mmHg. Una parte del sistema reaccionante se separa, filtra y lava para recircularse nuevamente.

El polímero sólido conteniendo algo de ciclohexanol se acetila en forma continua a 137 - 140°C con anhídrido acético y trazas de acetato de sodio como catalizador, esto ocurre en un tren de varios reactores.

Después de la polimerización se enfría y filtra. Los sólidos acetilados se mezclan con acetona con la cual forman nuevamente una suspensión que a la vez se centrifuga y lava en varias ocasiones para remover el anhídrido acético y el catalizador del polímero sólido. La fracción de acetona se recupera del licor por destilación. Finalmente el polímero se lava nuevamente, ahora con agua, para eliminar la acetona y otras sustancias solubles en agua, se centrifuga y seca para pasar a la siguiente etapa. El polímero sólido seco se procesa y empaqueta.

El rendimiento global de la resina acetal que se obtiene por este proceso es de 90% (basado en el formaldehído gaseoso de la zona de purificación), permitiendo la recirculación y recuperación de los productos acuosos. El polímero de uso general tiene un peso molecular promedio de 30,000 - 50,000 y una velocidad de descomposición térmica inferior a 0.2% 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 disolución-suspensión anhidra por ser el método más flexible y económico para producir resinas 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:

El sistema de polimerización se enfría con la evaporación de una parte de ciclohexanol a 33°C y 95 mmHg. Una parte del sistema reaccionante se separa, filtra y lava para recircularse nuevamente.

El polímero sólido conteniendo algo de ciclohexanol se acetila en forma continua a 137 - 140°C con anhídrido acético y trazas de acetato de sodio como catalizador, esta ocurre en un tren de varios reactores.

Después de la polimerización se enfría y filtra. Los sólidos acetilados se mezclan con acetona con la cual forman nuevamente una suspensión que a la vez se centrifuga y lava en varias ocasiones para remover el anhídrido acético y el catalizador del polímero sólido. La fracción de acetona se recupera del licor por destilación. Finalmente el polímero se lava nuevamente, ahora con agua, para eliminar la acetona y otras sustancias solubles en agua, se centrifuga y seca para pasar a la siguiente etapa. El polímero sólido seco se procesa y empaca.

El rendimiento global de la resina acetal que se obtiene por este proceso es de 90% (basada en el formaldehído gaseoso de la zona de purificación), permitiendo la recirculación y recuperación de las productas acuosas. El polímero de uso general tiene un peso molecular promedio de 30,000 - 50,000 y una velocidad de descomposición térmica inferior a 0.2% en peso.

Una resina de baja densidad, una grada 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 disolución-suspensión anhidra por ser el método más flexible y económico para producir resinas 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:

Materias Primas ^a	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 KwHr
Gas Inerte	9.3 Nm ³

Tabla 2.6 Consumos unitarios en la producción de homopolímero acetal

Análisis general de la ruta a partir de metano vía trioxano

Como se mencionó anteriormente la otra ruta tecnológica de importancia comercial para producir resinas acetal, 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.

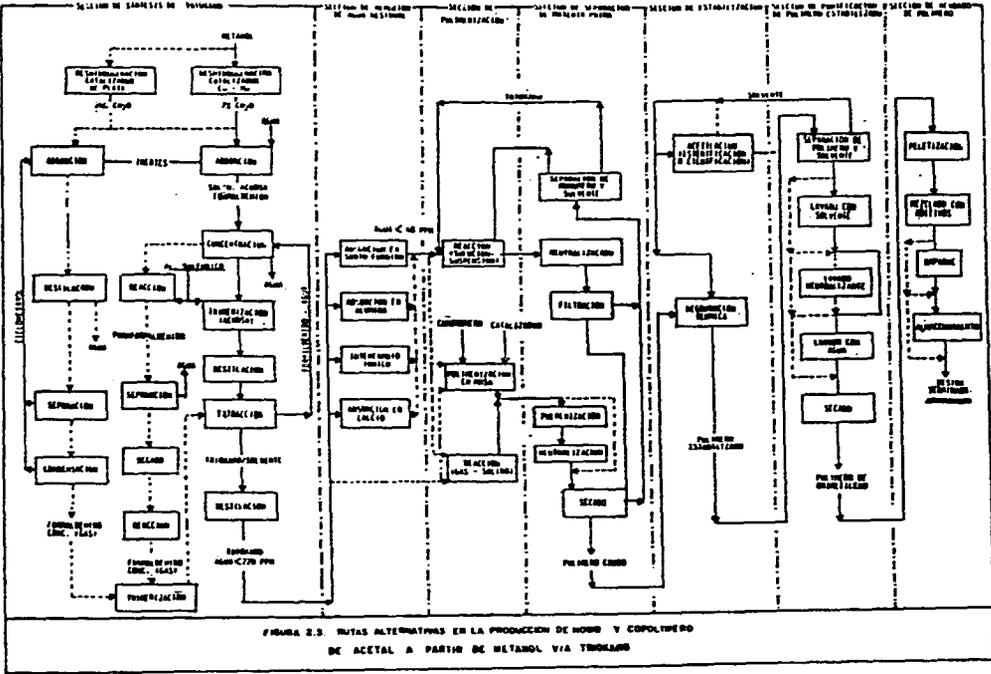
La ruta tecnológica completa puede dividirse en siete zonas o secciones mayores generales (ver figura 2.3)

Estas secciones son las siguientes:

- Síntesis del trioxano
- Remoción del agua residual del trioxano
- Polimerización
- Separación del 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 a su forma de trimero de formaldehído y su manejo es más sencillo. El formaldehído, en cambio, es un gas que para ser transportado a distancias considerables debe

^a No se incluyen los consumos de catalizadores y otros químicos utilizados así como las cantidades adicionadas de aditivos como agentes antioxidantes y estabilizantes.



convertirse a disolución acuosa (usualmente de 37 - 60%). 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.

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% de agua, lo que resulta elevado para los requerimiento de la polimerización, particularmente para los procesos de disolución - 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: reflujo con hidróxido 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 mostró 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 monómero, puede realizarse en sistemas de disolución - suspensión, gas - sólido y en fase fundida. Las velocidades de reacción son muy grandes para los sistemas gas - sólido y en 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 disolución - suspensión.

En los procesos de polimerización en disolución - 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-clorofenildiazonio hexafluorostearato, hexafluoroantimonato 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 fácilmente manejables que el trifluoruro de boro, son los sulfonatos comunes.

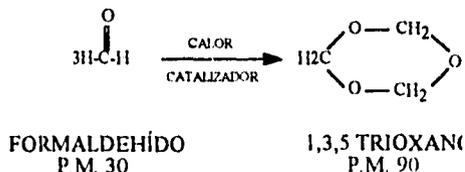
Los procesos para contrarlar la degradación térmica de los grupos terminales de la cadena del polímero normalmente consisten en calentar una suspensión de polímero en un disalvente inerte a una temperatura de entre 130 y 200°C, usanda un catalizador de degradación como el hidróxido de sodio, acetato de sodio a trietanolamina. La degradación alcalina también sirve para neutralizar las residuos del catalizador las cuales contribuyen a la inestabilidad del polímero final.

En general la resina acetal con grupos terminales na estabilizados tienen una velocidad de degradación en aire a 222°C mayor a 2% por minuta. Después de la cetalización a degradación térmica del copolímero esta velocidad se reduce a menos de 0.5% por minuto y con la adición de estabilizadores se reduce a menos de 0.2% por minuto.

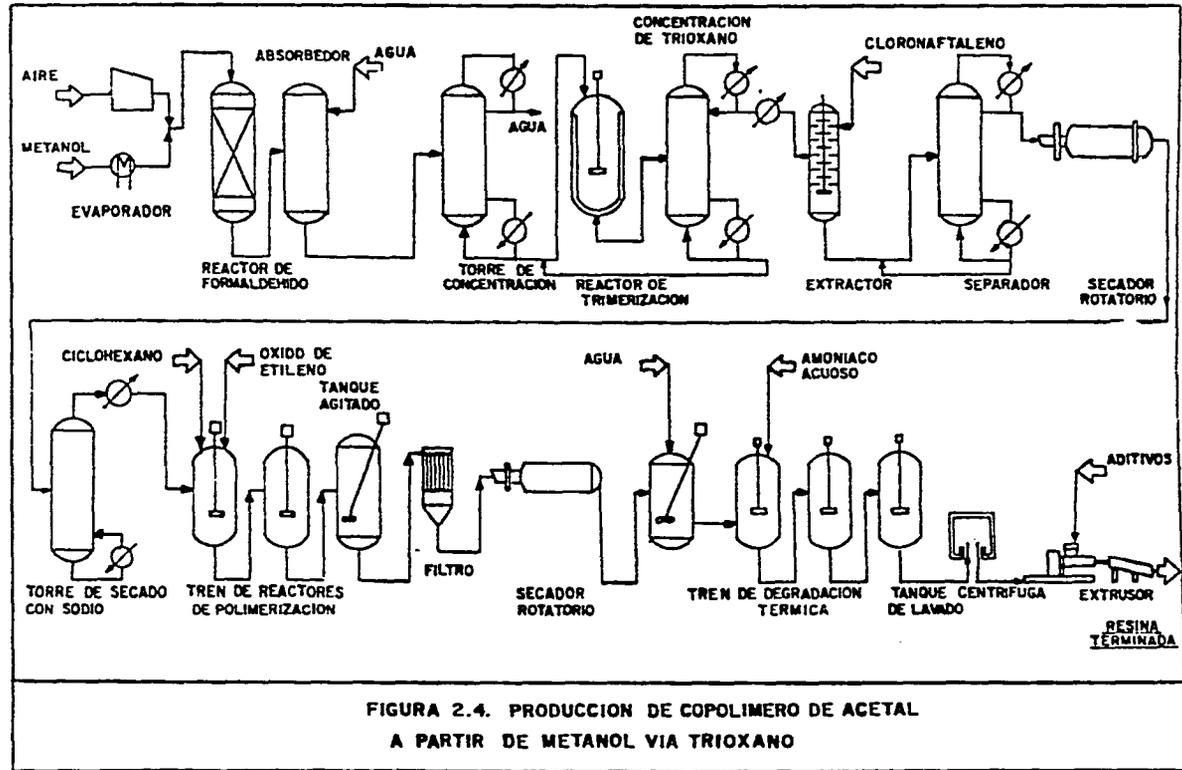
Descripción del proceso

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 na se conoce el procesa usado comercialmente por ésta.

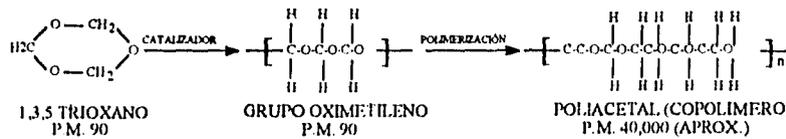
El formaldehído se sintetiza haciendo pasar metanol en fase vapor y aire sobre un catalizador de molibdato férrico, el formaldehído gaseoso resultante se absorbe en agua para dar una disolución al 37%. esta disolución se concentra al 60% para pasar al reactor de trimerización en el que se obtiene el trioxana utilizando ácido sulfúrico como catalizador. El trioxano obtenido se concentra por destilación y se separa del destillada por extracción con cloronaftaleno y se purifica hasta 99.9%, destilándolo de este disolvente; el trioxano fundido se solidifica en escamas al entrarse en un secador rotatorio. En esta etapa el trioxano contiene pequeñas cantidades de humedad, que se elimina pasando los vapores de trioxana sobre sodio fundido a 132°C.



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



La mayor parte del óxido de etileno y el 70% del trioxano copolimerizan con un peso molecular promedio cercano a 40,000, después de un periodo entre 2 y 4 horas a una temperatura de 60 - 71°C. se detiene la reacción mediante la adición de 0.5% en peso de tri-n-butllamina (en base al trioxano alimentado), con el tiempo de carga y descarga de cada reactor, el período de cada ciclo es entre 3 y 5 horas.



La mezcla de reacción fluye continuamente de un tanque agitado a un filtro rotatorio, donde se separa el polímero sólido y el disolvente se lava a 38°C. El disolvente de ciclohexano y trioxano que no reaccionó hasta polímero se eliminan en un secador rotatorio con vapor. el filtrado y el condensado del secador se combinan y destilan a 82 - 121°C para recuperar el ciclohexano y recircularlo a los reactores, el trioxano se recupera en residuos no volátiles por una destilación al vacío. El rendimiento de polímero crudo de la polimerización y la recuperación son de 96 - 97% en ambos casos, en base a la alimentación de trioxano y óxido de etileno.

El polímero sólido, después de filtrado y secado se suspende en agua y 5% de amoníaco, esta disolución 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 2 hrs. y las pérdidas de polímero son de 17%. El formaldehído resultante de la degradación del polímero reacciona con el amoníaco acuoso para formar hexametilén tetramina soluble. Se utiliza una atmósfera de nitrógeno en la polimerización, recuperación y degradación con lo que se evita la operación con oxígeno.

La disolución 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% molar de óxido de etileno, en la estructura de la cadena (C-C-O-). El peso molecular promedio es de entre 30 y 50 molas, el rendimiento de copolímero final es de 80% sobre el trioxano y etileno alimentado a reactores de polimerización.

Consumos 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.

Materias Primas ²	Consumo por Tonelada
Metanol	1.48 Tons
Óxido de etileno	0.0823 Tons
Ciclohexano	0.0098 Tons
1-Cloro naltano	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 KwHrr
Gas natural	610 Kcal

Tabla 2.7 Consumos unitarios en la producción de resinas copolímero de acetal vía trioxano

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

² No se incluyen los consumos de catalizador y otros productos químicos, así como tampoco se muestran las cantidades adicionadas de otros aditivos (antioxidantes, estabilizantes, etc.).

disolvente. Tercera, 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 dosis de radiación es de 5×10^4 rads para el formaldehído y de $0,1$ a $0,5 \times 10^6$ rads para el trioxano. El formaldehído se polimeriza espontáneamente a temperaturas tan bajas como de -50°C , la polimerización también ocurre cuando sufre una irradiación gamma 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.

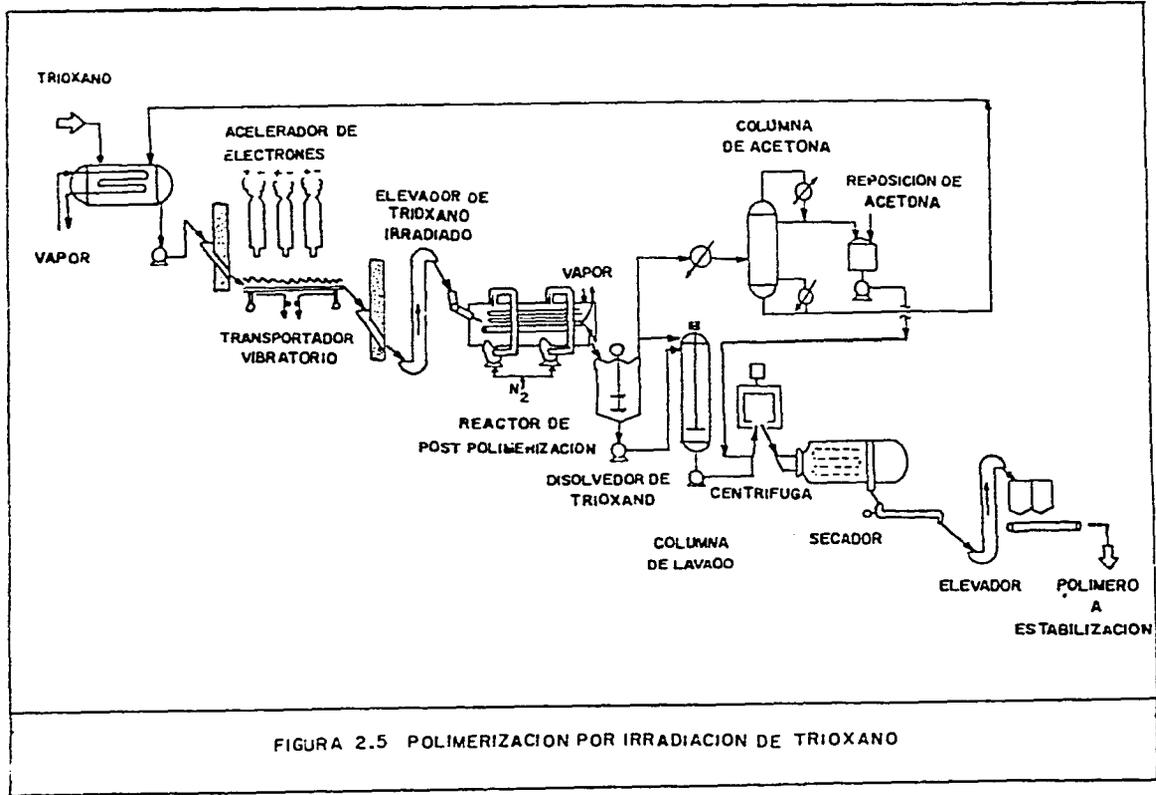
Por esta razón se prefiere realizar la polimerización del trioxano a la de formaldehído. Los polímeros preparados por irradiación pueden ser acetilados o tratados térmicamente para alcanzar la estabilidad requerida en aplicaciones comerciales.

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.

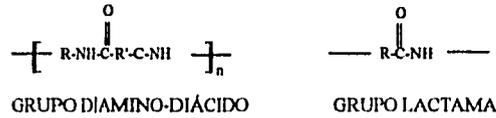
Tal como se observa en la figura 2.5, el trioxano fundido anhídrico se solidifica en un tambor rotatorio, se transporta y se hace pasar a través de las líneas de radiación en donde se efectúa una primera irradiación.

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.



3. POLIAMIDAS

Estas resinas de Ingeniería tienen la estructura que a continuación se muestra:



El método más común para producir 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 cantidad de reactivos monofuncionales.

En los E.U.A., 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, seguida 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 trimetilhexametilendiamina.

La siguiente tabla muestra algunas propiedades de Nylons comerciales.

PROPIEDAD	ZYTEL 101 (NYLON 6,6)	ZYTEL 211 (NYLON 6)	TROGAMID T ¹⁰
Temperatura de deflexión a 18.5 kg/cm ²	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	65
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

Tabla 3.1 Propiedades de las Poliamidas

¹⁰ Resina amarilla amorfa, con transmisión de la luz 85 - 90%

Los Nylons amorfos son transparentes, sus temperaturas de deflexión son menores que las de los Nylons 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 pueden alcanzar hasta el 10%. Las poliamidas cristalinas se procesan en moldeo por inyección y extrusión.

3.1 Generales

Las poliamidas son 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 adipico (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 el Nylon 6,6 son los más importantes ya que representan del 85 al 90% del mercado total de poliamidas.

Propiedades de las diferentes poliamidas

La diferencia en el número de átomos de carbono en la amida provoca una diferencia importante en las propiedades mecánicas y físicas del Nylon resultante.

Propiedad	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	1.6	1.5	0.3	0.25	0.5	0.5	D 570
Al equilibrio a 50% de H.R.	2.7	2.5	0.80	0.70	1.8	1.4	
A saturación	10.5	9.5	1.9	1.5	4.5	3.0	
Punto de fusión, °C	215	265	194	179	205	217	
Resistencia a tensión, Kg/cm ²	826	847	561	561	561	561	D 638
% de elongación a ruptura	50 - 200	40 - 80	200	200	125	150	D 638
Módulo de flexión, Kg/cm ²	27,240	28,560	12,240	11,220	20,400	20,400	D 790
Resistencia al impacto Izod, J/m	54	68	40	95	58	58	D 256
Dureza Rockwell	119	120	108	107	111	114	D 785
Temperatura de flexión a carga, °C							
5 Kg/cm ²	185	245	150	150	150	165	
18 Kg/cm ²	65	75	55	55	55	82	
Resistencia dieléctrica, tiempo corto KV/mm	17	24	16.7	18	24	16	
Paso a paso	15	11		16	20		D 150
Constante dieléctrica a 60 Hz	3.8	4.0	3.7	4.2	3.7	4.0	
a 10 ³ Hz	3.7	3.9	3.7	3.8	3.6	4.0	
a 10 ⁶ Hz	3.4	3.5	3.1	3.1	3.3	3.5	
Materia (s) prima (s)	Caprolactama	Hexametilendiamina y ácido adipico	Ácido 11-undecanoico	Poliolaurilactama	Hexametilendiamina y ácido nonanoico	Hexametilendiamina y ácido dodecanoico	

Tabla 3.2 Propiedades de los Nylons comerciales (maldeados)

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

Propiedad	Estándar	Modificador de olefinas	Modificador de olefinas y plastificante	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 (anulado) (J/m ²)	53	135	530	D 256

Tabla 3.3 Comparación de propiedades de Nylon 6 y Nylon 6.6. Grados estándar y modificados

El refuerzo con fibra de vidrio también es utilizado para mejorar algunas propiedades como las descritas en el cuadro anterior y algunas otras, en niveles de contenido que van del 5 al 50% en peso, siendo los más comunes entre 30 y 33% en peso.

Propiedad	Nylon 6,6 Estándar	Nylon 6,6 + 33% peso de fibra de vidrio	Prueba ASTM
Resistencia a la tensión (Kg/cm ²)	846	1,886	D 638
% de elongación final	60	2	D 638
Módulo de flexión (Kg/cm ²)	28,806	91,364	D 790
Impacto Izod ranurado (J/m ²)	54	108	D 256

Tabla 3.4 Efecto del reforzamiento del Nylon 6,6 con 33% en peso de fibra de vidrio

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 esfuerzo, al calor, a la corrosión y tienen un bajo coeficiente de fricción, esto los hace ideales para aplicaciones como cerrres, conexiones y abrazaderas entre otras; sin embargo, a causa de sus precios relativamente altos comparados 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 empacan 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.

Propiedad	Nylon 6		Nylon 6,6	
	Seco	50% Humedad relativa	Seco	50% Humedad relativa
Resistencia a la tensión (Kg/cm ²)	825	458	846	591
Módulo de tensión (Kg/cm ²)	27,531	9,890	28,551	12,236
Impacto Izod ranurado (J/m ²)	58	215	54	113

Tabla 3.5 Efecto de la humedad en las propiedades mecánicas del Nylon 6 y Nylon 6,6

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 a 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 sí 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.

3.2 Usos de las Poliamidas

Los usos de las resinas Nylon se clasifican de acuerdo al método utilizado para transformarla.

- Moldeo por Inyección
- Extrusión

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; otro mercado importante para el Nylon es el de películas plásticas y cables eléctricos.

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

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, fluidos de la dirección y tapas del radiador.
- Componentes del sistema eléctrico: conectares de alambrado y aislamiento de cables en general.
- Componentes mecánicos: engranes del velocímetro, soportes del acondicionador de aire.

El incremento de 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 lograda 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 flameada en la línea de ensamble.

El crecimiento potencial de las aplicaciones de Nylon en automóviles, se considera buena, 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.

Componentes eléctricos y electrónicos

El segundo mercado más importante de la resina Nylon es la producción de componentes eléctricos y electrónicos, entre lo que se pueden anotar cable, alambre de amarrado (usado en el empaquetado de alambros eléctricos y cable), conectores de alambre, cajas (cuerpo externo) de baterías, cubiertas de mates pequeñas, bastidores de interruptores, portafusibles, etc. Se espera que esta aplicación se incremente en el futuro.

Componentes y partes de maquinaria industrial

Este es el mercado más fragmentado de las resinas Nylon, en él se incluyen engranes de arrancar, silenciadores de aire y carburadores; otras 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 otras plásticas de ingeniería en este campo.

Componentes de equipo y mobiliario

En este mercado se incluyen las siguientes aplicaciones:

- Brackets
- Equipos de colgar

- Estructuras de ventanas
- Mobiliaria y accesorias
- Partes de herramientas

El Nylon 6 y Nylon 6.6 comparten el mercado de broches, las cuales se utilizan donde se requiere resistencia a la corrosión, propiedades no magnéticas y/a sellada especial a buena presentación y se emplean en automóviles, vestidos, equipaje y aparatos eléctricos. Por lo que al equipo de calzado y ventanas se refiere, éstas aplicaciones involucran pequeños radamientos (mecanismos de suspensión de cajones de gabinetes a puertas corredizas) y partes de cerraduras.

Bienes de uso final

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

Otra tipo de componentes moldeadas son las de equipo médico, laboratorio y artículos militares.

B. Aplicaciones de poliamidas transformadas por extrusión

En esta apartada la resina de Nylon-6 se utiliza ampliamente para recubrimientos y aplicaciones en forma de película. Para usos de empaque, ésta película es relativamente cara, pero sobresale sobre otras películas para empaque pues aísla mejor evitando intercambio de aire con el exterior así como 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 laminadas son el envolver carnes procesadas y quesos. La película de Nylon también se utiliza en el empaquetado de productos médicos.

Las grandes tiras de Nylon 6.6 son otra aplicación en el área de empaque y este material compete con el acero, el poliéster de tereftalato y las poliolefinas lineales. Otras aplicaciones del Nylon extruido son las que utilizan monofilamento textil, que en su mayoría se usa en cerdas para broches y cepillos de dientes a 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 ó 6-12 semiflexible) o rígida (Nylon 6 ó 6.6) y sus usos típicos son en componentes de automóviles como acondicionamiento de aire (tuberías del radiador).

C. Otras aplicaciones

Se incluyen aquí los grados de polva de Nylon, para recubrimiento (Nylon 11) y resinas usadas para mezclado, cantidades relativamente pequeñas de resinas empleadas para aplicaciones de adhesivas, y otras usadas mediante moldeado por soplado y rotomoldeado, así como en forma de copolímeros solubles.

3.3 Mercado Internacional de las Poliamidas

Desarrollo Histórico

Los primeros datos de producción de resinas Nylon son para el mercado de Estados Unidos en 1965. en Japón estos datos son de 1973.

Se presenta a continuación los datos de distribución de la demanda de poliamidas a nivel internacional, así como sus principales productores a nivel mundial, con los datos de capacidad instalada, la región que cubre dicha capacidad y el tipo y/o nombre comercial [10, 13, 14, 15].

APLICACIÓN	E.U.A.	EUROPA OCCIDENTAL	JAPÓN
Automóviles	31	29	28
Eléctrico y Electrónico	12	18	16
Maquinaria	6		8
Películas y Hojas	15	13	20
Bienes de consumo	5	17	9
Partes de equipo y muebles	5	8	
Monofilamento (no textil)	4	6	10
Otros	22	9	9
	100%	100%	100%

Tabla 3.6 Distribución porcentual de la demanda de poliamidas [1994]

Como se observa en las cifras internacionales, las dos poliamidas de mayor importancia (con aproximadamente 90% 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. Justamente los aspectos tecnológicos se analizarán exclusivamente para las dos resinas antes mencionadas.

CAMPAÑA	CAPACIDAD ESTIMADA (Miles de Tons)	REGIÓN	TIPA 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, Ultramid
Bayer	40	Europa (Alemania)	Nylon 6, Durelhan
Allied Co.	32	E.U.A.	Nylon 6, Capron
Montanto	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
Takay Industries	23	Japón	Nylon 6 y 6,6
Akzo	20	Europa (Países Bajos)	Nylon 6 Akulan
Celanese	18	E.U.A.	Nylon 6,6
ICI	18	Europa (Inglaterra)	Nylon 6,6 Moranyl
Serauigny	18	Europa (Francia)	Nylon 6 Orgamid
Chemische Werke Huels	14	Europa (Alemania)	Nylon 6 Durelhan
Unitika	12	Japón	Nylon 6
Asahi	10	Japón	Nylon 6,6
Mitsubishi Chemical Ind.	10	Japón	Nylon 6
Caprol	10	Europa (Italia)	Nylon 6 Nivanplast
Varias (con menos de 10,000 IPA)	97		

Tabla 3.7 Productores de resinas Nylon

3.4 Mercado Nacional de las Poliamidas

Consumo y/o Producción de Poliamidas en México

El Nylon 6 (poli-caprolactama) 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.

Usos de la Poliamidas en México

El Nylon 6 se utiliza principalmente en las siguientes aplicaciones:

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

Por lo que al Nylon 6.6 se refiere, se desconoce el destino final de las importaciones.

Materias Primas

Caprolactama

La caprolactama se produce en México desde finales de 1972. El 100% de la caprolactama se utiliza para producir Nylon 6 (principalmente en grado fibra).

Ácido Adípico

El ácido adípico es un ácido dicarboxílico producido a partir de ciclohexano vía 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.

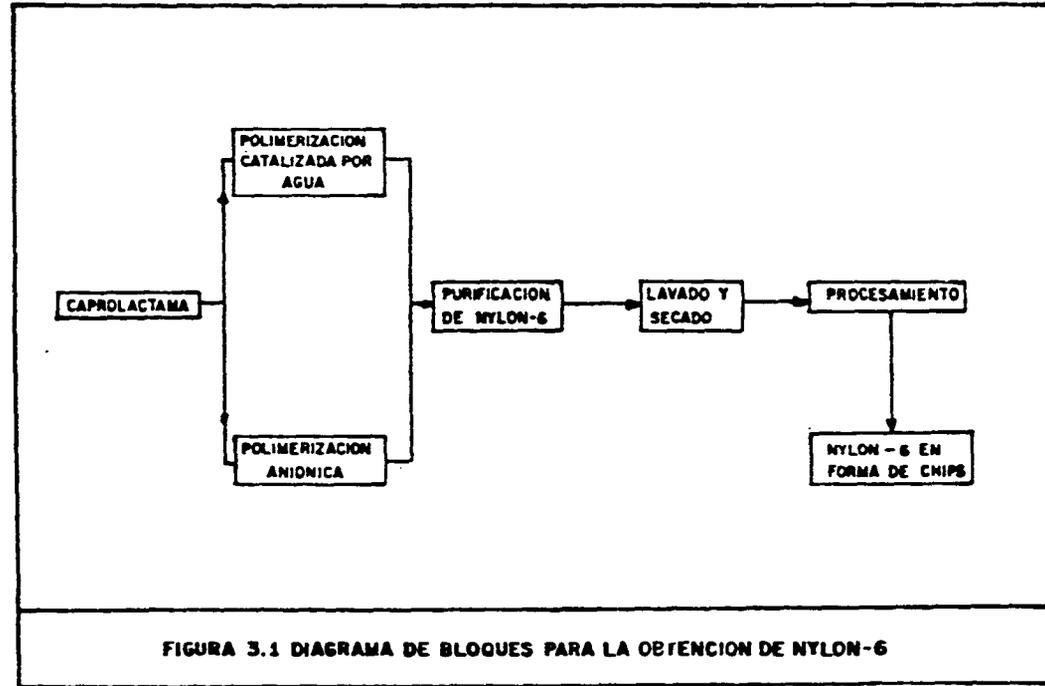
Hexametildiamina

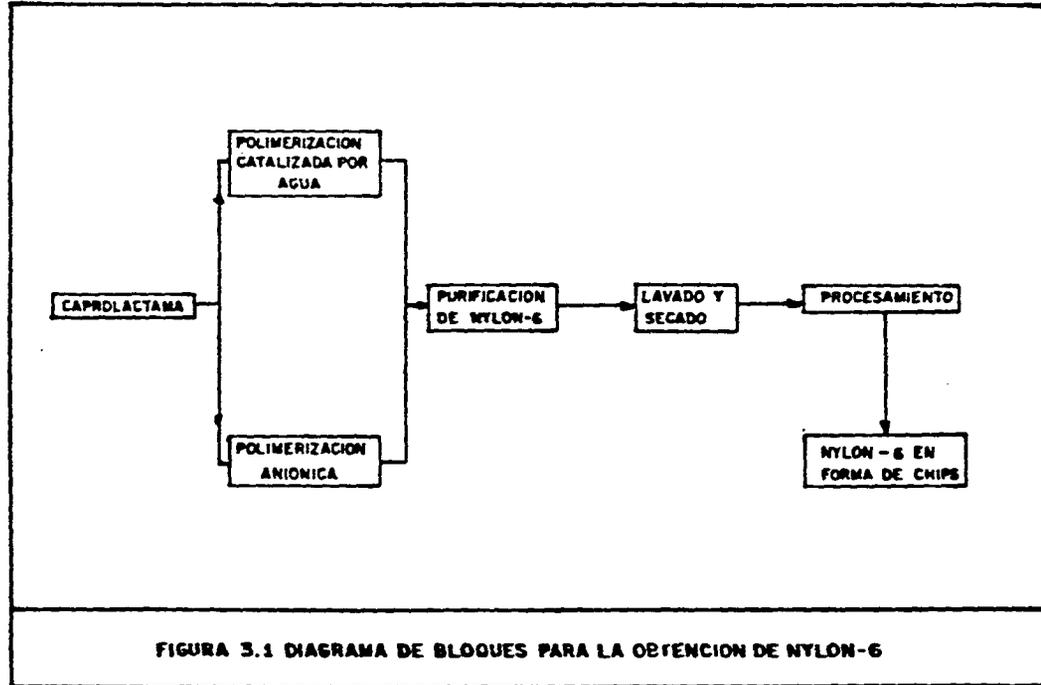
Varias empresas en el país producen la hexametilentriamina y hexametilentetramina y se reporta producción de HMDA en forma separada.

3.5 Tecnología

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:

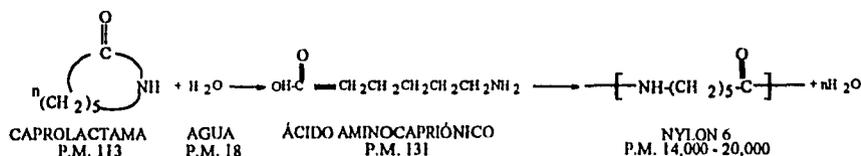




Análisis general de los procesos catalizado por agua y aniónico

El proceso catalizado por agua se inicia con la hidrólisis de la caprolactama, formando el ácido amino caprónico, el cual reacciona con más caprolactama.

La reacción que se lleva a cabo es:



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. Estas reaccionan con los grupos terminales hidroxil ó amino del polímero.

- 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 llenen 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.

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% de

compuestos de bajo peso molecular que deben eliminarse en la sección de purificación o mediante el lavado de los chips obtenidos.

Las ventajas más sobresalientes de este proceso son:

- Fácil control
- Apropiado para trabajar a gran escala
- 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.

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 batch 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 pelletizador.

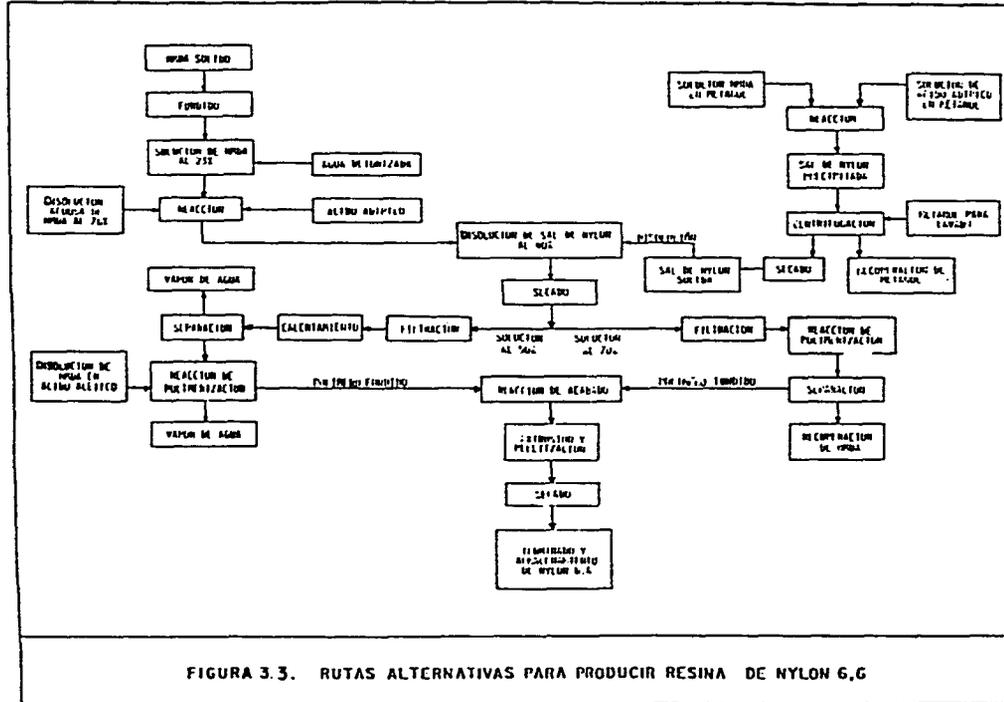
Los chips de plástico se alimentan a una columna de lavado, en la que con agua caliente se eliminan las impurezas y el monómero residual; el monómero separado se manda a un tren de purificación donde se separa el agua; mientras que los chips lavados pasan a través de un tamiz para finalmente secarse 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.

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 a continuación.

Materias Primas	Consumo por Tonelado de Nylon 6
Caprolactamo	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 KwHtr
Gas inerte	7.1 Nm ³
Gas natural	222 Kcal

Tabla 3.8 Consumos unitarios en la producción de Nylon 6 vía proceso catalizado por agua

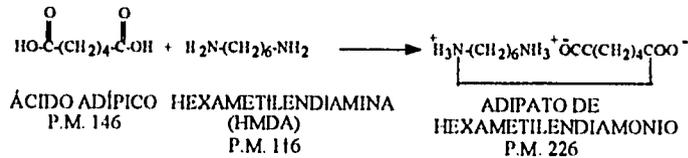


Rutas tecnológicas existentes para producir Nylon 6,6

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

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

La primera etapa, consiste en producir el adipato de hexametilendiamonio (o sal de Nylon). Hay dos procesos diferentes para producir la sal de Nylon: el proceso que utiliza alcohol como disolvente y el proceso que utiliza agua como disolvente, este último produce una disolución 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.

Análisis de la ruta para producir sal de Nylon

Generalmente se prefiere la disolución de sal de Nylon acuosa siempre y cuando la disolución de Nylon se consume continuamente, ya que estas disoluciones 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 disolvente al producir la sal en forma sólida, presenta 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 disolución acuosa (tiene costos de producción menores).

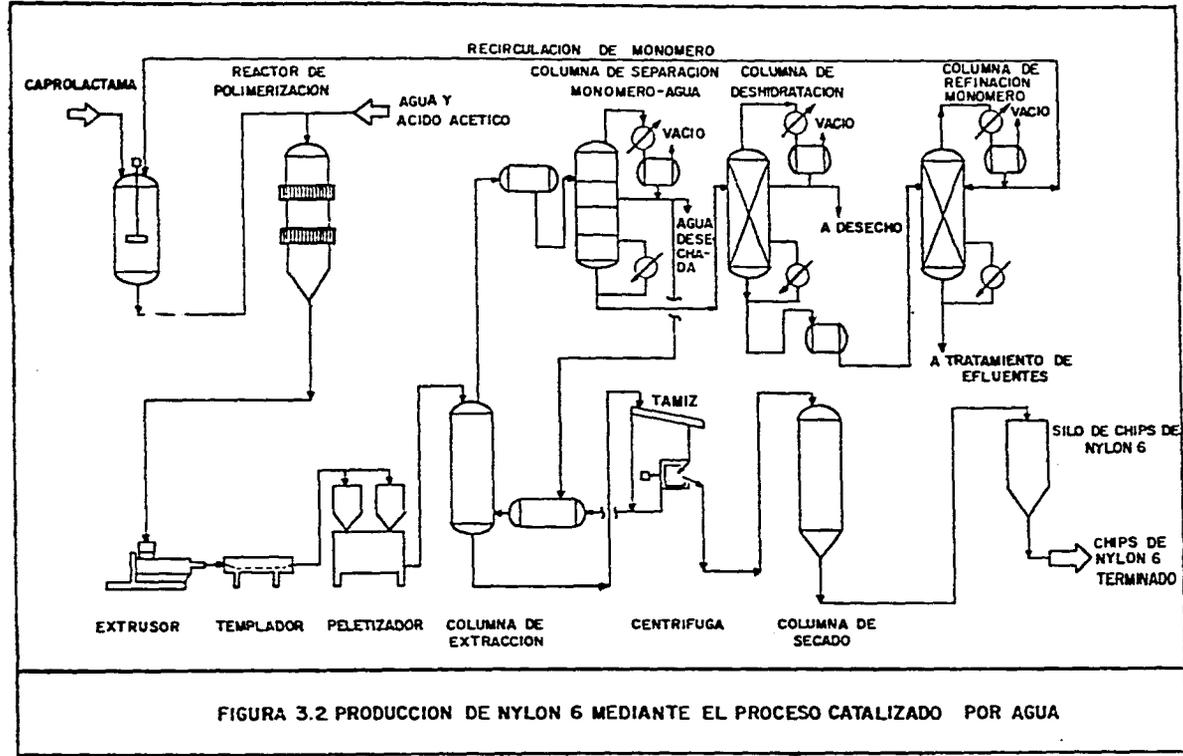
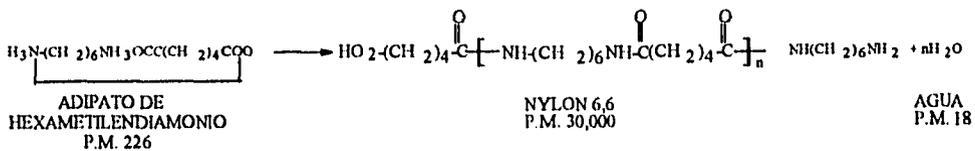


FIGURA 3.2 PRODUCCION DE NYLON 6 MEDIANTE EL PROCESO CATALIZADO POR AGUA

Si así se requiere, la disolución de Nylon acuosa puede pasarse a la forma sólida agregando a la primera ácido adípico y hexametilendiamina, para obtener un precipitado que se lava con metanol y se seca para obtener el sólido deseado.

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 subatmosféricas 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 disolución de Nylon al 50%, mientras que en otro la concentración de la sal es de 70%. 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:

Concepto	Alternativa 1	Alternativa 2
	Du Pont - Canadá	"Tanque Reactor"
Tipo de reactor en la primera etapa		Tanque reactor
Tiempo de residencia	Corto (horas)	Grande (hasta un día) ¹¹
Concentración de la 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

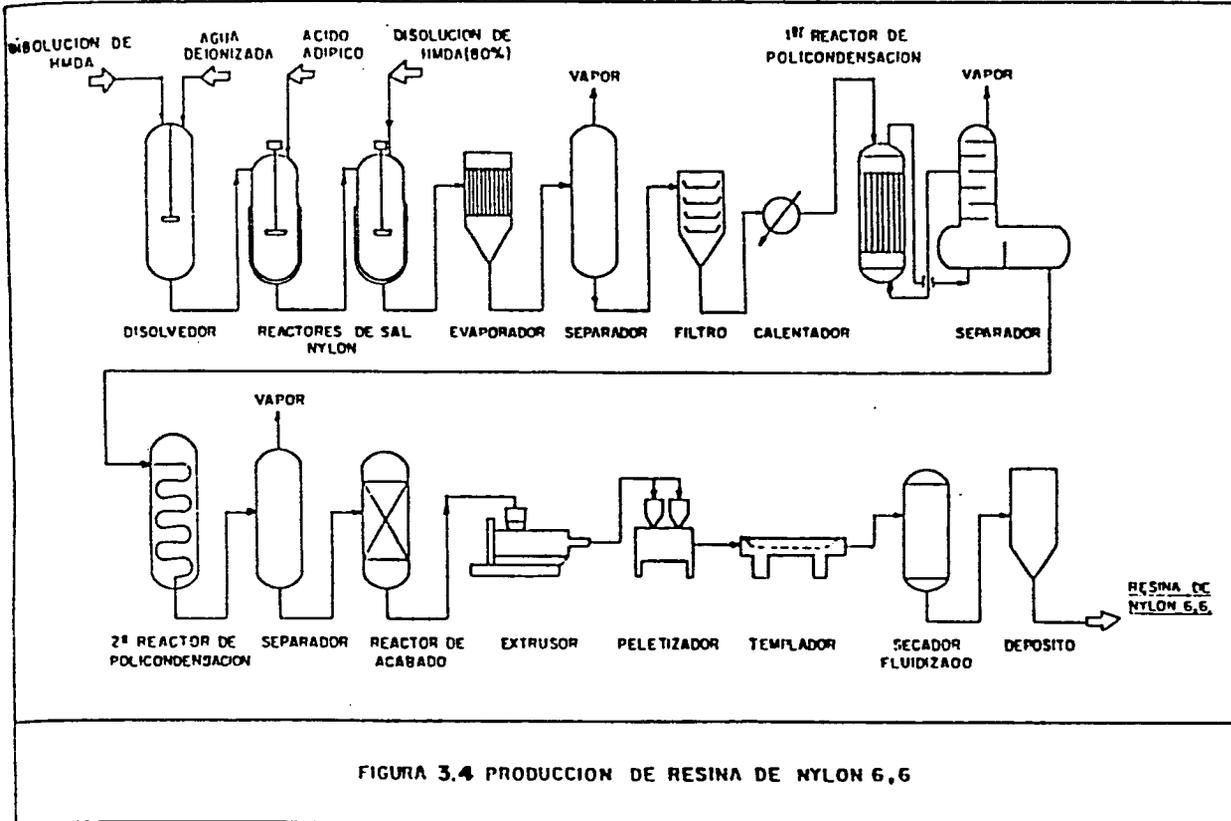
Tabla 3.9 Principales diferencias entre las rutas de polimerización (policondensación) de Nylon 6,6

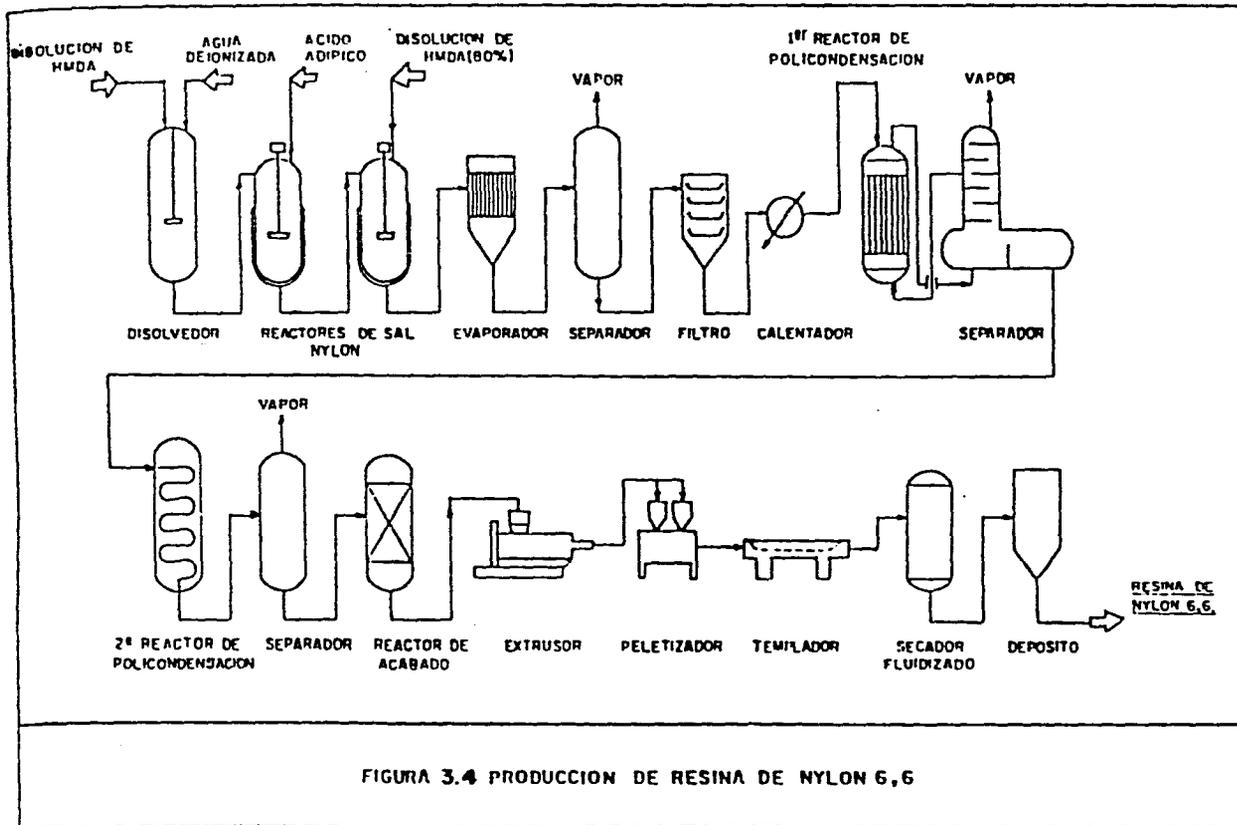
La comparación técnica muestra que el proceso de polimerización de Du Pont resulta mejor que el proceso del tanque-reactor en varios factores de tipo operacional. Por lo que al tipo de producto se refiere, los característicos del producto final son similares, lo mismo que los costos de inversión requeridos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

Otros procesos de polimerización

Existen otros procesos de polimerización, no convencionales, para producir el Nylon 6,6 como 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 sólido 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. Lo ventajoso 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 o escala comercial es limitada. En la figura 3.4 se muestra un esquema simplificado de un proceso de este tipo.

¹¹ Este tiempo de residencia alto puede ocasionar un producto ligeramente más oscuro.

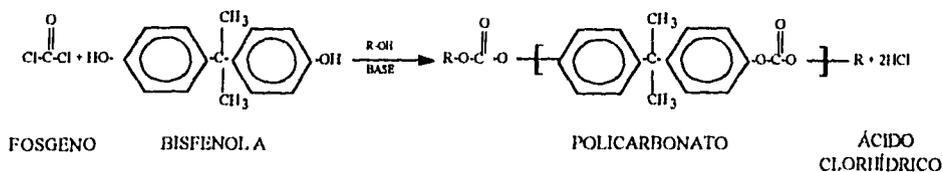




4. POLICARBONATOS

Son PI 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 disolución acuosa de sosa.

Las resinas de 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 requieren esterilización en autoclaves periódico; como todas las resinas amorfas son susceptibles al ataque de algunos disolventes orgánicos. No obstante que poseen buena resistencia a los jugos de fruta, algunos hidrocarburos alifáticos, disoluciones acuosas de alcoholes e incluso ácido de baterías, se pueden disolver en disolventes clorados; algunas propiedades se dan a continuación:

PROPIEDAD	LEXAN 101	MERLON 8320 (1)	LEXAN 4701 (1)
Temperatura de deflexión a 18.5%, Kg/cm ²	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	34.465	23.452
Densidad relativa	1.21	1.27	1.20
Transmisión de la luz, %	85	Opaco	85

Tabla 4.1 Propiedades de los Policarbonatos

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 mayor resistencia abrasiva que el vidrio y su resistencia a algunos disolventes 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 otros tipos de procesamiento, como el moldeo por soplado.

Las 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 calor. Algunas resinas PC se hacen específicamente para moldeo por soplado, mediante la introducción de monómeros polifuncionales durante 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 componente de láminas extrudidas multicapas, partes electrónicas, conectores, fusibles, aparatos, industria automotriz, etc.

4.2 Propiedades de los Policarbonatos

Las propiedades físicas, térmicas, mecánicas y eléctricas para un plástico moldeado por inyección se muestran en la tabla 4.2.

PROPIEDADES	VALOR	NORMA ASTM
FÍSICAS		
Densidad, gr/cm ³	1.200	D792
% Absorción en 24 hrs., mm/mm	0.1	D570
% de agua en equilibrio	0.35	
% de transmisión de luz	86 - 89	D 1003
% de bruma	1 - 2	D 1003
Índice de refracción	1.586	
TÉRMICAS		
Temperatura de deflexión, °C		D648
A 18.56 Kg/cm ²	132	
A 4.64 Kg/cm ²	138	
Capacidad calorífica KJ/Kg°K	1.26	C351
Expansión térmica lineal por grado centígrado	6.75 x 10 ⁻⁵	D 696
Temperatura de uso continuo, °C	121	C177
Flamabilidad, mm	< 25	D635
Estándar U.L.		
3.18 mm de espesor	94 V-2	UL 94
1.5 mm de espesor	94 V-2	UL 94
% de índice de oxígeno	25	D2863
Conductividad térmica W/(m°K)	0.195	C177
ELÉCTRICAS		
Resistencia eléctrica, mV/m (380 V/min)	15	D149
Constante dieléctrica		D150
A 60 Hz	3.17	
A 296 Hz	2.96	
Factor de poder		D150
A 60 Hz	0.0009	
A 1000 Hz	0.010	
Resistividad volumétrica, cm	8 x 10 ¹⁶	D257
MECÁNICAS		
Resistencia a la tensión, Kg/cm ²		D638
Cedencia	633	
Rotura	677	
% de elongación		D638
Cedencia	6 - 8	
Rotura	11	
Módulo de tensión, Kg/cm ²	24,329	D638
Resistencia a la flexión, Kg/cm ²	949	D790
Módulo de flexión, Kg/cm ²	23,860	D790
Resistencia compresión, Kg/cm ²	879	D695
Impacto Izod, J/m		D256
Ranurado	860	
Sin ranurar	No falla	

Tabla 4.2 Propiedades del policarbonato derivado del Bistenoil A (moldeada por inyección)

4.3 Usos

La extrema tenacidad, transparencia, resistencia al quemado y el mantenimiento de sus propiedades como PI 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 astronautas y componentes de aviones supersónicos, se utilice ampliamente en la manufactura de ventanas resistentes a balas en bancos, carros blindados y edificios públicos; en la manufactura de equipo esterilizador en el procesado de alimentos; armazones de computadoras, en las que las propiedades mecánicas, eléctricas y de retardancia a la flama son requeridas; algunas otras aplicaciones son la construcción de caretas de seguridad y parabrisas de motocicletas. Las aplicaciones automotrices incluyen faros, defensas, paneles de instrumentos, "quemacocos", etc.

4.4 Mercado Internacional de los Policarbonatos

Desarrollo Histórico

Los primeros datos de producción de PC's se reportaron en 1960 en Estados Unidos y fueron apenas 450 Tons. A partir de ese momento las cantidades producidas fueron aumentando en forma paulatina hasta que en 1976, en ese país, se produjeron 88,000 Tons. 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 25,000 y 50,000 Tons respectivamente.

En la tabla 4.3 se resume el porcentaje que corresponde para cada sector que consume policarbonatos en los principales mercados mundiales para 1994 [10, 13, 14, 15].

APLICACIÓN	E.U.A.	EUROPA OCCIDENTAL	JAPÓN
Vidrios de seguridad y otros usos en hoja o lámina	28	10	16
Eléctrico y Electrónico	25	37	29
Automotriz / Transporte	12	14	16
Deportes y recreación	12	14	
Herramientas	11	15	
Empaques	4	12	
Usos médicos	4	5	5
Otros	11	5	34 ¹³
	100%	100%	100%

Tabla 4.3 Distribución porcentual de la demanda de policarbonato

4.5 Mercado Nacional

Producción y/o consumo de resinas de PC en México

El consumo interno de las resinas PC 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 puede deber, en parte, al hecho de que el nivel de consumo de dichas resinas ha sido irregular.

Usos del PC en México

La distribución porcentual de la demanda de policarbonato en México para 1994, es la siguiente [11, 12]:

Mercado	Porcentaje
Eléctrico y electrónico	20
Iluminación	19
Óptica	2
Artículos domésticos	15
Industria automotriz	10
Seguridad	8
Manejo de líquidos	25
Otros	100
TOTAL	100

Tabla 4.4 Distribución porcentual de la demanda de policarbonato en México

¹² Incluido en médicos.

¹³ No se incluyen además máquinas de negocios.

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.

Materias Primas

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

Bisfenol A

En México sólo una empresa tiene Permiso Petroquímico para producir bisfenol A en una planta ubicada en Cuernavaca, Morelos. Por otro lado aunque al parecer existen otras empresas interesadas en producir bisfenol A en México, por el momento no hay ningún proyecto.

Fosgeno

Este es un producto muy venenoso (incluso se usó en la I Guerra Mundial) que generalmente tiene un mercado cautivo (se produce en la misma planta en que se consume). Se utiliza en la producción de pesticidas y especialidades como el diisocianato de tolueno e isocianatos de poliuretanos, entre otros. Puede manejarse en disoluciones al 30% en tolueno o xileno. 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 fosgeno.

4.6 Tecnología

Rutas Tecnológicas existente para producir resinas PC

Existen dos rutas tecnológicas para producir las resinas PC:

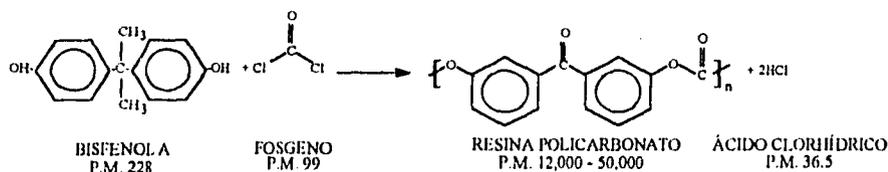
- Ruta de fosgenación directa
- Ruta de transesterificación

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 policondensación en una etapa posterior. En el caso de la segunda ruta, la reacción principal consiste en la transesterificación de un compuesto intermedio.

Análisis General de la ruta de Fosgenación Directa

Existen dos métodos para la fosgenación directa de bisfenol A, la fosgenación en disolución y la fosgenación interfacial. Esta última es la que se usa comercialmente, ya que la fosgenación en disolución al tener costos asociados más altos, ha caído en desuso.

La reacción básica es la siguiente:



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 a la flama, el ácido tereftálico ha sido utilizado 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 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 procesos. En el primer tipo el bisfenol A (BPA) reacciona completamente con el fosgeno en una primera etapa de policondensación. El segundo proceso se realiza en dos pasos; en el primero el 70-80% del BPA reacciona con el fosgeno formándose un prepolímero, el cual se separa de la disolución acuosa y se carga a un reactor de policondensación.

Los disolventes más utilizados son el cloruro de metileno, clorobenceno o una mezcla de ambos. Para disolver el BPA se utiliza una disolución cáustica. La reacción se efectúa con 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% en peso (con respecto al BPA). Otros compuestos utilizados son:

- Aminas secundarias (esteroquímicamente impedidas), como la butilciclohexalamina, 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-1-butil Isourea, etc.
- Compuesto 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 PC 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:

La disolución del polímero después de la policondensación 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 disolución 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 disolución purificada del polímero se mezcla con un antidisolvente como el N-heptano, N-hexano o metano en un rango que va de 1:3 a 1:6 (de disolución a antidisolvente), los disolventes separados se recuperan por destilación.

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

Descripción del proceso para producir policarbonato vía fosgenación directa en forma intermitente

El proceso está formado por las siguientes secciones:

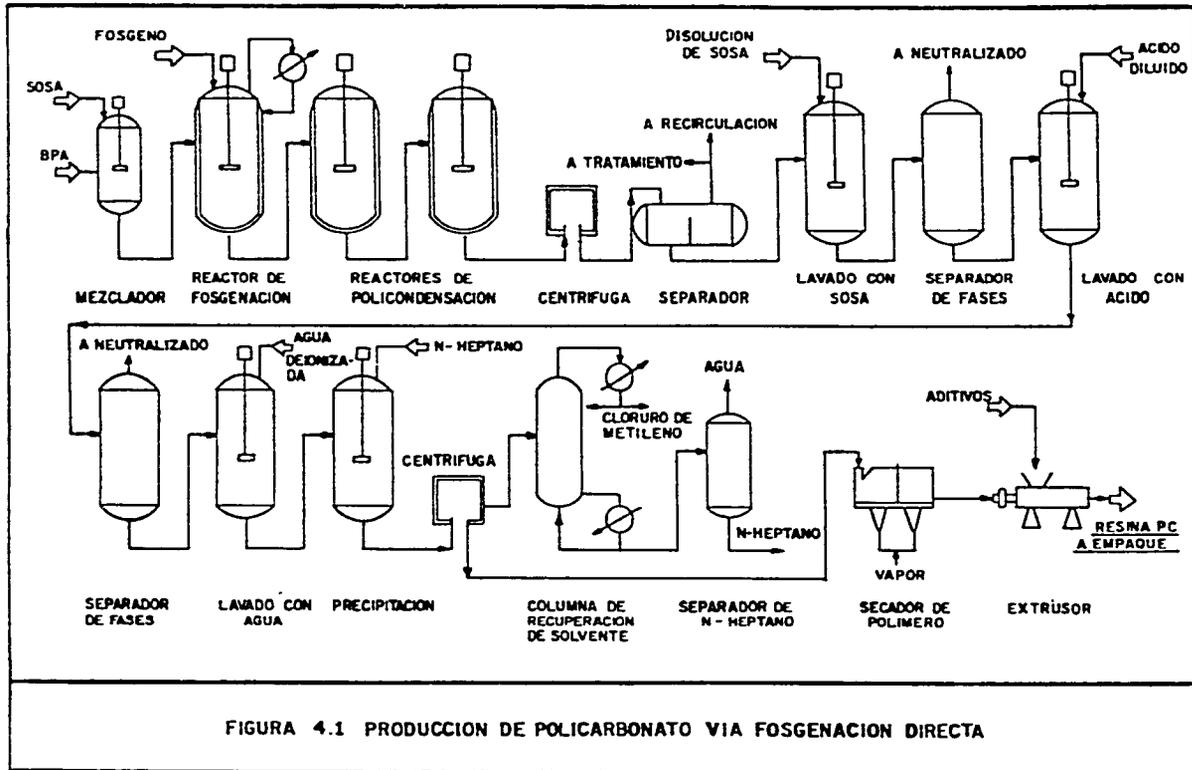
- Almacenamiento y mezclado de materias primas
- Polimerización y purificado
- Recuperación de polímero y disolvente
- Manejo de sólidos y formulado

En la figura 4.1 se muestra un esquema simplificado del proceso. En primer término se realiza la reacción de fosgenación mezclando fosgeno y una disolución de bisfenolato de sodio preparada previamente al mezclar una disolución acuosa de sosa, bisfenol A (BPA) y el disolvente cloruro de metileno. La reacción se inicia al agregar el fosgeno, la temperatura de reacción se mantiene en 30° C gracias al enfriamiento externo y al enfriador de la recirculación (que utiliza agua a 4° C como medio de enfriamiento).

Después de la fosgenación, la mezcla de reacción se envía al reactor de policondensación junto con la trietanolamina y una disolución cáustica para mantener el pH=13. El ciclo de polimerización es el siguiente:

	FOSGENACIÓN	POLICONDENSACIÓN
Carga	10 min.	15 min.
Reacción	20 min.	45 min.
Descarga	15 min.	30 min.
Total	45 min.	90 min.

La temperatura de policondensación se mantiene constante pasando agua helada a través de la chaqueta del reactor de policondensación, la mezcla se bombea a una centrifugo para remover el cloruro de sodio y carbonato de sodio sólidos formados en la policondensación. La mezcla líquida



se lleva a un decantador donde se separa la fase orgánica y acuosa. De la primera, parte se recircula y parte se manda a tratamiento de efluentes.

La disolución del polímero se lava con una disolución diluida de sosa para remover los residuos de BPA que no reaccionaron y después con una disolución diluida para neutralizar y remover la amina terciaria. Posteriormente se realiza una serie de hasta tres lavados con agua deionizada para eliminar electrolitos libres; la emulsión formada en los tanques de lavado se lleva a un separador empacado con fibra de Nylon. La disolución del polímero precipita y la disolución separada se envía a tratamiento; la precipitación del PC se realiza al agregar N-heptano; el polímero precipitado se centrifuga y seca en un secador 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 a la flama y algunos otros aditivos.

En la separación y recuperación del disolvente y el antidisolvente, 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

Para el proceso interfacial descrito anteriormente se muestra a continuación. Así mismo a manera de comparación, se muestran los datos correspondientes para el proceso continuo.

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	0.0117 Tons	
Cloruro de metileno	0.0116 Tons	0.00748 Tons
Fosgeno	0.4757 Tons	0.4651 Tons
Sosa cáustica	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 KwHr	1.814 KwHr
Gas Inerte	7.2 Nm ³	7.2 Nm ³

Tabla 4.5 Consumos Unitarios en el proceso de fosgenación directa

Análisis General de la ruta de Transesterificación

Se conoce también 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 terminales fenoxi e hidroxil, los cuales se policondensan para dar el policarbonato.

Durante la polimerización, la temperatura se mantiene arriba del punto de fusión de la mezcla, iniciando a 150° C, dicha temperatura se incrementa poco a poco hasta 300° C, inversamente la presión se disminuye también paulatinamente de 760 mmHg 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 3000, mediante bisfenol A y fosgeno por medio del proceso interfacial, y posteriormente transesterificarlo con bisfenol adicional, y obtener el policarbonato deseado. Este proceso generalmente requiere menos inversión que el proceso interfacial debido a que no usa disolvente en la transesterificación.

La reacción de transesterificación (incluyendo variantes) se caracteriza por requerir altas temperaturas de reacción y altos vacíos como se mencionó anteriormente, los catalizadores usados son metilato de sodio, acetato de calcio, bifenolato de sodio, sales alcalinas de ácido benzoico o ácido iminocarboxílico.

Descripción del proceso para producir policarbonato vía transesterificación

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

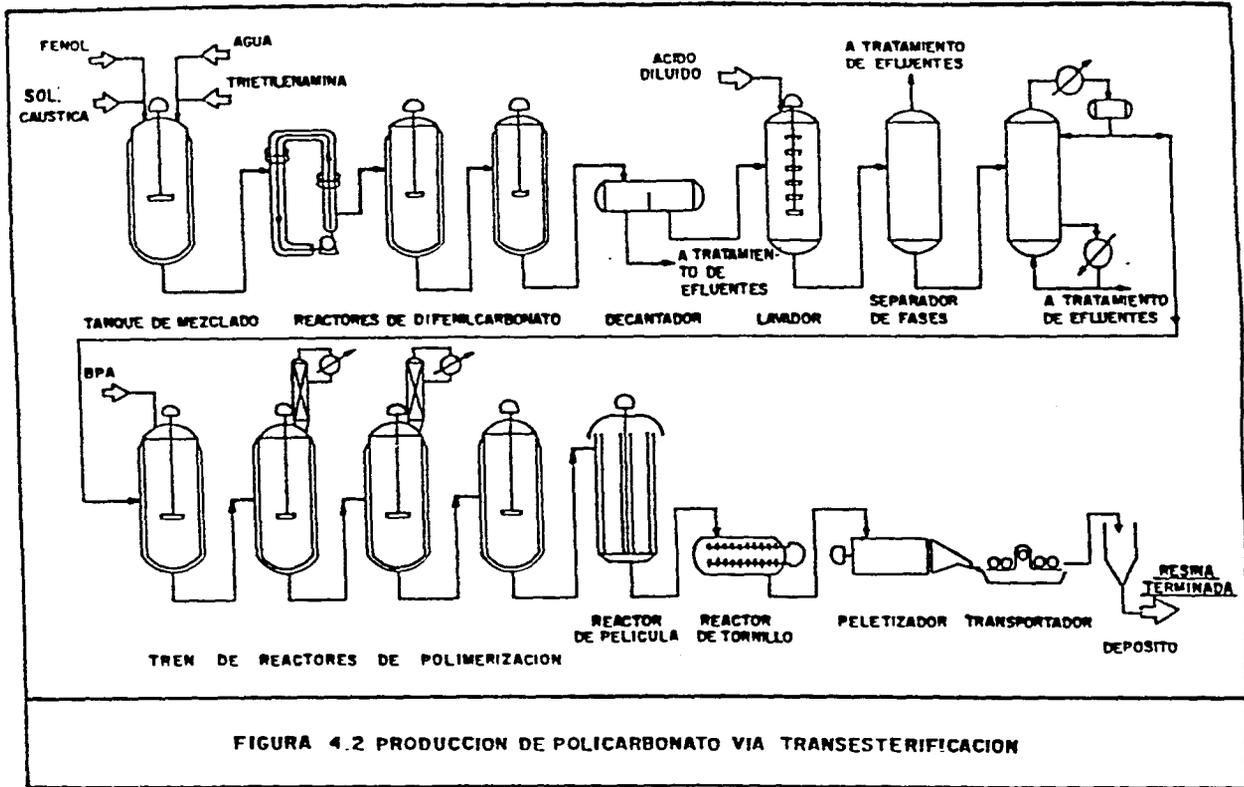
Las principales áreas o secciones en las que puede dividirse el proceso son:

- Almacenamiento y mezcla de materias primas
- Preparación de difenil carbonato
- Transesterificación y policondensación
- Manejo de sólidos y procesado

En la primera etapa se produce una disolución mezclando la trietanolamina, las disoluciones 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% 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 de la viscosidad. En los últimos dos reactores se efectúa la policondensación del polímero para producir el policarbonato de 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 logra por medio de bombas o inyectores en los primeros y los últimos reactores respectivamente. El polímero del último reactor pasa a los peletizadores de donde se transporta al área de manejo de sólidos y empaque.

Consumos unitarios de materias primas y servicios auxiliares

Se muestran a continuación, en la siguiente tabla:

	CONSUMO POR TONELADA
Materias Primas	
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 KwHr
Gas inerte	7.2 Nm ³
Gas natural	332 Kcal

Tabla 4.6 Consumos de materias primas para el proceso de Policarbonato vía transesterificación

Comparación entre los procesos

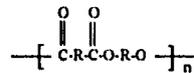
El policarbonato obtenido mediante el proceso de transesterificación presenta un rango de peso molecular limitado debido a la dificultad de manejar en forma sencilla la masa viscosa de la reacción de polimerización; además de que su pureza se ve afectada por la presencia de cierta cantidad de catalizador (lo que repercute en menor claridad óptica).

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

Así pues al parecer 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.

5. POLIÉSTERES

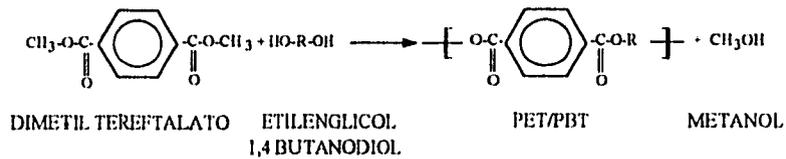
La mayoría de los poliésteres se basan en ftalatos, y se refieren como aromáticas-alifáticas a aromáticos únicamente de acuerdo con el dial capalimerizada; la fórmula general de las resinas termoplásticas de ingeniería son:



El polietiléntereftalato (PET) y el polibutiléntereftalato (PBT), son polímeros relacionados y denominados poliésteres aromáticas-alifáticas, en tanto que el poliftalato de bisfenol A se denomina poliéster aromática a palarilata; 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 dimetilciclohexano. Las palarilatas por otra parte, son los poliésteres de menor consumo.

Con respecto a su producción, los poliésteres aromáticos-alifáticos son comercializados por muchas compañías en el mundo.

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



el metanol se separa por el agua y la resina base por el fondo del reactor en una operación que puede hacerse continua a por lotes; las mayores productores emplean operaciones continuas cuyas capacidades van de 11,000 a 14,000 Ton/año. Las resinas PET y PBT se emplean para moldear por extrusión, el PBT fue primeramente comercializada con este fin durante 1970, en 1978 Du Pont introdujo el PET para moldear en su línea de productos Rynite, empleando agentes nucleantes que mejoran las tasas de cristalización, lo que fue el origen del retraso en esta aplicación.

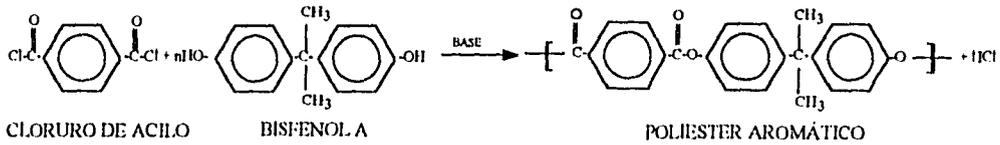
Estas resinas se disponen como resina base o compuestas con otras resinas (incluso entre ellas), con pigmentos, reforzantes, retardantes de flama; las reforzadas se emplean para partes grandes y con superficies planas pero los refuerzos le incrementan la sensibilidad al impacto. En seguida se muestran algunas propiedades (tabla 5.1).

PROPIEDAD	VALOX 325 ¹⁴	VALOX DR-51 ¹⁵	RYNITE 530 ¹⁶
Temperatura de deflexión a 18.5 Kg/cm ²	130	160	224
Resistencia al Impacto Izod a 20°C en muestra de 3.2 mm de espesor, J/m	50	55	90
Módulo de flexión a 20°C, Kg/cm ²	23,452	46,192	61,691
Densidad relativa	1.31	1.41	1.56

Tabla 5.1 Propiedades de resinas poliéster (PET y PBT)

El PET y el PBT a menudo compiten en las mismas aplicaciones, y su procesamiento es similar a otras resinas de Ingeniería; se requiere secado antes del moldeo o extrusión. En moldeo por inyección el molde para resinas PET debe ser mantenido 10°C más caliente que los moldes usados para PBT. Otros plásticos que compiten con estas resinas son los Nylons, resinas fenólicas, policarbonatos y poliarilatos.

En el caso de *los poliésteres aromáticos*, estos son una combinación de bisfenol A con derivados halogenados del ácido isoftálico o ácido tereftálico, se producen comercialmente por medio de una polimerización en disolución:

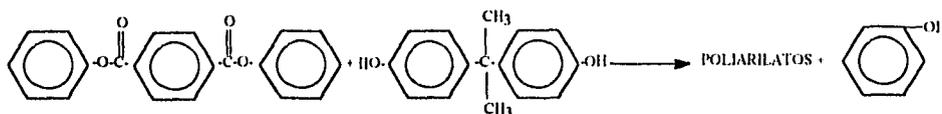


o bien mediante transesterificación:

¹⁴ Resina PBI base

¹⁵ Resina PBI con 15% de refuerzo con fibra de vidrio

¹⁶ Resina PET con 30% de refuerzo de fibra de vidrio



Las mezclas de isoftalato y tereftalato dan resinas amorfas, claras o amarillentas, cuyas temperaturas de deflexión son mayores que las de policarbonatos puros y que dependen de las relaciones de iso y tereftalato empleadas; por ejemplo, una resina con una relación de 1:1, tiene una temperatura de deflexión de 160°C. Los poliarilatos son sensibles al calor, y aunque no se afectan sus propiedades mecánicas, su coloración se oscurece. La estabilidad hidrolítica y su resistencia a disolventes es baja; otras propiedades se dan a continuación:

PROPIEDAD	ARDEL D-100	DUREL-400
Temperatura de deflexión a 18.5 Kg/cm ²	174	170
Resistencia al Impacto Izad 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	Amarillo
Transmisión de luz, %	75	84 - 88

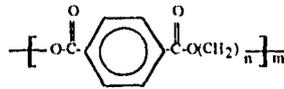
Tabla 5.2 Propiedades de los poliésteres aromáticos

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 Unifika y Celanese los fabrican hoy en día, la resina de Unifika la comercializa en E.U.A. Union Carbide con el nombre de Ardel, en tanto que Celanase tiene en el mercado la resina Durel, producida por Occidental Petroleum Co.

5.1 Generales

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 políéster se denomina polietiléntereftalato (PET)
 $n = 4$ El políéster se conoce como polibutiléntereftalato (PBT)

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

- Resina grado envase (uso más común)
- Película políéster

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 ductilidad. 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 del 80 - 85% del PBT vendido contiene entre 7 y 30% de reforzamiento con fibra de vidrio y/o mineral lo que ocasiona una mejora en sus propiedades mecánicas. En la tabla 5.3, se muestran los componentes agregados a la resina de PBT y el efecto en el producto final.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

COMPONENTE	OBJETIVO
Fibra de vidrio	Mejorar resistencia al impacto
Poliuretano, poliamida, polisocianato policarbonato, resinas fenoxycaprolactama, otros copolímeros	Mejorar resistencia al impacto, tenacidad y estabilidad térmica
Poliésteres	Mejorar la resistencia al paso de la corriente eléctrica
Poli tetracloroetileno (o politetrafluoroetileno) y grafito	Mejorar la resistencia al uso y la lubricidad
Metasilicato de calcio y borato de zinc	Mejorar resistencia de arco eléctrico
Amidas ácidas grasas, triglicéridos poliinsaturados epoxidados, y polibutadieno epoxidado	Para estabilizar contra deterioro por calor y oxidación
Compuestos aromáticos halogenados como bromodifenil éter, hexabromo difenil, pentabromo tolueno, 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 hexacloro pentadieno con ciclopentadieno, furano y tetrabromo estireno	Impartir propiedades de retardancia a la flama y autoextinción
Trióxido de antimonio	Este compuesto tiene un efecto sinérgico al aplicarse con retardantes de flama

Tabla 5.3 Componentes agregados a la resina de PBT y el efecto en el componente producto final

El reforzamiento logra además, una disminución en el precio de resina por pulgada cubica, 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 resultan 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 mas 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 y 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 (graffto, polvo de vidrio, etc.).

Entre los compuestos orgánicos que modifican la estructura del PET se encuentran diglicóéteres de alto o bajo peso molecular, polialquilenglicoles o diepóxidos 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%. 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 mas 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 mas 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 polycarbonatos y/o elastómeros.

5.2 Propiedades de los poliésteres de ingeniería

En la tabla 5.4 se muestran las principales propiedades físicas, mecánicas, eléctricas y térmicas del PBT y PET grado ingeniería con y sin refuerzo de fibra de vidrio.

5.3 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.

Automotriz

El PBT alguna vez se uso 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 mas corrientes del PBT son el reemplazo de partes moldeadas de melol y termopartes para aplicaciones debajo de la cubierta del motor, como son tapas del distribuidor, rotores, defletores 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 amplias rangos de temperatura), aunado a su resistencia a disolventes, 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 limpiaparabrisas, 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 llamo RYNITE SST ("duro super tenaz"). Este es quizá, el termoplástico de ingeniería más rígido actualmente, por lo que se cree que el reemplaza de partes metálicas automotrices que requieren dureza sigan 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 tastadores, hornos de convección, freidores, tenazas eléctricas, sartenes eléctricas y planchas. Otras aplicaciones incluyen secadoras de pelo y cuchillas de procesamiento de comida.

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

PROPIEDADES	% DE FIBRA DE VIDRIO							
	POLIBUTILÉN TEREFALATO				POLIETILÉN TEREFALATO			
	0	15	30	40	0	30	45	MÉTODO DE PRUEBA
GENERALES								
Densidad específica	1.31	1.41	1.53	1.60	1.37	1.56	1.69	D792
% de absorción de agua a 23°C después de 24 hrs.	0.80	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.04	D570
Alequilibrio	0.34	0.30	0.26	0.36	0.60	0.45	0.45	
% de merma al moldearse	2.0	8.8	0.6	0.5	2.0	0.2	0.2	
Dureza Rockwell	R 117 / M68	R 118	R 118 / M90	R 117	M 106	M 100	M 100	D 785
Abrasión Taber mg/1000 Ciclos	9	12	19	26	3	6	7	
Coefficiente de fricción								
Contra sí misma	0.17	0.22	0.15			0.28	0.17	
Contra metales	0.13	0.24	0.19			0.17	0.20	
RESISTENCIA Y DUREZA A 23°C								
Resistencia a tensión, Kg/cm²	0.53	9.2	1.19	1.33	0.54	1.61	1.96	D638
% elongación a tensión	300	5	4	3	300	3	2	
Módulo de flexión, Kg/cm²	0.84	1.4	1.96	2.11	1.16	2.38	2.96	D790
Resistencia a compresión, Kg/cm²	0.92	1.05	1.26	1.26	1.3	1.75	1.82	D695
Resistencia al corte, Kg/cm²	0.54	0.56	0.62	0.56	0.56	0.80	0.87	D732
Módulo de flexión, Kg/cm²	23.8	47.12	77.3	91.5	28.86	91.4	140.6	D790
TENACIDAD								
Impacto Izod J/m								
Ranurada a 23°C	53	59	96	117	43	101	126	D256
A -40°C	37	53	85	107	32	96	123	
Sin ranurar a 23°C	Sin ruptura	530	800	96	Sin ruptura	370	370	
A -40°C	Sin ruptura	480	747	850	Sin ruptura	370	370	
TÉRMICAS / FLAMABILIDAD								
Temperatura de deflexión, °C								D648
A 4.7 Kg/cm	155	210	216	216	215	250	250	
A 18 Kg/cm	55	191	210	210	85	225	226	
Coefficiente de expansión lineal térmica x 10 ⁻⁵ /°C	12.8	4.5	2.5	2.5	7.2	2.9	2.3	D696
Conductividad térmica, W/K	0.16		0.21			0.29	0.31	C177
Índice de temperatura UL, °C								UL 08 HR2
Eléctrica y mecánica con impacto	120	130	140			140	140	
Mecánica sin impacto	140	140	140			140	140	
Índice de oxígeno %	20.6	18.5	18.2	18.5	21	20	20	D2863
Estabilidad química								
Resistencia química	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	
ELÉCTRICAS								
Resistencia al arco, s	184	129	146			72	126	D495
Resistencia volumétrica, cm x106	4.0	3.3	3.2		3.5	0.1	0.1	D257
Resistencia dieléctrica								
(Corta tiempo 1.6 mm) KV/mm	23.2	23.2	24.8	26.4	23.6	29.6	28.8	D149
Constante dieléctrica (permissividad)								
A 100 Hz	3.3	3.6	3.8	3.8		3.6	4.0	D150
A 106 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	D150
A 106 Hz	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.012	0.012	

Tabla 5.4 Propiedades de los poliésteres de tereftalato

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 ductilidad y buena capacidad de colorearse.

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

5.4 Mercado Internacional de los poliésteres de Ingeniería

Desarrolló 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.

El mercado mas importante de los poliésteres de Ingeniería es el de Estados Unidos con aproximadamente 54% de la producción total y 50% del consumo mundial total. Se desglosan los rubros de aplicación de los poliésteres de Ingeniería [1994] tanto en Estados Unidos como Europa Occidental y Japón [10, 13, 14, 15].

APLICACIÓN	E.U.A. (PET y PBT)	EUROPA OCCIDENTAL (PBT)	JAPÓN	
			(PET)	(PBT)
Automotriz	29	20	20	
Eléctrico y Electrónico	29	35 ¹⁷	60	70
Instrumentos	17	20		
Plomería	15			
Partes de maquinaria	5	15	25	
Otros	10	10	20	5
	100%	100%	100%	

Tabla 5.5 Distribución porcentual de la demanda de poliésteres de ingeniería

Situación actual y perspectivas de los poliésteres de ingeniería

Estados Unidos

En Estados Unidos solo existen tres productores de resinas PBT. Celanese y General Electric tienen el 95% 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, estos últimos dos, tienen el 90% de la capacidad total mundial.

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

¹⁷ Estos datos son sólo para aplicaciones eléctricas

COMPañÍA	TIPO DE RESINA	CAPACIDAD (MILES DE TONS)	REGIÓN	NOMBRE COMERCIAL
General Electric	PBT	59	E.U.A.	Valox, Vcl
Celanese Corporation	PBT	32	E.U.A.	Celanex
E.I. Du Pont De Nemours	PET	11	E.U.A.	Rynite
Polyplastics Co. Ltd. ¹⁸	PBT	10	Japón	
Teijin Unifed ¹⁹	PBT	10	Japón	
Mobay Chemical	PET	9	E.U.A.	Pellon
Engineering Plastics Ltd. ²⁰	PBT	9	Japón	
Toray Industries, Inc.	PBT	6	Japón	
Gaf Corporation	PBT	5	E.U.A.	Grafite, Galfuf
Du Pont Japan Ltd. ²¹	PET	4	Japón	
Danippon 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 ²²	PBT	N.D.	Europa Occ. (Francia)	
Rhone-Poulenc Chimie De Base	PBT, PET	N.D.	Europa Occ. (Francia)	Techster
BASF	PBT	N.D.	Europa Occ. (Alemania)	Ultradur
Bayer Ag ²³	PBT, PET	N.D.	Europa Occ. (Alemania)	Pocan
Chemische Werke Huels	PBT	N.D.	Europa Occ. (Alemania)	Vestodur
Ciba-Geigy Marlenberg GmbH	PBT, PET	N.D.	Europa Occ. (Alemania)	Crastine
Monte Polimeri	PBT	N.D.	Europa Occ. (Italia)	Pibitler
Akzo Plastics Bv.	PBT, PET	N.D.	Europa Occ. (Holanda)	Arnite
Bip Chemical Ltd.	PET	N.D.	Europa Occ. (R. Unido)	Beelie Pet

Tabla 5.6 Productores de resinas PET (grado ingeniería) y PBT

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.

¹⁸ El dato de capacidad corresponde a su capacidad de composición (o mezcla).

¹⁹ Las 10.000 TPA incluyen a ambas resinas.

²⁰ El dato de capacidad corresponde a su capacidad de composición (o mezcla).

²¹ El dato de capacidad corresponde a su capacidad de composición (o mezcla).

²² Al parecer la compañía compra el polímero base

²³ Al parecer Bayer produce la resina base en conjunto con Chemische Werke

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.

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.

5.5 Mercado nacional de los políesteres de Ingeniería

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 políester.

Etilenglicoles

En México, 4 son las empresas que cuentan con permiso petroquímico para producir etilenglicoles.

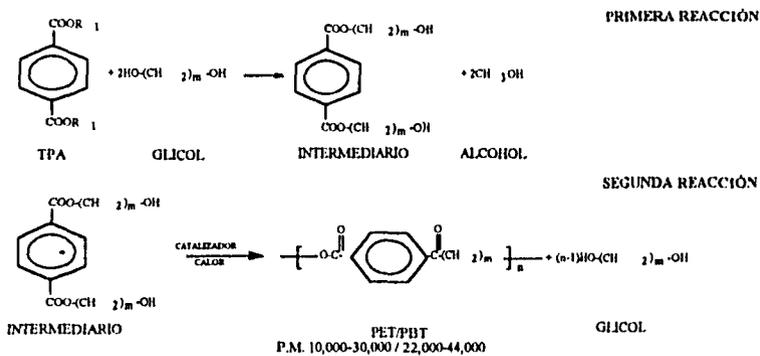
No se conoce la capacidad exacta de cada uno de los etilenglicoles, dado que sus capacidades de manufactura específicas dependen de la demanda del mercado. La distribución porcentual de la demanda del monoetilenglicol es:

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

5.6 Tecnología

Rutas tecnológicas existentes para obtener PET y PBT

Como se menciona al inicio de este capítulo, el polietiléntereftalato (PET) grado Ingeniería, y el polibutiléntereftalato 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

$R_1 = CH_3$ 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

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 de las mismas: prepolimerización, polimerización, separación de disolvente y/o subproducto, 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°C 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 18,000 (para aplicaciones textiles o película).

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



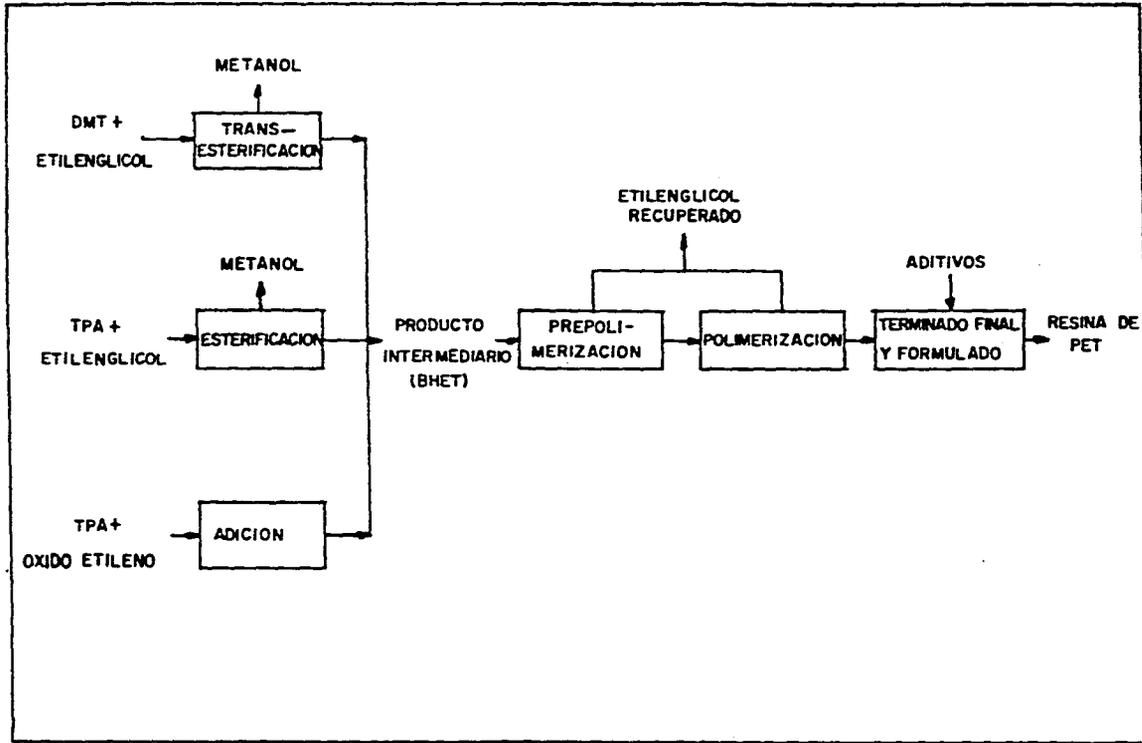


FIGURA 5.1 RUTAS ALTERNATIVAS EN LA OBTENCION DE PET

Nuevamente la reacción se efectúa bajo condiciones que permitan 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:



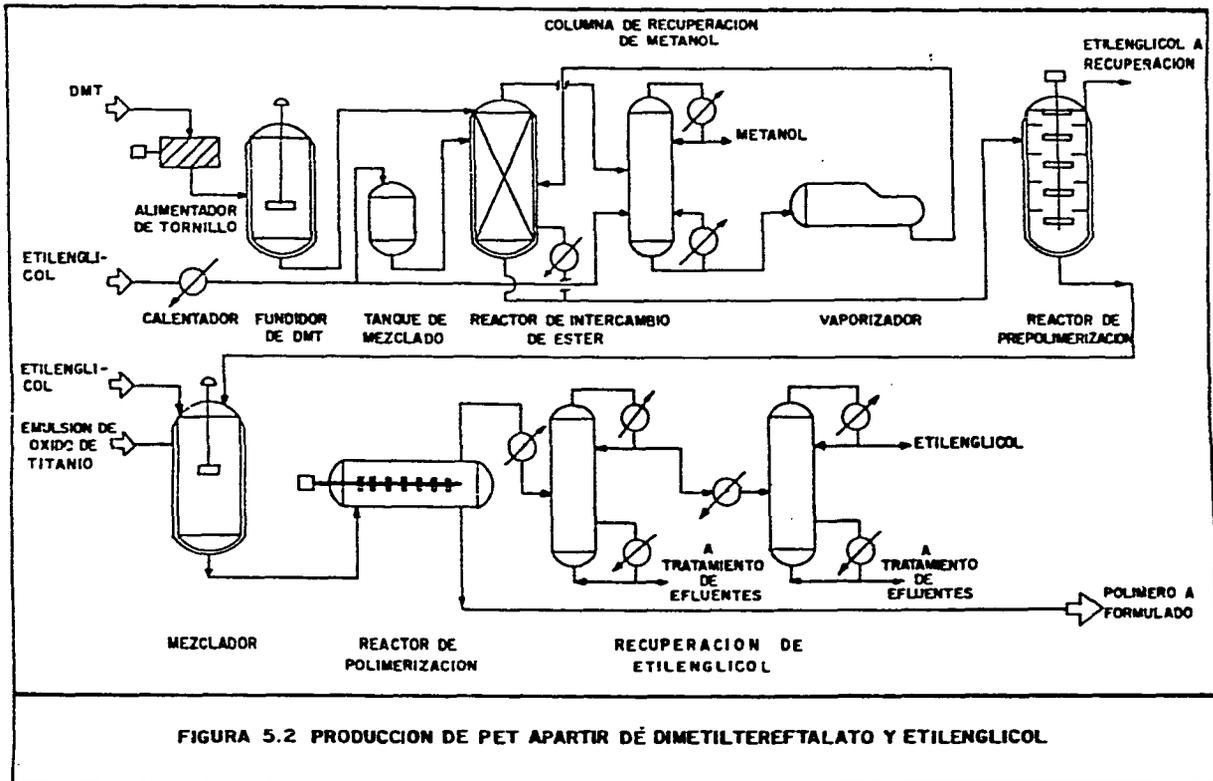
que se efectúa en un medio orgánico (usualmente benceno), y utiliza una amina como catalizador (trietanol amina), a una temperatura de 116°C y presiones superiores a la atmosférica (16 Kg/cm). Esta reacción es seguida por la reacción de policondensación:

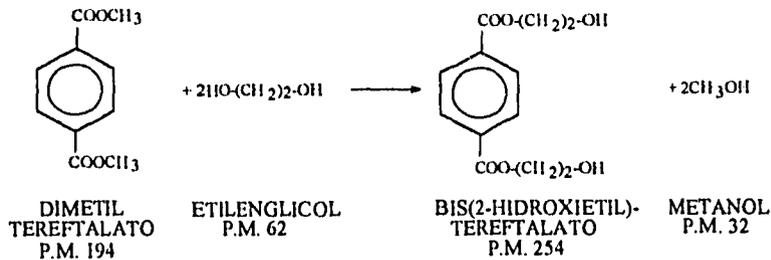


y ocurre a una presión cercana a la atmosférica y una temperatura de 250°C. La polimerización y demás etapas subsecuentes son similares a las de las rutas anteriores. Esta última ruta ha tenido, hasta ahora una aplicación limitada a escala comercial.

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, uno pasa a la torre de recuperación de metanol y la otra parte se alimenta al tanque de mezclado con catalizador (ver figura 5.2). efluente de este mezclador pasa al reactor de intercambio de éster donde tiene lugar la reacción:





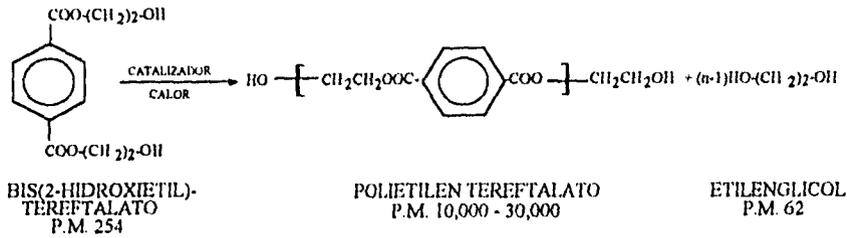
La relación de alimentación etilenglicol: DMT es de 2:1; el tiempo de residencia del líquido es de cerca de 2.5 horas y la conversión del DMT es mayor de 99%. Este reactor es en realidad, una columna de platos que opera a una presión atmosférica y una temperatura de 170°C en el domo, y de 234°C en los fondos, utilizando acetato de zinc como catalizador.

El metanol producido en la reacción se recupera 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 refoma al reactor de intercambio de éster.

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 los fondos y utilizan trióxido 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.

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 6 hrs. o menor y el peso del polímero obtenido es de 18,000 o más, la reacción de polimerización es la siguiente:



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 poliétilentereftalato a partir de DMT y etilenglicol mediante el proceso descrito anteriormente, tanto de materia prima como de servicios auxiliares se muestran en la tabla 5.7.

Materia prima ²⁴	Consumo por tonelada
DMT	1.001 tons
Etilenglicol	0.3594 tons
Dióxido de titanio	0.0042 tons
Subproducto	
Melanol	0.3374 tons
Servicios auxiliares	
Agua de enfriamiento	53 m ³
Vapor	1.4 tons
Electricidad	165 kw/h
Gas inerte	24 Nm ³
Gas natural	994 Kcal

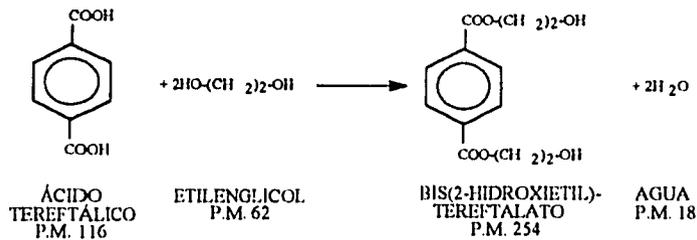
Tabla 5.7 Consumos unitarios en la obtención de PET a partir de DMT y etilenglicol

²⁴ No se incluyen consumos de catalizador y otros aditivos como estabilizantes o agentes antioxidantes

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 polietiléntereftalato a partir de ácido tereftálico (TPA) y etilenglicol.

El proceso inicia al introducir el TPA mediante alimentadores tipo "tornillo " al reactor(es) en el(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/cm y se efectúa la siguiente reacción.



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 prepolimerización para continuar su procesamiento en forma similar a como ocurre en el proceso de DMT descrito anteriormente.

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.

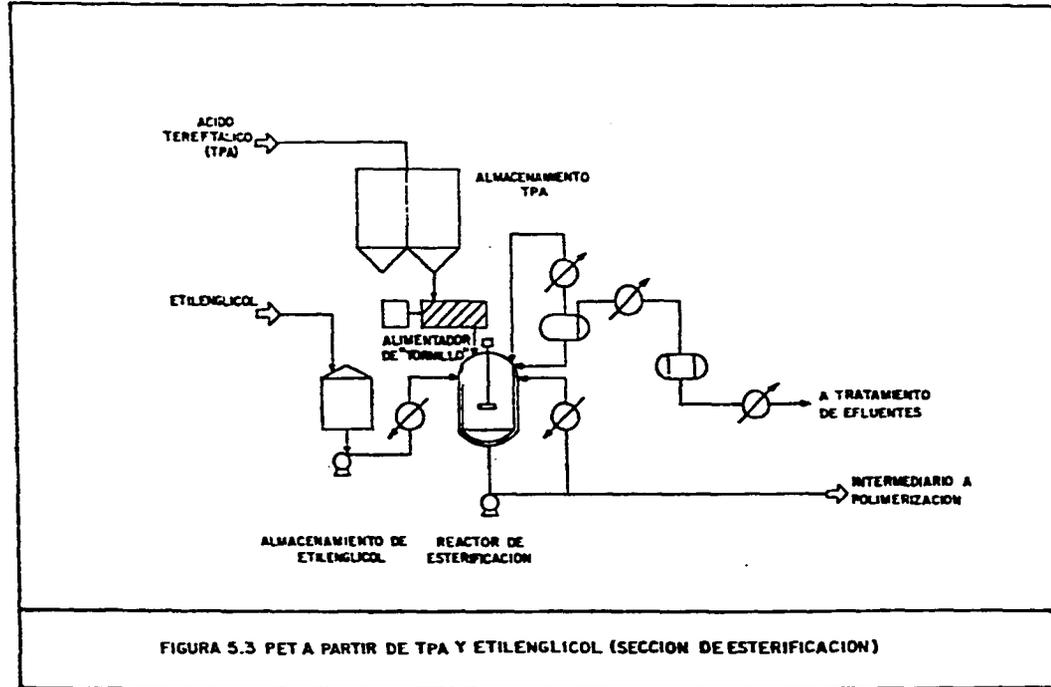


FIGURA 5.3 PET A PARTIR DE TPA Y ETILENGLICOL (SECCION DE ESTERIFICACION)

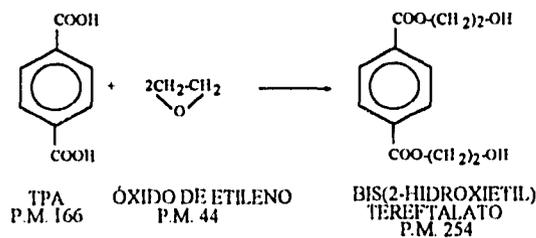
MATERIA PRIMA ²⁵	CONSUMO POR TONELADA
TPA	0.8563 Tons
Etilenglicol	0.3594 Tons
Dióxido de titanio	0.0042 Tons
Servicios auxiliares	
Agua de enfriamiento	54 m3
Vapor	1.1 Tons
Electricidad	163 Kw/h
Gas inerte	24 Nm3
Gas natural	1.556 Kcal

Tabla 5.8 Consumos unitarios en el proceso de PET vía TPA y etilenglicol

Descripción del proceso para obtener PET a partir de ácido tereftálico y óxido de etileno

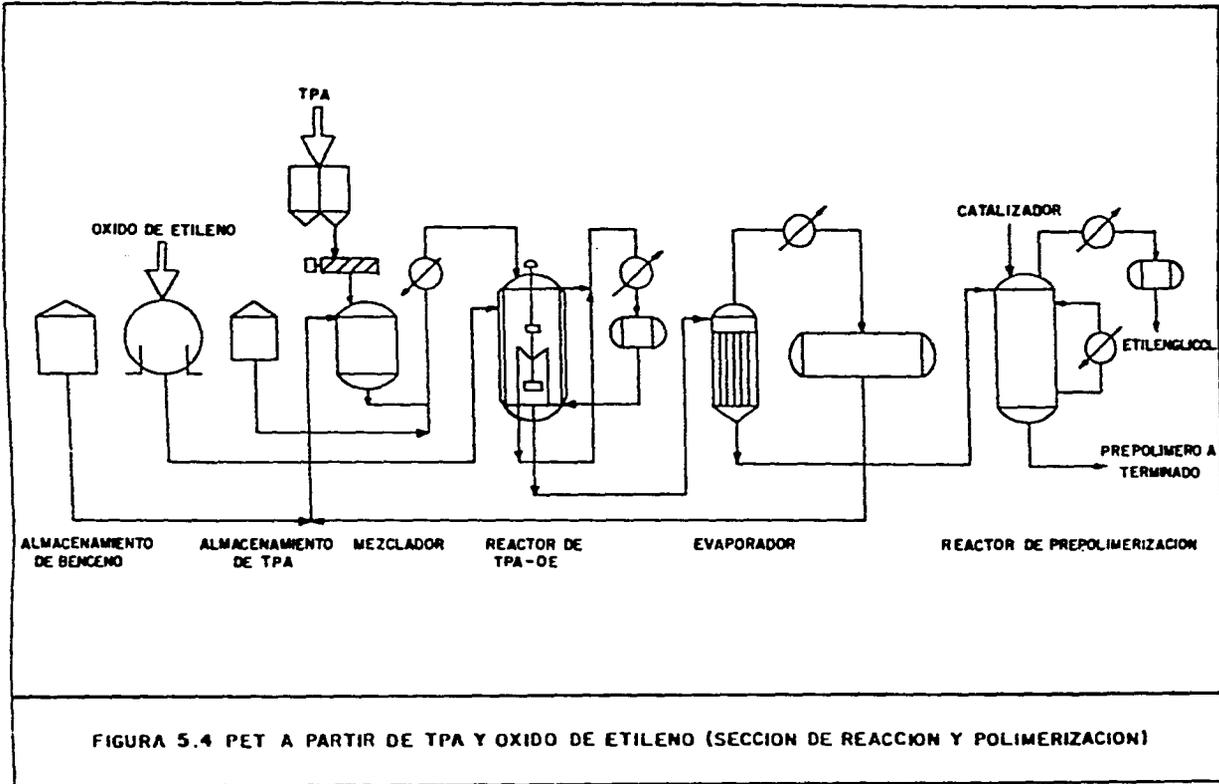
La figura 5.4. muestra la fracción del diagrama de flujo de proceso correspondiente a la sección de reacción entre el Óxido de etileno y el ácido tereftálico. El TPA grado fibra se introduce a través de las alimentadores de tornillo a un tanque de mezcla al que se agregan además, benceno de reposición y una mezcla de óxido de etileno-benceno de recirculación, junto con el catalizador (trietanolamina), la mezcla en emulsión 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 la reacción. Las condiciones de reacción son temperatura: 115°C y presión 16 Kg/cm con un tiempo de residencia de cerca de 100 minutos. La reacción principal es:

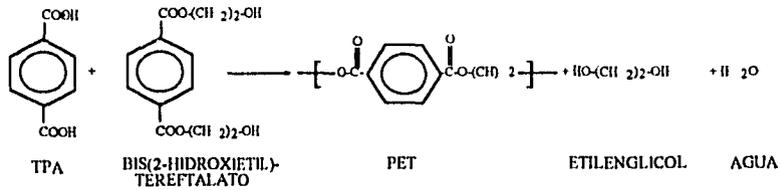


En la chaqueta del reactor se evapara benceno (enfriando la reacción), cerca del 60% del TPA se transforma en BHET. El efluente del reactor se pasa a través de un evaporador para eliminar la

²⁵ No se incluyen los consumos de catalizador y otros aditivos



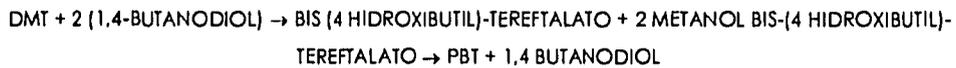
mayor parte de OE y benceno remanentes, para enviarse posteriormente a un segundo reactor en donde se produce la reacción:



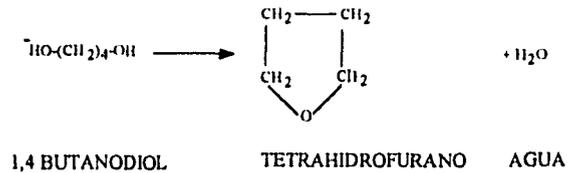
Este segundo reactor trabaja a una temperatura de 250°C y una presión de 1 Kg/cm y tiene un tiempo de residencia aproximado, de 2 hrs. el prepolímero producido hasta este momento, con un peso molecular promedio de 2,000 pasa a la sección de polimerización y el proceso continúa en una forma similar a 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.

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, tetraetil titanato, etc. Por otro lado las utilizadas 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 hrs. 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 obtenida son similares, y las castas en ambas procesos son comparables.

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 44,000.

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, 22,000 y 44,000 respectivamente.

El butanodiol se alimenta continuamente a un tanque en el que se mezcla con el catalizador (terbutiltitanato), 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.

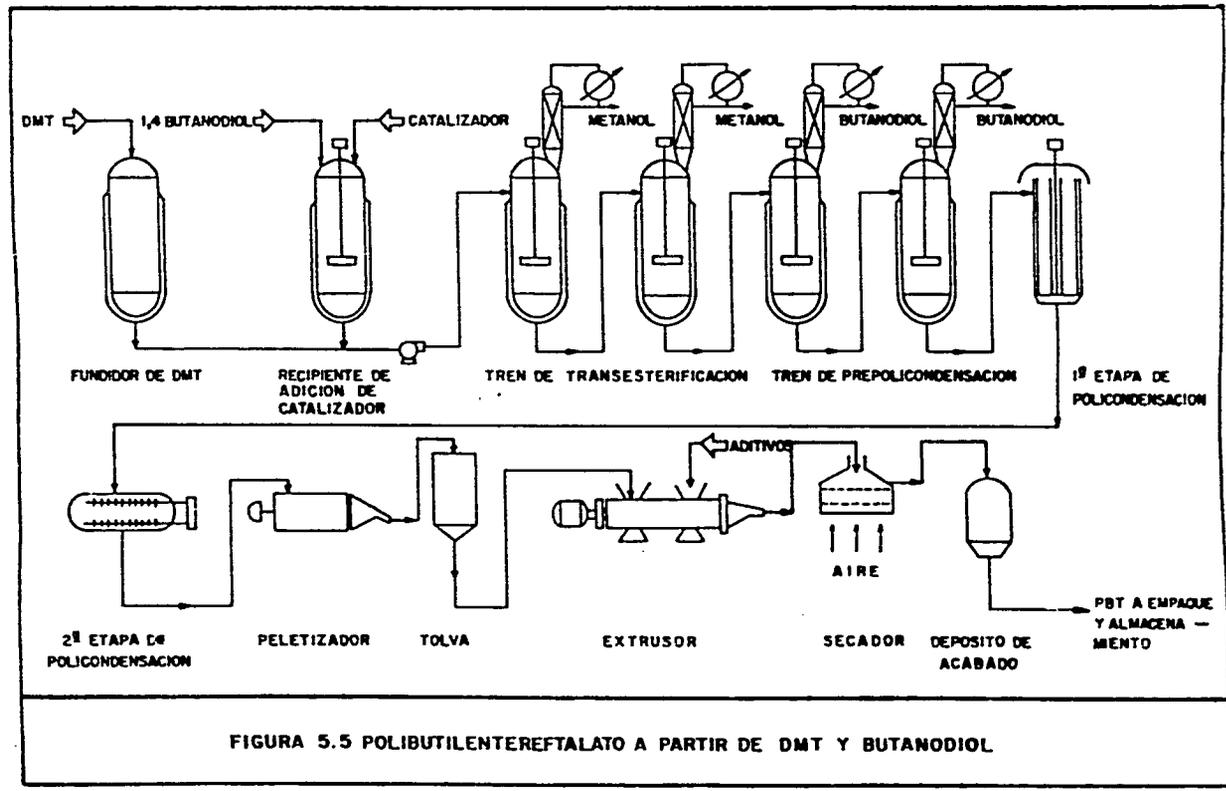


FIGURA 5.5 POLIBUTILENTEREFTALATO A PARTIR DE DMT Y BUTANODIOL

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 en una columna rectificadora en el domo de los recipientes. La temperatura de reacción en la prepolicondensación se incrementa de 230° 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 policondensación que es un reactor del tipo película delgada que 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 aproximadamente una hora y el peso molecular promedio alcanzado en el proceso es de 44,000.

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 recircula. El efluente del último reactor se peletiza 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).

Materia prima ²⁶	Consumo Por Tonelada
Dimetil tereftalato	0.8886 Tons
Butanodiol	0.4443 Tons
Subproductos	
Metanol	0.2857 Tons
Servicios auxiliares	
Agua de enfriamiento	117 m ³
Vapor	0.85 Ton.
Electricidad	472 Kw/h
Aceite	1,111 Kcal
Gas inerte	23 Nm ³

Tabla 5.9 Consumos unitarios para obtener PBT sin modificar

²⁶ No se incluye el consumo de catalizador

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 ilimitada, por lo que en este punto solo se hará la comparación entre los dos procesos restantes.

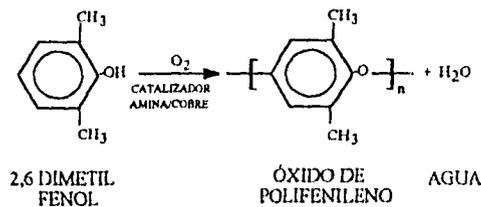
Dado que los dos procesos analizados además de presentar una complejidad tecnológica similar, dan como resultado un producto de características similares, el criterio de selección será el económico.

En base a lo anterior se puede concluir que para capacidades menores o iguales a las 35 000 T/A el proceso que parte de DMT es la mejor opción tecnológica para la producción de PET grado Ingeniería. A capacidades mayores a esta 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 solo depende de las características del producto deseado.

6. ÓXIDO DE POLIFENILENO

Las resinas de óxido de polifenileno o poliéter 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 disolución de tolueno.



Con temperaturas 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 como poliestireno de bajo 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 aditivos adicionales como estabilizadores y retardantes de flama.

PROPIEDAD	NORYL SE 100	PREVEX VQA	NORYL GFN3 ²⁷
Temperatura de deflexión a 18.5 Kg/cm ²	100	129	135
Resistencia al impacto Izod a 20° C en muestra de 3.2 mm de espesor, J/m	250	268	120
Módulo de flexión a 20° C, Kg/cm ²	25,492	26,512	78,516
Densidad relativa	1.10	1.06	1.36

Tabla 6.1 Propiedades de resinas basadas en óxido de polifenileno

Actualmente se están investigando otras resinas para mezclas, por ejemplo el poliéter de fenileno mezclado con poliamidas produce materiales con gran estabilidad dimensional y resistencia a disolventes. 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

²⁷ Reforzado con fibra de vidrio

médicos, también se puede producir espuma plástica útil en la fabricación de gabinetes para máquinas de negocios, computadoras, copiadoras, etc.

Sus principales competidoras en algunas aplicaciones son los polímeros ABS (acrilonitrilo-butadieno-estirena) y mezclas ABS/PC.

6.1 Generales

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 moldeado era difícil, sin embargo, las mezclas de óxido de polifenileno-poliestireno Impacto sí 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. Se muestran a continuación las principales propiedades mecánicas, eléctricas y térmicas del Noryl, en diferentes grados.

6.2 Propiedades del óxido de polifenilo

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, 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 PPE 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 del 70% 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.

PROPIEDAD	731	SE-1	SE-100	GFN-2	GFN-3	SEI-GFN-2	SEI-GFN-3	ASTM
Densidad Relativa a 23° 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	0.82	0.78	0.77	0.73	
Absorción de agua, 24 hr. (%)	0.066	0.066	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	D 570
Temperatura de deflexión a 18.5 Kg/cm ² (* C)	129	129	100	143	149	132	135	D 648
Coefficiente de expansión térmica (10 ⁻⁵ / * C)	1.8	1.8	2.1	1.1	0.7	1.1	0.7	D 696
Contracción en el molde (%)	5 - 7	5 - 7	5 - 7	2	1 - 3	2 - 4	1 - 3	D 1299
Flamabilidad	SE	SE-1	SE-1	SE	SE	SE-1	SE-1	30
Constante dieléctrica, 50% H.R. 23° C, 60 Cps	2.64	2.69	2.65	2.86	2.93	2.98	3.15	
Resistividad volumétrica, seca 23° C (Ohm cm)	1017	1017	1016	1017	1017	1017	1016	D 257
Resistividad superficial (Ohm)	1017	1017	1016	1017	1017	1017	1017	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 lungsteno (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 638
% de elongación a ruptura	60	60	50	4 - 6	4 - 6	4 - 6	4 - 6	D 638
Módulo de tensión a 23° C	24,965	24,965	26,732	65,049	84,338	65,049	84,388	D 638
Resistencia a flexión a 23° C (Kg/cm ²)	949	949	900	1,301	1,406	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	77,356	52,742	77,356	D 790
Resistencia a la compresión, 10% de deformación (Kg/cm ²)	1,153	1,153	1,125	1,237	1,259	1,237	1,259	D 695
Resistencia al corte (Kg/cm ²)	738	738	405	731	745	731	745	D 732
Deformación sobre una carga de 1.40 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	R 119	R 119	R 115	R 106	L 108	L 108	L 108	D 785
Abrasión (mg)	20	20	100	35	35			D 1044
Límite endurecimiento a fatiga, 2 x 10 ⁶ ciclos (Kg/cm ²)	170	176	130	281	351			D 671
Claridad	OPACA	OPACA	OPACA	OPACA	OPACA	OPACA	OPACA	

Tabla 6.2 Propiedades típicas de óxido de polifenileno modificado³⁰.

Las resinas de óxido de polifenileno modificado cumplen ampliamente con grados de alta resistencia a la temperatura del ABS (acrilonitrilo-estireno-butadieno), así como con otros polímeros de estireno, incluyendo los copolímeros de estireno Anhídrido maleico y otras mezclas como las de policarbonato-ABS.

³⁰ Los valores corresponden al producto de óxido de polifenileno Noryl (de General Electric)

³¹SE = Autoextinguible sin goteo (ASTM D 639)

SE - 1 = Autoextinguible sin goteo Grupo 1 (Boletín U.L. 94)

6.3 Usos del Óxido de Polifenileno

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, copadoras, 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 éstas aplicaciones. En adición a lo anterior, 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.

Aparatos, domésticos

El sector de aparatos domésticos 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.

Automóviles

Los usos en el sector automotor 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 estas resinas, como cajas de fusibles, conectores y partes de lámparas, se utilizan también ampliamente.

Eléctrico / Electrónico

Las aplicaciones de las aleaciones MPPO/MPPE incluyen aparatos electrodomésticos e industriales. Ejemplos de ellos son radios, televisores, equipos 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 tenacidad y otras propiedades de este plástico permanecen en un amplio rango de temperaturas, la absorción al 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.

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 usados en el tratamiento de agua de mar.

6.4 Mercado Internacional de las Resinas de Óxido de Polifenileno

A continuación se presentan tanto la distribución porcentual del consumo de resinas de MPPO [10, 13, 14, 15] para 1994, así como las Compañías productoras junto con los nombres comerciales con que se distribuyen sus productos.

Automóviles

Los usos en el sector automotriz de estas resinas incluyen aplicaciones externas e internas, entre las primeras se encuentran la fabricación de bastidores de espejos, parrillas, cubiertas de llantas y expolladores, 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 estas resinas, como cajas de fusibles, conectores y partes de lámparas, se utilizan también ampliamente.

Eléctrico / Electrónico

Las aplicaciones de las aleaciones MPPO/MPPE incluyen aparatos electrodomésticos e industriales. Ejemplos de ellos son radios, televisores, equipos 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 tenacidad y otras propiedades de este plástico permanecen en un amplio rango de temperaturas, la absorción al 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.

Otras

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 usados en el tratamiento de agua de mar.

6.4 Mercado Internacional de las Resinas de Óxido de Polifenileno

A continuación se presentan tanto la distribución porcentual del consumo de resinas de MPPO [10, 13, 14, 15] para 1994, así como las Compañías productoras junto con los nombres comerciales con que se distribuyen sus productos.

APLICACIÓN	E.U.A.	EUROPA OCCIDENTAL	JAPÓN
Máquinas de oficina y telecomunicaciones	42	40	
Aparatos domésticos	13	8	
Eléctrico y electrónico	17	12	30
Automotriz	17	30	24
Maquinaria			35
Otros	11	10	11
	100%	100%	100%

Tabla 6.3 Distribución porcentual de la demanda del MPPO

COMPAÑÍA	CAPACIDAD (Miles de Toneladas)	REGIÓN	NOMBRE COMERCIAL
General Electric Company	125	E.U.A.	Noryl
General Electric Co.	50 ^{2a}	Europa Occidental	Noryl
Engineering Gas Chemical	50	Japón	Noryl
Asahi	11	Japón	Xyron
Mitsubishi Gas Chemical Co.	10	Japón	Iuplase
Borg-Warner Chemicals, USA	9	E.U.A.	Prevex (Resinas MPPE)
BASF		Europa Occidental	Luranyl ^{3a}

Tabla 6.4 Principales productores de resinas de óxido de polifenileno

6.5 Mercado Nacional de las Resinas MPPO / MPPE

Al igual que en el caso de otras resinas, éstos plásticos de Ingeniería no se producen en México. Se analiza, sin embargo, la situación de las materias primas.

Materias Primas

Las materias primas necesarias para producir óxido de polifenileno modificado, son el 2,6 dimetilfenol derivado del fenol, el anhídrido acético y el metanol. La situación nacional de metanol ya se ha comentado en 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 128.000 toneladas anuales de fenol, se sabe que se utiliza en las siguientes aplicaciones:

^{2a} Al parecer se incluye aquí la capacidad de éter de polifenileno Asahi tiene planes de aumentar su capacidad a 18,000 TPA

^{3a} No se especifica si es MPPO, MPPE o una mezcla de ambos

- 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.

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 Tecnología

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).

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 PPO están asignadas a General Electric, aunque recientemente han aparecido varias asignadas a las empresas Asahi Chemical, Mitsubishi Gas Chemical y Mitsui Chemical.

Se muestra el diagrama de bloques que presenta los pasos seguidos en la obtención de óxido de polifenileno (figura 6.1). 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. Se dan algunas características relevantes de las condiciones de reacción utilizadas.

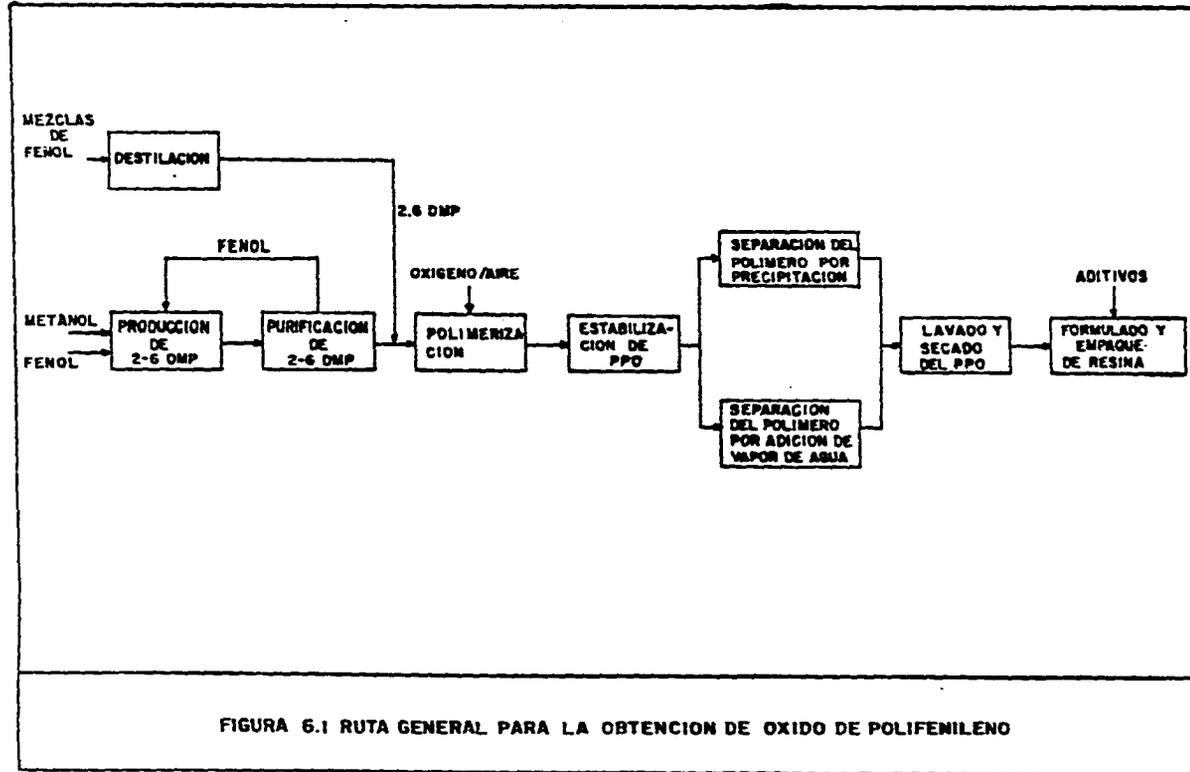


FIGURA 6.1 RUTA GENERAL PARA LA OBTENCION DE OXIDO DE POLIFENILENO

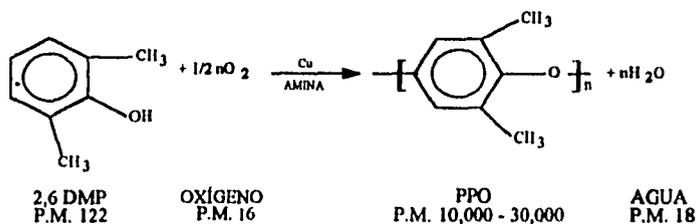
La pureza de 2-6 DMP requerida en la polimerización es de cuando menos 97.2%, por lo que el siguiente paso en la obtención del PPO es la purificación de tal compuesto.

CONDICIÓN	COMPAÑÍA		
	ASAHI	MIITSUI	MIITSUI
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 y silicón y carbonato de potasio	Mezclas de óxido de hierro y germanio	Mezclas de óxidos de hierro y germanio
Conversión (% de fenol)	100	100	100
Selectividad a 2-6 DMP ³²	98.3	96.8	95.2
Selectividad a O-cresol ³³	0.9	1.9	3.4

Talio 6.5 Condiciones de reacción en la obtención de 2-6 dimetil fenol mediante alquilación de fenol

La polimerización se realiza en un sistema formado por el 2-6 DMP, un catalizador y un disolvente; al que se burbujea el agente oxidante.

Tal como se muestra, la polimerización puede realizarse burbujeándose al sistema oxígeno o aire y, aunque al parecer el tiempo de reacción es substancialmente menor si se utiliza oxígeno, el aire también se utiliza en procesos comerciales (Mitsubishi Gas Chemical). La reacción que ocurre es la siguiente:



³² No se incluyen los consumos de catalizador, otros químicos y aditivos

³³ No se incluyen los consumos de catalizador, otros compuestos químicos y aditivos

Los rendimientos reportados para la reacción de polimerización oscilan entre 90 y 100%, 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 sulfonato de magnesio (ó en ocasiones mallas moleculares) se suelen agregar a la mezcla de reacción. Recientemente se ha reportado la utilización de una mezcla tolueno-metanol como disolvente de la reacción en lugar de utilizar únicamente tolueno (disolvente 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 ó, 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 10,000, siendo el más comercial cercano a 30,000.

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 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 en 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 disolvente de reacción se ha realizado tradicionalmente mediante la precipitación del primero al agregar un no disolvente, el compuesto utilizado como no disolvente es el metanol, un problema asociado a la utilización de este compuesto es que su separación del disolvente 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 caliente como agente de

Los rendimientos reportados para la reacción de polimerización oscilan entre 90 y 100%, 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 sulfonato de magnesio (ó en ocasiones mallas moleculares) se suelen agregar a la mezcla de reacción. Recientemente se ha reportado la utilización de una mezcla tolueno-metanol como disolvente de la reacción en lugar de utilizar únicamente tolueno (disolvente 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 ó, 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 10,000, siendo el más comercial cercano a 30,000.

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 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 en 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 disolvente de reacción se ha realizado tradicionalmente mediante la precipitación del primero al agregar un no disolvente, el compuesto utilizado como no disolvente es el metanol, un problema asociado a la utilización de este compuesto es que su separación del disolvente 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 caliente como agente de

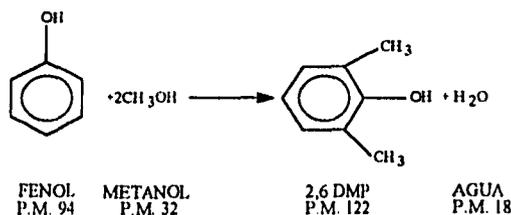
separación para el cual la posterior separación del tolueno es más sencilla con lo que se logra un ahorro considerable de energía.

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 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).

Descripción del Proceso para producir Óxido de Polifenileno

El fenol alimentado junto con el DMP y el *o*-cresol recirculados se vaporizan y mezclan con el metanal vapor, para enviarse al reactor de alquilación en donde se produce el 2,6 dimetil fenol de acuerdo a la siguiente reacción:



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 por debajo de la sección de precalentamiento.

El effluente 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 (que no se muestra en el esquema) para ventear una pequeña cantidad de hidrógeno formado en la reacción.

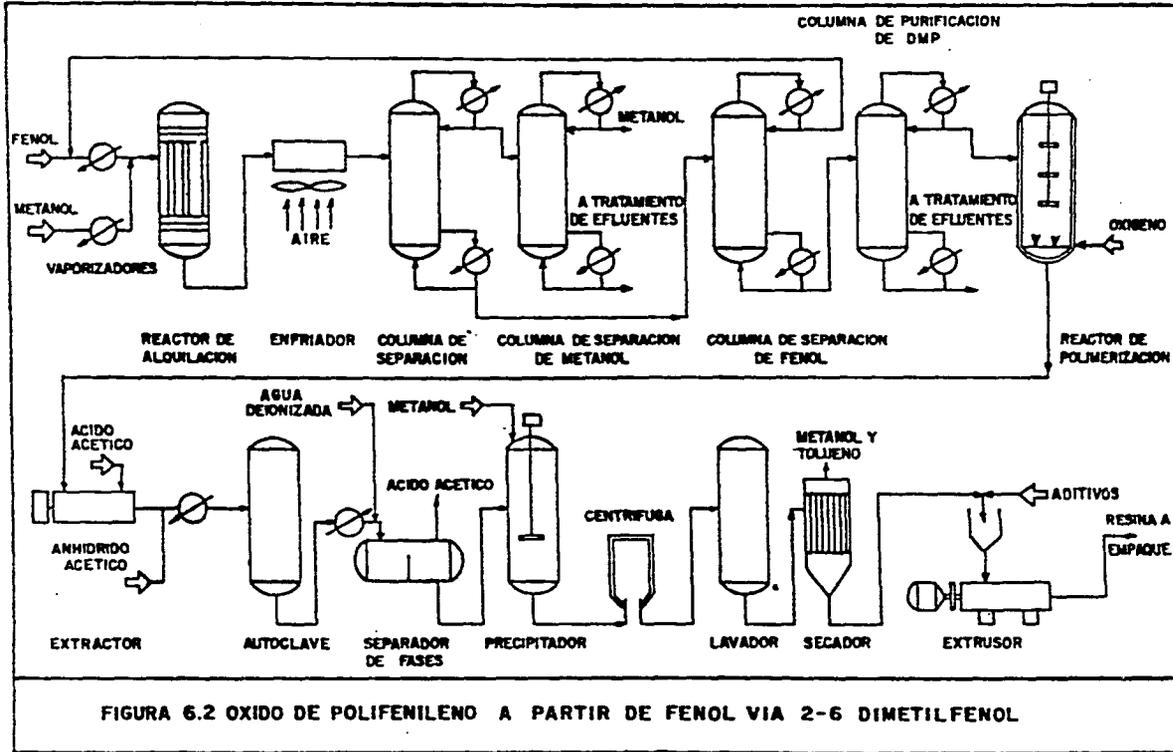
El líquido libre de gases se alimenta a una columna separadora en donde se obtiene por la parte superior una mezcla de metanol-agua-formaldehído, la cual se manda a una segunda columna para purificar el metanol. La corriente de los fondos de la primera torre se alimenta a una columna recuperadora de 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 disolvente (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% de este reactor salen dos corrientes una de ellas contiene la disolución de óxido de polifenileno tolueno que se envía a la sección de terminado, mientras que la otra corriente (no se muestra en la figura), se neutraliza y decanta para obtener di-n-butilamina y óxido de cobre.

En la sección de terminado la disolución de PPO se mezcla con anhídrido acético se calienta y alimenta a un autoclave en donde reacciona con los grupos hidróxido terminales del polímero, con lo que se logra mejorar la resistencia del polímero contra la oxidación.

La disolución que abandona el autoclave se enfría a 37° C y se envía a un recipiente en el que se mezcla con agua deionizada para convertir el anhídrido acético en ácido acético, posteriormente se envía a un separador de fases en donde se separa en diferentes capas el ácido acético y la disolución de polímero.



La disolución de polímero se mezcla con metanol para precipitar el polímero, éste se centrifuga, lava y seca, mientras que en la mezcla de tolueno-metanol se envía a separación para su recirculación posterior. En la siguiente sección se procesa el PPO en forma de pélets agregándose el poliestireno de 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, se dan a continuación:

Materia Prima ⁴	Consumo por Tonelada	Servicios Auxiliares	Consumo por Tonelada
Fenol	0.8146 Tons	Agua de enfriamiento	1,641 m ³
Anhidrido acético	0.9067	Vapor	38 Tons
Metanol	0.6300	Agua de proceso	4.2 m ³
Tolueno	0.0229	Electricidad	1,030 KwHr
Oxígeno	0.1338	Gas Inerte	4.1 Nm ³
Di-n-butilamina	0.1222		
Ácido acético	0.1088		
Sosa cáustica	0.0827		
Subproductos			
Di-n-butilamina	0.1211 Tons		
Óxido de cobre	0.0076		
Ácido Acético	1.0650		

Tabla 6.6 Consumos Unitarios en la Producción de PPO

A fin de comparar los consumos del proceso convencional con los del proceso de bajo consumo de energía, en la siguiente tabla se dan los consumos unitarios de ambos, considerando al 2,6 D,P como materia prima; es decir, sin tomar en cuenta la sección en la que se produce este compuesto.

⁴ No se incluyen los consumos de catalizador, otros compuestos químicos y aditivos

	Proceso Convencional	Proceso de Bajo Consumo de Energía
Materia Prima		
2,6 Dimetil Fenol	0.9485 Tons	0.9484 Tons
Anhidrido acético	0.9067	0.0286
Metanol	0.0068	0.0126
Tolueno	0.0229	0.0087
Oxígeno	0.3380	0.1338
Di-n-butilamina	0.1222	0.0094
Ácido acético	0.1088	
Sosa cáustica	0.0827	0.01124
Subproductos		
Di-n-butilamina	0.1211 Tons	
Óxido de cobre	0.0076	0.0013
Ácido acético crudo	1.0650	
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 KwHr	543
Gas Inerte	2.1 Nm ³	0.36

Tabla 6.7 Consumos Unitarios en los Diferentes Procesos Existentes para Obtener PPO

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% con respecto a la requerida para el proceso convencional, mientras que en los costos de producción la diferencia es cercana al 18%, 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 III

Metodología de Análisis

La Industria Petroquímica puede observarse desde distintos enfoques, uno de los cuales es aquel que la define como el conjunto de procesos enlazados que hacen posible la transformación de las materias primas básicas derivadas del petróleo y del gas natural en productos de demanda final. Cada uno de éstos procesos va transformando las materias primas en otras sucesivamente hasta llegar al producto final; de ésta manera se forma una cadena, ó ruta, que da como resultado un producto determinado. Llamaremos a los productos de demanda final "productos finales", a las materias primas que Inician la cadena "materias primas básicas", y a los existentes entre las materias primas básicas y los productos finales como "materias primas intermedias" ó "productos intermedios" dependiendo del papel que estén desempeñando en el proceso. También, podemos incluir otro conjunto de materias primas que llamaremos "materias primas exógenas" que son aquellas que un proceso requiere y que no son obtenidas por un proceso anterior, y finalmente podemos nombrar

otro categorio de productos, los "coproductos" que son aquellos que se obtienen junto con el producto principal de un proceso determinado y son susceptibles de ser comercializados, ó bien, utilizados como moterio primo dentro de la mismo cadena.

En algunos casos, pueden existir varios procesos que seon capaces de producir un mismo producto intermedio ó final. Estos procesos se diferencian entre sí por los moterios primas básicas ó intermedios utilizados, por las materias primas exógenas requeridas ó, por los coproductos obtenidos. Cada uno de éstos procesos representa una posibilidad tecnológica distinto para la producción de un determinado producto. De ésto manero, podemos formar rutas ó cadenas tecnológicas para la producción de un producto final, cada una de estas cadenas significa una alternativa para la producción del mismo. Así, al agrupar todas las cadenas formadas, obtenemos una red de procesos ó tecnologías que conducen a dicho producto.

En el presente capítulo se definen el total de cadenas tecnológicas para la obtención de los productos de demanda final, inclusive algunas otras alternativas que no se consideraron dentro de la descripción de las tecnologías más importantes del Capítulo II pero que existen en menor escala comercial que los descritos pero en un determinado momento pueden ofrecernos grandes beneficios en su implementación, dependiendo de lo óptica bajo los que se les consideren.

Esta es una parte sumamente importante de nuestro análisis, pues con dicha red de procesos, nos encontraremos en posibilidades de situar a todas estas tecnologías dentro de un mismo contexto y con mismas potencialidades, es decir, cada una representa una alternativa que bajo la óptica de la prospectiva que deseamos establecer y bajo una serie de consideraciones, nos permitirá no solamente obtener un conjunto de procesos que dan como resultado o los Plásticos de Ingeniería más importantes en nuestros días, sino más aún buscaremos obtener el conjunto óptimo (y por ende la red óptima) de procesos para integrar fuertemente a la IPQ, con el mayor interés de reflejar este análisis en nuestro País.

Poliacetales.

Acetal Copolímero.

Cadena Tecnológica 1.

Acetal Copolímero (1/1) Metanol
Catalizador de Fe-Mo
Ácido Sulfúrico
1-Cloronaftaleno
Oxido de Etileno (1/2) Etileno

Ciclohexano
Sodio
Tri-n-butilamina
Amoníaco (acuoso)
Estabilizador
Antioxidante
Desechos plásticos
Nitrógeno

Cadena Tecnológica 2.

Acetal Copolímero (1/1) Metanol
Catalizador de Fe-Mo
Ácido Sulfúrico
1-Cloronaftaleno
Oxido de Etileno (2/2) Etileno
Oxígeno (Alto Uso)
Metano
Carbonato de Potasio

Ciclohexano
Sodio
Tri-n-butilamina
Amoníaco (acuoso)
Estabilizador
Antioxidante
Desechos plásticos
Nitrógeno

Acetal Homopolímero.

Cadena Tecnológica 1.

<p><u>Acetal Homopolímero (1/1)</u></p> <p><u>Metanol</u> Catalizador de Fe-Mo Ciclohexanol Ciclohexano Tri-n butilamina <u>Anhidrido Acético (1/4)</u></p>	<p><u>Acetaldehído (1/1)</u></p>	<p><u>Etileno</u> <u>Oxígeno (Uso Moderado)</u> Ácido Clorhídrico Catalizador de Cu-Pd</p>
<p>Acetato de Sodio Acetona Estabilizador Antioxidante Desechos plásticos Nitrógeno</p>	<p>Acetato de Etilo</p>	

Cadena Tecnológica 2.

<p><u>Acetal Homopolímero (1/1)</u></p> <p><u>Metanol</u> Catalizador de Fe-Mo Ciclohexanol Ciclohexano Tri-n butilamina <u>Anhidrido Acético (2/4)</u></p>	<p><u>Ácido Acético (1/3)</u></p>	<p><u>Etileno</u> <u>Oxígeno (Uso Moderado)</u> Ácido Clorhídrico Catalizador de Cu-Pd Acetato de Etilo</p>
<p>Acetato de Sodio Acetona Estabilizador Antioxidante Desechos plásticos Nitrógeno</p>	<p>Fosfato de Trietilo Amoníaco (acuoso) Acetato de Sodio Acetato de n-Butilo</p>	

Cadena Tecnológica 5.

Acetal Homopolímero (1/1)	Metanol Catalizador de Fe-Mo Ciclohexanol Ciclohexano Tri-n butilamina	Anhidrido Acético (2/4)	Ácido Acético (2/3) Fosfato de Trietilo Amoniaco (Acuoso) Acetato de Sodio Acetato de n-Butilo	Metanol Monóxido de Carbono
	Acetato de Sodio Acetona Estabilizador Antioxidante Desechos plásticos Nitrógeno			

Cadena Tecnológica 6.

Acetal Homopolímero (1/1)	Metanol Catalizador de Fe-Mo Ciclohexanol Ciclohexano Tri-n butilamina	Anhidrido Acético (2/4)	Ácido Acético (3/3) Fosfato de Trietilo Amoniaco (Acuoso) Acetato de Sodio Acetato de n-Butilo	Acetaldehído (1/1) Etileno Oxígeno (Uso moderado) Ácido Clorhídrico Catalizador de Cu-Pa
	Acetato de Sodio Acetona Estabilizador Antioxidante Desechos plásticos Nitrógeno		Acetato de Etilo	

Cadena Tecnológica 7.

<u>Acetal Homopolímero (1/1)</u>	<u>Metanol</u> Catalizador de Fe-Mo Ciclohexanol Ciclohexano Tri-n butilamina	<u>Anhidrido Acético (3/4)</u>	<u>Ácido Acético (2/3)</u> Acetona NaOH (al 50%) Acetato de sodio	<u>Metanol</u> Monóxido de Carbono
	Acetato de Sodio Acetona Estabilizador Antioxidante Desechos plásticos Nitrógeno			

Cadena Tecnológica 8.

<u>Acetal Homopolímero (1/1)</u>	<u>Metanol</u> Catalizador de Fe-Mo Ciclohexanol Ciclohexano Tri-n butilamina	<u>Anhidrido Acético (3/4)</u>	<u>Ácido Acético (3/3)</u> Acetona NaOH (al 50%) Acetato de sodio	<u>Acetaldehído (1/1)</u> Acetato de Etilo	<u>Etileno</u> Oxígeno (Uso moderado) Ácido Clorhídrico Catalizador de Cu-Pd
	Acetato de Sodio Acetona Estabilizador Antioxidante Desechos plásticos Nitrógeno				

Cadena Tecnológica 9.

Acetal Homopolímero (1/1)

Metanol
 Catalizador de Fe-Mo
 Ciclohexanol
 Ciclohexano
 Tri-n butilamina

Anhídrido Acético (4/4)

Metanol
Ácido Acético (2/3)

Metanol
Monóxido de Carbono

Monóxido de Carbono
 Radio
 Acetato de Potasio

Acetato de Sodio
 Acetona
 Estabilizador
 Antioxidante
 Desechos plásticos
 Nitrógeno

Cadena Tecnológica 10.

Acetal Homopolímero (1/1)

Metanol
 Catalizador de Fe-Mo
 Ciclohexanol
 Ciclohexano
 Tri-n butilamina

Anhídrido Acético (4/4)

Metanol
Ácido Acético (3/3)

Acetaldehído (1/1) Etileno
Oxígeno (Uso moderado)
 Ácido Clorhídrico
 Catalizador de Cu-Pd

Acetato de Etilo

Monóxido de Carbono
 Radio
 Acetato de Potasio

Acetato de Sodio
 Acetona
 Estabilizador
 Antioxidante
 Desechos plásticos
 Nitrógeno

Poliámidas.

Nylon 6 chips.

Cadena Tecnológica 1.

<p><u>Nylon 6 chips (1/1)</u></p>	<p><u>Caprolactama (1/5)</u></p>	<p><u>Tolueno</u> <u>Amoniaco</u> <u>Oleum</u> <u>Hidrógeno</u> <u>Sosa Cáustica</u></p>
<p>Ácido Acético Desperdicios de Nylon</p>		

Cadena Tecnológica 2.

<p><u>Nylon 6 chips (1/1)</u></p>	<p><u>Caprolactama (2/5)</u></p>	<p><u>Ciclohexano (1/1)</u></p>	<p><u>Benceno</u> <u>Hidrógeno</u></p>
<p>Ácido Acético Desperdicios de Nylon</p>		<p><u>Amoniaco</u> <u>Oleum</u> <u>Hidrógeno</u> <u>Sosa Cáustica</u></p>	

Cadena Tecnológica 3.

<p><u>Nylon 6 chips (1/1)</u></p>	<p><u>Caprolactama (3/5)</u></p>	<p><u>Ciclohexano (1/1)</u></p>	<p><u>Benceno</u> <u>Hidrógeno</u></p>
<p>Ácido Acético Desperdicios de Nylon</p>		<p><u>Amoniaco</u> <u>Oleum</u> <u>Hidrógeno</u> <u>Oxígeno (Uso moderado)</u></p>	

Cadena Tecnológica 4

<u>Nylon 6 chips (1/1)</u>	<u>Caprolactama (4/5)</u>	<u>Fenol (1/2)</u>	<u>Benceno</u> <u>Propileno (Grado Químico)</u> Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico Ácido Fosfórico
		<u>Amoniaco</u> <u>Oleum</u> Azufre Hidrógeno	
	Ácido Acético Desperdicios de Nylon		

Cadena Tecnológica 5.

<u>Nylon 6 chips (1/1)</u>	<u>Caprolactama (5/5)</u>	<u>Ciclohexano (1/1)</u>	<u>Benceno</u> Hidrógeno
		<u>Amoniaco</u> <u>Oleum</u> Ácido Clorhídrico	
	Ácido Acético Desperdicios de Nylon		

Cadena Tecnológica 6.

<u>Nylon 6 chips (1/1)</u>	<u>Caprolactama (4/5)</u>	<u>Fenol (2/2)</u>	<u>Cumeno (1/1)</u>	<u>Benceno</u> <u>Propileno (Grado Químico)</u> de Ácido Fosfórico
		<u>Amoniaco</u> <u>Oleum</u> Azufre Hidrógeno	Sosa Cáustico Ácido Sulfúrico	
	Ácido Acético Desperdicios de Nylon			

Nylon 6 fundido.

Cadena Tecnológica 1

Nylon 6 fundido (1/1)	Caprolactama (1/5)	Tolueno Amoníaco Oleum Hidrógeno Sosa Cásutica
	Ácido Acético Desperdicios de Nylon	

Cadena Tecnológica 2.

Nylon 6 fundido (1/1)	Caprolactama (2/5)	Ciclohexano (1/1)	Benceno Hidrógeno
	Ácido Acético Desperdicios de Nylon	Amoníaco Oleum Hidrógeno Sosa Cásutica	

Cadena Tecnológica 3.

Nylon 6 fundido (1/1)	Caprolactama (3/5)	Ciclohexano (1/1)	Benceno Hidrógeno
	Ácido Acético Desperdicios de Nylon	Amoníaco Oleum Hidrógeno Oxígeno (Uso moderado)	

Cadena Tecnológica 4.

<u>Nylon 6 fundido (1/1)</u>	<u>Caprolactama (4/5)</u>	<u>Fenol (1/2)</u>	<u>Benceno</u> <u>Propileno (Grado Químico)</u> Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico Ácido Fosfórico
		<u>Amoníaco</u> <u>Oleum</u> Azufre Hidrógeno	
	Ácido Acético Desperdicios de Nylon		

Cadena Tecnológica 5.

<u>Nylon 6 fundido (1/1)</u>	<u>Caprolactama (5/5)</u>	<u>Ciclohexano (1/1)</u>	<u>Benceno</u> Hidrógeno
		<u>Amoníaco</u> <u>Oleum</u> Ácido Clorhídrico	
	Ácido Acético Desperdicios de Nylon		

Cadena Tecnológica 6.

<u>Nylon 6 fundido (1/1)</u>	<u>Caprolactama (4/5)</u>	<u>Fenol (2/2)</u>	<u>Cumeno (1/1)</u> <u>Benceno</u> <u>Propileno (Grado Químico)</u> Ácido Fosfórico
		<u>Amoníaco</u> <u>Oleum</u> Azufre Hidrógeno	Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico
	Ácido Acético Desperdicios de Nylon		

Nylon 66 chips.

Cadena Tecnológica 1.

<u>Nylon 66 (1/1)</u>	<u>Ácido Adipico (1/2)</u>	<u>Ciclohexano (1/1)</u>	<u>Benceno</u> Hidrógeno
		Sosa Cáustica Nafenate de Cobalto Ácido Nítrico (al 60%) Nitrato Cúprico Vanadato de Amonio	
	<u>Hexametiléndiamina (1/2)</u>	<u>Ácido Adipico (1/2)</u>	<u>Ciclohexano (1/1)</u> <u>Benceno</u> Hidrógeno
			Sosa Cáustica Nafenate de Cobalto Ácido Nítrico (al 60%) Nitrato Cúprico Vanadato de Amonio
		<u>Amoniaco</u> Ácido Fosfórico (al 85%) HCl ácido (a 20 Bé) Hidrógeno Hierro Dióxido de Carbono	
	<u>Ácido Acético</u>		

Cadena Tecnológica 3.

<u>Nylon 66 (1/1)</u>	<u>Ácido Adípico (2/2)</u>	<u>Fenol (1/2)</u>	<u>Benceno</u> <u>Propileno (Gr Quím.)</u> Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico Ácido Fosfórico
		Sosa Cáustica Hidrógeno Sulfonato de n-Alquilbenceno Ni en Sílica Resina de Intercambio iónico Ácido Nítrico (al 60%) Nitrato Cúprico Vanadato de Amonio	
	<u>Hexametiléndiamina (2/2)</u>	<u>Butadieno</u> Cloro Cal de Sodio Cloruro de Hidrógeno Cobre en polvo Cal hidratada Benceno Sosa cáustica Hidrógeno Pd Hierro Dióxido de carbono HCl ácido (a 20 Bé)	
	Ácido Acético		

Cadena Tecnológica 4.

<u>Nylon 66 (1/1)</u>	<u>Ácido Adípico (2/2)</u>	<u>Fenol (2/2)</u>	<u>Cumeno (1/1)</u>	<u>Benceno</u> <u>Propileno (GR Quím.)</u> Ácido Fosfórico
			Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico	
		Sosa Cáustica Hidrógeno Sulfonato de n-Alquilbenceno Ni en Sílica Resina de Intercambio Iónica Ácido Nítrico (al 60%) Nitrato Cúprico Vanadato de Amonio		
	<u>Hexametiléndiamina (2/2)</u>	<u>Butadieno</u> Cloro Cal de Sodio Cianuro de Hidrógeno Cobre en polvo Cal hidratada Benceno Sosa cáustica Hidrógeno Pd Hierro Dióxido de carbono HCl ácido (a 20 Bé)		
	Ácido Acético			

Cadena Tecnológica 5.

<u>Nylon 66 (1/1)</u>	<u>Ácido Adípico (2/2)</u>	<u>Fenol (1/2)</u>	<u>Benceno</u> <u>Propileno (Gr. Quím.)</u> Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico Ácido Fosfórico
		Sosa Cáustica Hidrógeno Sulfonato de n-Alquilbenceno Ni en Sílica Resina de Intercambio Iónico Ácido Nítrico (al 60%) Nitrato Cúprico Vanadato de Amonio	
	<u>Hexametiléndiamina (1/2)</u>	<u>Ácido Adípico (2/2)</u>	<u>Fenol (1/2)</u>
			<u>Benceno</u> <u>Propileno (Gr. Quím.)</u> Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico Ácido Fosfórico
			Sosa Cáustica Hidrógeno Sulfon. n-Alquilbenceno Ni en Sílica Resina de Intercambio Iónico Ácido Nítrico (al 60%) Nitrato Cúprico Vanadato de Amonio
		<u>Amoniaco</u> Ácido Fosfórico (al 85%) HCl ácido (a 20 Bé) Hidrógeno Hierro Dióxido de Carbono	
	<u>Ácido Acético</u>		

Cadena Tecnológica 6.

<u>Nylon 66 (1/1)</u>	<u>Ácido Adípico (2/2)</u>	<u>Fenol (2/2)</u>	<u>Cumeno (1/1)</u>	<u>Benceno</u> <u>Propileno (GR Quím.)</u> Ácido Fosfórico
			Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico	
		Sosa Cáustica Hidrógeno Sulfonato de n-Alquilbenceno Ni en Sílica Resina de Intercambio Iónico Ácido Nítrico (al 60%) Nitrato Cúprico Vanadato de Amonio		
	<u>Hexametiléndiamina (1/2)</u>	<u>Ácido Adípico (2/2)</u>	<u>Fenol (2/2)</u>	<u>Cumeno (1/1)</u>
				<u>Benceno</u> <u>Propileno (GR Quím.)</u> Ácido Fosfórico
			Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico	
			Sosa Cáustica Hidrógeno Sulfonato de n-Alquilbenceno Ni en Sílica Resina de Intercambio Iónico Ácido Nítrico (al 60%) Nitrato Cúprico Vanadato de Amonio	
		<u>Amoniaco</u> Ácido Fosfórico (al 85%) HCl ácido (a 20 Bé) Hidrógeno Hierro Dióxido de Carbono		
	Ácido Acético			

Policarbonato.

Cadena Tecnológica 1.

<u>Policarbonato (1/3)</u>	<u>Bisfenol A (1/1)</u>	<u>Fenol (1/2)</u>	<u>Benceno</u> <u>Propileno (Gr. Quím.)</u> Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico Ácido Fosfórico Químicos diversos <u>Isopropanol (1/1)</u>	<u>Propileno (Gr. Quím.)</u> Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico Carbón activado
		<u>Acetona (1/2)</u>	Catalizador Zn-Zr Nitrógeno	
	Ácido Clorhídrico Heptano Cloruro de metileno <u>Fosgeno</u> p-Tert-Butilfenol Terc. Sosa Cáustica Trietilenamino	Sosa Cáustica Brea combustible		

Cadena Tecnológica 2.

<u>Policarbonato (2/3)</u>	<u>Bisfenol A (1/1)</u>	<u>Fenol (1/2)</u>	<u>Benceno</u> <u>Propileno (Gr. Quím.)</u> Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico Ácido Fosfórico <u>Isopropanol (1/1)</u>	<u>Propileno (Gr. Quím.)</u> Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico Carbón activado
		<u>Acetona (1/2)</u>	Catalizador Zn-Zr Nitrógeno	
	Clorobenceno Ácido Clorhídrico Cloruro de metileno <u>Fosgeno</u> p-Tert-Butilfenol Terc. Borohidruro de Sodio Sosa Cáustica Trietilenamina	Sosa Cáustica Brea combustible		

Cadena Tecnológica 3.

<u>Policarbonato (3/3)</u>	<u>Bisfenol A (1/1)</u>	<u>Fenol (1/2)</u>	<u>Benceno</u> <u>Propileno (Gr. Quím.)</u> Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico Ácido Fosfórico	
		<u>Acetona (1/2)</u>	<u>Isopropanol (1/1)</u>	<u>Propileno (Gr. Quím.)</u> Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico Carbón activada
		Sosa Cáustica	Catalizador Zn-Zr Nitrógeno	
	Ácido Clorhídrico <u>Fenol (1/2)</u>	Brea combustible		
		<u>Benceno</u> <u>Propileno (Gr. Quím.)</u> Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico Ácido Fosfórico		
	<u>Fosgeno</u> Bisfenolato de Sodio Sosa Cáustica Trietilenamina			

Cadena Tecnológica 4.

<u>Policarbonato (1/3)</u>	<u>Bisfenol A (1/1)</u>	<u>Fenol (2/2)</u>	<u>Cumeno (1/1)</u>	<u>Benceno</u> <u>Propileno (Gr. Quím.)</u> Ácido Fosfórico
		<u>Acetona (1/2)</u>	Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico <u>Isopropanol (1/1)</u>	<u>Propileno (Gr. Quím.)</u> Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico Carbón activada
		Sosa Cáustica Brea combustible	Catalizador Zn-Zr Nitrógeno	
	Ácido Clorhídrico Heptano Cloruro de metileno <u>Fosgeno</u> p-Terf-Butilfenol Terc. Sosa Cáustica Trietilenamina			

Cadena Tecnológica 5.

<u>Polícarbonato (2/3)</u>	<u>Bisfenol A (1/1)</u>	<u>Fenol (2/2)</u>	<u>Cumeno (1/1)</u>	<u>Benceno</u> <u>Propileno (Gr. Quím.)</u> Ácido Fosfórico
			Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico <u>Isopropanol (1/1)</u>	<u>Propileno (Gr. Quím.)</u> Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico Carbón activado
		<u>Acetona (1/2)</u>	Catalizador Zn-Zr Nitrógeno	
		Sosa Cáustica Brea combustible		
	Clorobenceno Ácido Clorhídrico Cloruro de metileno <u>Fosgeno</u> p-Tert-Butilfenol Terc. Borohidruro de Sodio Sosa Cáustica Trietilenamina			

Cadena Tecnológica 6.

<u>Polícarbonato (1/3)</u>	<u>Bisfenol A (1/1)</u>	<u>Fenol (1/2)</u>	<u>Benceno</u> <u>Propileno (Gr. Quím.)</u> Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico Ácido Fosfórico
		<u>Acetona co-prod (2/2)</u> Sosa Cáustica Brea combustible	
	Ácido Clorhídrico Heptano Cloruro de metileno <u>Fosgeno</u> p-Tert-Butilfenol Terc. Sosa Cáustica Trietilenamina		

Cadena Tecnológica 7.

<u>Policarbonato (2/3)</u>	<u>Bisfenol A (1/1)</u>	<u>Fenol (1/2)</u>	<u>Benceno</u> <u>Propileno (Gr Quím.)</u> Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico Ácido Fosfórico
		<u>Acetona co-prod. (2/2)</u> Sosa Cáustica Brea combustible	
	Clorobenceno Ácido Clorhídrico Cloruro de metileno <u>Fosgeno</u> p-Terl-Butilfenol Terc. Borohidrato de Sodio Sosa Cáustica Trietilenamina		

Cadena Tecnológica 8.

<u>Policarbonato (1/3)</u>	<u>Bisfenol A (1/1)</u>	<u>Fenol (2/2)</u>	<u>Cumeno (1/1)</u>	<u>Benceno</u> <u>Propileno (Gr Quím.)</u> Ácido Fosfórico
		<u>Acetona co-prod. (2/2)</u> Sosa Cáustica Brea combustible	Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico	
	Ácido Clorhídrico Hexano Cloruro de metileno <u>Fosgeno</u> p-Terl-Butilfenol Terc. Sosa Cáustica Trietilenamina			

Cadena Tecnológica 10.

<u>Policarbonato (2/3)</u>	<u>Bisfenol A (1/1)</u>	<u>Fenol (2/2)</u>	<u>Cumeno (1/1)</u>	<u>Benceno</u> <u>Propileno (Gr. Quím.)</u> Ácido Fosfórico
			Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico	
		<u>Acetona co-prod (2/2)</u> Sosa Cáustica Brea combustible		
	Clorobenceno Ácido Clorhídrico Cloruro de metileno <u>Fosgeno</u> p-Tert-Butilfenol Terc. Borohidrato de Sodio Sosa Cáustica Trietilenamina			

Cadena Tecnológica 11.

<u>Policarbonato (3/3)</u>	<u>Bisfenol A (1/1)</u>	<u>Fenol (2/2)</u>	<u>Cumeno (1/1)</u>	<u>Benceno</u> <u>Propileno (Gr. Quím.)</u> Ácido Fosfórico
			Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico	
		<u>Acetona (1/2)</u>	<u>Isopropanol (1/1)</u>	<u>Propileno (Gr. Quím.)</u> Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico Carbón activado
		Sosa Cáustica Brea combustible	Catalizador Zn-Zr Nitrógeno	
	Ácido Clorhídrico <u>Fenol (2/2)</u>	<u>Cumeno (1/1)</u>	<u>Benceno</u> <u>Propileno (Gr. Quím.)</u> Ácido Fosfórico	
	<u>Fosgeno</u> Bisfenolato de Sodio Sosa Cáustica Trietilenamina	Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico		

Poliésteres.

Tereftalato de Polibutileno extendido.

Cadena Tecnológica 1.

PBI (1/1)	<u>Tereftalato de dimetilo (1/1)</u>	<p><u>p-xileno</u> <u>Metanol</u> Octanoato de Cobalto Octanoato de Manganeso</p>	
	<u>1,4-Butanodiol (1/3)</u>	<p><u>Acetileno</u> <u>Formaldehído (1/2)</u> Hidrógeno Butanodiol Sosa Cáustica</p>	<p><u>Metanol</u> Catalizador de Fe-Mo</p>
	Titanato de tetrabutilo		

Cadena Tecnológica 2.

PBI (1/1)	<u>Tereftalato de dimetilo (1/1)</u>	<p><u>p-Xileno</u> <u>Metanol</u> Octanoato de Cobalto Octanoato de Manganeso</p>	
	<u>1,4-Butanodiol (2/3)</u>	<p><u>Óxido de Propileno (1/3)</u> Hidrógeno Catalizador de Rodio Niquel Raney</p>	<p><u>Cloro</u> <u>Propileno (Grado Químico)</u> Cal Carbón activado Ácido Clorhídrico Amoníaco Ácido fosfórico Coagulante</p>
	Titanato de tetrabutilo	<p>Fosfato de Lilio Benceno <u>Gas de Síntesis (1:1)</u> Hidrógeno Catalizador de Rodio Niquel Raney</p>	

Cadena Tecnológica 3.

PBT (1/1)	<u>Tereftalato de dimetilo (1/1)</u>	<p><u>p-Xileno</u> <u>Metanol</u> Octanoato de Cobalto Octanoato de Manganeso</p>
	1,4-Butanodiol (3/3)	<p><u>Butadieno</u> Ácido Acético Hidrógeno Pd-Te Pd en carbón Resina de Intercambio catiónico Resina de intercambio aniónico</p>
	Titanato de tetrautilio	

Cadena Tecnológica 4.

PBT (1/1)	<u>Tereftalato de dimetilo (1/1)</u>	<p><u>p-Xileno</u> <u>Metanol</u> Octanoato de Cobalto Octanoato de Manganeso</p>	
	1,4-Butanodiol (1/3)	<p><u>Acetileno</u> <u>Formaldehído (2/2)</u></p>	<p><u>Metanol</u> Plata</p>
	Titanato de tetrautilio	<p>Hidrógeno Butanodiol Sosa Cáustica</p>	

Cadena Tecnológica 5.

<u>PBI (1/1)</u>	<u>Tereftalato de dimetilo (1/1)</u>	<u>p-Xileno</u> <u>Metano</u> Octanoato de Cobalto Octanoato de Manganeso		
	<u>1,4-Butanodiol (2/3)</u>	<u>Óxido de Propileno (2/3)</u>	<u>Etilbenceno (1/2)</u>	<u>Benceno</u> <u>Etileno</u> Sosa Cáustica
			<u>Propileno (Gr. Químico)</u> Ácido nalténico Amoniaca Molibdeno en polvo Sosa Cáustica Hidrógeno Alúmina Trifenilmetano n-Octano	
		Fosfato de Lilio Benceno <u>Gas de Síntesis (1:1)</u> Hidrógeno Catalizador de Radio Níquel Raney		
	Titanato de tetrabutilo			

Cadena Tecnológica 6.

<u>PBI (1/1)</u>	<u>Tereftalato de dimetilo (1/1)</u>	<u>p-Xileno</u> <u>Metano</u> Octanoato de Cobalto Octanoato de Manganeso		
	<u>1,4-Butanodiol (2/3)</u>	<u>Óxido de Propileno (3/3)</u>	<u>Isobutano (100% Base)</u> <u>Propileno (Gr. Químico)</u> Oxígeno (95% Mol) Hidróxido de Potasio Molibdeno en polvo n-Octano	
		Fosfato de Lilio Benceno <u>Gas de Síntesis (1:1)</u> Hidrógeno Catalizador de Radio Níquel Raney		
	Titanato de tetrabutilo			

Cadena Tecnológica 7.

PBT (1/1)	<u>Tereftalato de dimetilo (1/1)</u>	<u>p-Xileno</u> <u>Metanol</u> Octanoato de Cobalto Octanoato de Manganeso	<u>Estilbenceno (2/2)</u>	<u>Benceno</u> <u>Etileno</u>
	<u>1,4 - Butanodiol (2/3)</u>	<u>Óxido de Propileno (2/3)</u>	<u>Propileno (Gr. Químico)</u> Ácido nafténico Amoníaco Molibdeno en polvo Sosa Cáustica Hidrógeno Alúmina Trifenilmetano n-Octano	
		Fosfato de Litio Benceno <u>Gas de Síntesis (1:1)</u> Hidrógeno Catalizador de Rodio Níquel Roney		
	Titanato de tetrabutilo			

Tereftalato de Polibutlino, cristalizado autoextinguible.

Cadena Tecnológica 1.

PBT GF SE (1/1)	<u>Tereftalato de dimetilo (1/1)</u>	<u>p-xileno</u> <u>Metanol</u> Octanoato de Cobalto Octanoato de Manganeso	
	<u>1,4 - Butanodiol (1/3)</u>	<u>Acetileno</u> <u>Formaldehído (1/2)</u>	<u>Metanol</u> Catalizador de Fe-Mo
		Hidrógeno Butanodiol Sosa Cáustica	
	Titanato de tetrabutilo Fibra de vidrio Trióxido de Decabromodifenilo Trióxido de Antimonio		

Cadena Tecnológica 2.

PBT GF SE (1/1)	<u>tereftalato de dimetilo (1/1)</u>	<u>p-Xileno</u> <u>Metano</u> Octanoato de Cobalto Octanoato de Manganeso	<u>Cloro</u> <u>Propileno (Grado Químico)</u> Cal Carbón activado Ácido Clorhídrico Amoniaco
	<u>1,4 - Butanodiol (2/3)</u>	<u>Oxido de Propileno (1/3)</u> Fosfato de Lilio Benceno <u>Gas de Síntesis (1:1)</u> Hidrógeno Catalizador de Rodio Niquel Raney	
	Titanato de tetrabutilo Fibra de vidrio Trióxido de Decabromodifenilo Trióxido de Antimonio		

Cadena Tecnológica 3.

PBT GF SE (1/1)	<u>tereftalato de dimetilo (1/1)</u>	<u>p-Xileno</u> <u>Metano</u> Octanoato de Cobalto Octanoato de Manganeso
	<u>1,4 - Butanodiol (3/3)</u>	<u>Butadieno</u> Ácido Acético Hidrógeno Pd-Te Pd en carbón Resina de intercambio catiónico Resina de intercambio aniónico
	Titanato de tetrabutilo Fibra de vidrio Trióxido de Decabromodifenilo Trióxido de Antimonio	

Cadena Tecnológica 4.

<u>PBT GE SE (1/1)</u>	<u>Tereftalato de dimetilo (1/1)</u>	<u>p-Xileno</u> <u>Metanol</u> Octanoato de Cobalto Octanoato de Manganeso	
	<u>1,4 - Butanodiol (1/3)</u>	<u>Acetileno</u> <u>Formaldehído (2/2)</u>	<u>Metanol</u> Plata
		Hidrógeno Butanodiol Sosa Cásutica	
	Titanato de tetrabutilo Fibra de vidrio Trióxido de Decabromodifenilo Trióxido de Antimonio		

Cadena Tecnológica 5.

<u>PBT GE SE (1/1)</u>	<u>Tereftalato de dimetilo (1/1)</u>	<u>p-Xileno</u> <u>Metanol</u> Octanoato de Cobalto Octanoato de Manganeso	
	<u>1,4 - Butanodiol (2/3)</u>	<u>Óxido de Propileno (2/3)</u>	<u>Etilbenceno (1/2)</u> <u>Benceno</u> <u>Etileno</u> Sosa Cásutica
			<u>Propileno (Gr. Químico)</u> Ácido nafténico Amoníaco Molibdeno en polvo Sosa Cásutica Hidrógeno Alúmina Trifenilmetano n-Octano
	Titanato de tetrabutilo Fibra de vidrio Trióxido de Decabromodifenilo Trióxido de Antimonio	Fosfato de Lilio Benceno <u>Gas de Síntesis (1/1)</u> Hidrógeno Catalizador de Radio Níquel Raney	

Cadena Tecnológica 6.

<u>PBT GF SE (1/1)</u>	<u>Tereftalato de dimetilo (1/1)</u>	<u>p-Xileno</u> <u>Metanol</u> Octanoato de Cobalto Octanoato de Manganeso <u>Óxido de Propileno (3/3)</u>	<u>Isobutano (100% Base)</u> <u>Propileno (Gr. Químico)</u> Oxígeno (95% Mol) Hidróxido de Potasio Molibdeno en polvo n-Octano
	<u>1,4 - Butanodiol (2/3)</u>	Fosfato de Litio Benceno <u>Gas de Síntesis (1:1)</u> Hidrógeno Catalizador de Rodio Niquel Raney	
	Titanato de tetrabutilo Fibra de vidrio Tríóxido de Decabromodifenilo Tríóxido de Antimonio		

Cadena Tecnológica 7.

<u>PBT GF SE (1/1)</u>	<u>Tereftalato de dimetilo (1/1)</u>	<u>p-Xileno</u> <u>Metanol</u> Octanoato de Cobalto Octanoato de Manganeso <u>Óxido de Propileno (2/3)</u>	<u>Etilbenceno (2/2)</u>	<u>Benceno</u> <u>Etileno</u>
	<u>1,4 - Butanodiol (2/3)</u>	Fosfato de Litio Benceno <u>Gas de Síntesis (1:1)</u> Hidrógeno Catalizador de Rodio Niquel Raney	<u>Propileno (Gr. Químico)</u> Ácido nitrénico Amoníaco Molibdeno en polvo Sosa Cáustica Hidrógeno Alúmino Trifenilmetano n-Octano	
	Titanato de tetrabutilo Fibra de vidrio Tríóxido de Decabromodifenilo Tríóxido de Antimonio			

Tereftalato de Polietileno (PET), pélets grado botella.

Cadena Tecnológica 1.

PET (1/2)	<u>Tereftalato de dimetilo (1/1)</u>	<u>p-Xileno</u> <u>Metano</u> Octanoato de Cobalto Octanoato de Manganeso
	<u>Etilenolico (1/4)</u>	<u>Etileno</u> <u>Oxígeno (alto uso)</u> Metano Carbonato de Potasio
	Trióxido de Antimonio Acetato de Zinc	

Cadena Tecnológica 2.

PET (2/2)	<u>Ácido Tereftálico (1/1)</u>	<u>p-Xileno</u> Acetato de Cobalto * 4H ₂ O Acetato de Manganeso * 4H ₂ O Bromuro de Sodio Ácido Acético Pd Hidrógeno Agua desionizada
	<u>Etilenolico (1/4)</u>	<u>Etileno</u> <u>Oxígeno (alto uso)</u> Metano Carbonato de Potasio
	Trióxido de Antimonio	

Cadena Tecnológica 3.

PET (1/2)	<u>Tereftalato de dimetilo (1/1)</u>	<u>p-Xileno</u> <u>Metano</u> Octanoato de Cobalto Octanoato de Manganeso
	<u>Etilenolico (2/4)</u>	<u>Etileno</u> <u>Oxígeno (alto uso)</u> Metano Carbonato de Potasio
	Trióxido de Antimonio Acetato de Zinc	

Cadena Tecnológica 4.

PET (1/2)	<u>Terftalato de dimetilo (1/1)</u>	<u>p-Xileno</u> <u>Metanol</u> Octanoato de Cobalto Octanoato de Manganeso	<u>Etileno</u>
	<u>Etilenoiccol (3/4)</u>	<u>Oxido de Etileno (1/2)</u> Dióxido de Carbono-	
	Trióxido de Antimonio Acetato de Zinc		

Cadena Tecnológica 5.

PET (1/2)	<u>Terftalato de dimetilo (1/1)</u>	<u>p-Xileno</u> <u>Metanol</u> Octanoato de Cobalto Octanoato de Manganeso	<u>Etileno</u>
	<u>Etilenoiccol (4/4)</u>	<u>Oxido de Etileno (1/2)</u>	
	Trióxido de Antimonio Acetato de Zinc		

Cadena Tecnológica 6.

PET (2/2)	<u>Ácido Terftálico (1/1)</u>	<u>p-Xileno</u> Acetato de Cobalto * 4H ₂ O Acetato de Manganeso * 4H ₂ O Bromuro de Sodio Ácido Acético Pd Hidrógeno Agua desionizada	<u>Etileno</u>
	<u>Etilenoiccol (2/4)</u>	<u>Oxígeno (alta uso)</u> Metano Carbonato de Potasio	
	Trióxido de Antimonio		

Cadena Tecnológica 7.

PET (2/2)	<u>Ácido Terftálico (1/1)</u>	<u>p-Xileno</u> Acetato de Cobalto * 4H ₂ O Acetato de Manganeso * 4H ₂ O Bromuro de Sodio Ácido Acético Pd Hidrógeno Agua desionizada	<u>Etileno</u>
	<u>Etilenoiccol (3/4)</u>	<u>Oxido de Etileno (1/2)</u> Dióxido de Carbono-	
	Trióxido de Antimonio		

Cadena Tecnológica 8.

PEI (2/2)	<u>Ácido Terftálico (1/1)</u>	<p><u>p-Xileno</u> Acetato de Cobalto * 4H₂O Acetato de Manganeso * 4H₂O Bromuro de Sodio Ácido Acético Pd Hidrógeno Agua deionizada <u>Oxido de Eileno (1/2)</u></p>	Eileno
	<u>Eilenoalcol (4/4)</u> Trióxido de Antimonio		

Cadena Tecnológica 9.

PEI (1/2)	<u>Terftalato de dimetilo (1/1)</u>	<p><u>p-Xileno</u> <u>Metanol</u> Octanoato de Cobalto Octanoato de Manganeso <u>Oxido de Eileno (2/2)</u></p>	Eileno Oxígeno (alto uso) Metano Carbonato de Potasio
	<u>Eilenoalcol (3/4)</u>	Dióxido de Carbono-	
	Trióxido de Antimonio Acetato de Zinc		

Cadena Tecnológica 10.

PEI (1/2)	<u>Terftalato de dimetilo (1/1)</u>	<p><u>p-Xileno</u> <u>Metanol</u> Octanoato de Cobalto Octanoato de Manganeso <u>Oxido de Eileno (2/2)</u></p>	Eileno Oxígeno (alto uso) Metano Carbonato de Potasio
	<u>Eilenoalcol (4/4)</u>		
	Trióxido de Antimonio Acetato de Zinc		

Cadena Tecnológica 11.

PET (2/2)	<u>Ácido Tereftálico (1/1)</u>	<p><u>p-Xileno</u> Acetato de Calcio * 4H₂O Acetato de Manganeso * 4H₂O Bromuro de Sodio Ácido Acético Pd Hidrógeno Agua deionizada</p>	
	<u>Etileno (3/4)</u>	<u>Óxido de Etileno (2/2)</u>	<p><u>Etileno</u> <u>Oxígeno (alto uso)</u> Metano Carbonato de Potasio</p>
	Trióxido de Antimonio	Dióxido de Carbono-	

Cadena Tecnológica 12.

PET (2/2)	<u>Ácido Tereftálico (1/1)</u>	<p><u>p-Xileno</u> Acetato de Calcio * 4H₂O Acetato de Manganeso * 4H₂O Bromuro de Sodio Ácido Acético Pd Hidrógeno Agua deionizada</p>	
	<u>Etileno (4/4)</u>	<u>Óxido de Etileno (2/2)</u>	<p><u>Etileno</u> <u>Oxígeno (alto uso)</u> Metano Carbonato de Potasio</p>
	Trióxido de Antimonio		

Óxidos de Polifenileno.

Óxido de Polifenileno (OP).

Cadena Tecnológica 1.

OP (1/1)	2,6-dimetilfenol (1/1)	Fenol (1/2)	Benceno Propileno (Gr. Quím) Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico Ácido Fosfórico
		Metanol	
	Anhídrido Acético Metanol Tolueno Oxígeno (baja uso) Di-n-butilamina Bromuro de Cobre II Ácido Acético NaOH (al 50%) Polietileno de baja densidad Cera, sintética Dióxido de Titanio		

Cadena Tecnológica 2.

OP (1/1)	2,6-dimetilfenol (1/1)	Fenol (2/2)	Cumeno (1/1) Benceno Propileno (Gr. Quím) Ácido Fosfórico
		Metanol	Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico
	Anhídrido Acético Metanol Tolueno Oxígeno (bajo uso) Di-n-butilamina Bromuro de Cobre II Ácido Acético NaOH (al 50%) Polietileno de baja densidad Cera, sintética Dióxido de Titanio		

Óxido de Polifenileno modificado (OPM).

Cadena Tecnológica I.

<u>OPM (1/1)</u>	<u>OP (1/1)</u>	<u>2,6-dimetilfenol (1/1)</u>	<u>Fenol (1/2)</u>	<u>Benceno</u> <u>Propileno (Gr. Quím)</u> Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico Ácido Fósfórico
			<u>Metanol</u>	
		Anhídrido Acético Metanol Tolueno Oxígeno (bajo uso) Di-n-butilamina Bromuro de Cobre II Ácido Acético NaOH (al 50%) Polietileno baja densidad Cera, sintética Dióxido de Titanio		
	<u>Poliestireno de Alto Impacto (1/1)</u>	<u>Estireno (1/3)</u>	<u>Benceno</u> <u>Etileno</u>	
		Polibutadieno Antioxidante Estearato de Butilo Aceite de soya		

Cadena Tecnológica 2.

<u>OPM (1/1)</u>	<u>OP (1/1)</u>	<u>2,6-dimetilfenol (1/1)</u>	<u>Fenol (1/2)</u>	<u>Benceno</u> <u>Propileno (Gr Quím)</u> Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico Ácido Fosfórico
			<u>Metanol</u>	
		Anhidrido Acético Metanol Tolueno Oxígeno (bajo uso) Di-n-butilamina Bromuro de Cobre II Ácido Acético NaOH (al 50%) Polietileno baja densidad Cera, sintética Dióxido de Titanio		
	<u>Poliestireno de Alto Impacto (1/1)</u>	<u>Estireno (2/3)</u>	<u>Etilbenceno (1/2)</u>	<u>Benceno</u> <u>Etileno</u> NaOH (al 50%)
		Polibutadieno Antioxidante Estearato de Butilo Aceite de soya		

Cadena Tecnológica 3.

<u>QPM (1/1)</u>	<u>QP (1/1)</u>	<u>2,6-dimetilfenol (1/1)</u>	<u>Fenol (1/2)</u>	<u>Benceno</u> <u>Propileno (Gr. Quím)</u> Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico Ácido Fosfórico
			<u>Metanol</u>	
		Anhídrido Acético Metanol Tolueno Oxígeno (bajo uso) Di-n-butilamina Bromuro de Cobre II Ácido Acético NaOH (al 50%) Polietileno baja densidad Cera, sintética Dióxido de Titanio		
<u>Poliestireno de Alto Impacto (1/1)</u>		<u>Estireno (3/3)</u>	<u>Etilbenceno (1/2)</u>	<u>Benceno</u> <u>Etileno</u> NaOH (al 50%)
		Polibutadieno Antioxidante Estearato de Butilo Aceite de soya		

Cadena Tecnológica 4.

OPM (1/1)	OP (1/1)	2,6-dimetilfenol (1/1)	Fenol (2/2)	Cumeno (1/1)	Benceno Propileno (Gr Quím) Ácido Fosfórico
				Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico Químicos Diversos	
			<u>Metanol</u>		
		Anhidrido Acético Metanol Tolueno Oxígeno (bajo uso) Di-n-butilamina Bromuro de Cobre II Ácido Acético NaOH (al 50%) Polietileno de baja densidad Cera, sintética Dióxido de Titanio			
	<u>Poliestireno de Alto Impacto (1/1)</u>	<u>Estireno (1/3)</u>	<u>Benceno</u>		
			<u>Etileno</u>		
		Polibutadieno Antioxidante Estearato de Butilo Aceite de soya			

Cadena Tecnológica 5.

<u>OPM (1/1)</u>	<u>OP (1/1)</u>	<u>2,6-dimetilfenol (1/1)</u>	<u>Fenol (2/2)</u>	<u>Cumeno (1/1)</u>	<u>Benceno</u> <u>Propileno (Gr. Quím)</u> <u>Ácido Fosfórico</u>
				Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico	
			<u>Metanol</u>		
		Anhídrido Acético Metanol Tolueno Oxígeno (bajo uso) Di-n-butilamina Bromuro de Cobre II Ácido Acético NaOH (al 50%) Polietileno de baja densidad Cera, sintética Dióxido de Titanio			
<u>Poliestireno de Alto Impacto (1/1)</u>		<u>Estireno (2/3)</u>	<u>Etilbenceno (1/2)</u>	<u>Benceno</u> <u>Etileno</u> NaOH (al 50%)	
		Polibutadieno Antioxidante Estearato de Butilo Aceite de soya			

Cadena Tecnológica 6.

<u>OPM (1/1)</u>	<u>OP (1/1)</u>	<u>2,6-dimetilfenol (1/1)</u>	<u>Fenol (2/2)</u>	<u>Cumeno (1/1)</u>	<u>Benceno</u> <u>Propileno (Gr. Quím)</u> <u>Ácido Fosfórico</u>
				Sosa Cáustico Ácido Sulfúrico	
			<u>Metanol</u>		
		Anhídrido Acético Metanol Tolueno Oxígeno (bajo uso) Di-n-butilamina Bromuro de Cobre II Ácido Acético NaOH (al 50%) Polietileno de baja Cera sintética Dióxido de titanio			
<u>Polietileno de</u>	<u>Estireno (3/3)</u>		<u>Etilbenceno (1/2)</u>	<u>Benceno</u> <u>Etileno</u> NaOH (al 50%)	
			inhibidores y		
		Polibutadieno Antioxidante Estearato de Butilo Aceite de soya			

Cadena Tecnológica 7.

<u>OPM (1/1)</u>	<u>OP (1/1)</u>	<u>2,6-dimetilfenol (1/1)</u>	<u>Fenol (1/2)</u>	<u>Benceno</u> <u>Propileno (Gr. Quím)</u> Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico Ácido Fosfórico Químicos Diversos
			<u>Metanol</u>	
		Anhídrido Acético Metanol Tolueno Oxígeno (bajo uso) Di-n-butilamina Bromuro de Cobre II Ácido Acético NaOH (al 50%) Polietileno de baja densidad Cera, sintética Dióxido de Titanio		
	<u>Poliestireno de Alto Impacto (1/1)</u>	<u>Estireno (2/3)</u>	<u>Etilbenceno (2/2)</u>	<u>Benceno</u> <u>Etileno</u>
		Polibutadieno Antioxidante Estearato de Butilo Aceite de soya		

Cadena Tecnológica 8.

<u>OPM (1/1)</u>	<u>OP (1/1)</u>	<u>2,6-dimetilfenol (1/1)</u>	<u>Fenol (1/2)</u>	<u>Benceno</u> <u>Propileno (Gr. Quím)</u> <u>Sosa Cáustica</u> <u>Ácido Sulfúrico</u> <u>Ácido Fosfórico</u>
		Anhídrido Acético Metanol Tolueno Oxígeno (bajo uso) Di-n-butilamina Bromuro de Cobre II Ácido Acético NaOH (al 50%) Polietileno de baja densidad Cera, sintética Dióxido de Titanio	<u>Metanol</u>	
	<u>Poliestireno de Alto Impacto (1/1)</u>	<u>Estireno (3/3)</u>	<u>Etilbenceno (2/2)</u>	<u>Benceno</u> <u>Etileno</u>
		Polibutadieno Antioxidante Estearato de Butilo Aceite de soya		

Cadena Tecnológica 9.

OPM (1/1)	OP (1/1)	2,6-dimetilfenol (1/1)	Fenol (2/2)	Cumeno (1/1)	Benceno Propileno (Gr. Quím) Ácido Fosfórico
				Sosa Cáustica Químicos Diversos	
		Anhídrido Acético Metanol Tolueno Oxígeno (bajo uso) Di-n-butilamina Bromuro de Cobre II Ácido Acético NaOH (al 50%) Polietileno de baja densidad Cera, sintética Dióxido de Titanio	Metanol		
	Poliestireno de Alto Impacto (1/1)	Estireno (2/3)	Etilbenceno (2/2)	Benceno	
		Poliisobutadieno Antioxidante Estearato de Butilo Aceite de saya		Etileno	

Cadena Tecnológica 10.

OPM (1/1)	OP (1/1)	2,6-dimetilfenol (1/1)	Fenol (2/2)	Cumeno (1/1)	Benceno Propileno (Gr Quím) Ácido Fosfórico
				Sosa Cáustica Ácido Sulfúrico	
			<u>Metanol</u>		
		Anhídrido Acético Metanol Tolueno Oxígeno (bajo uso) Di-n-butilamina Bromuro de Cobre II Ácido Acético NaOH (al 50%) Polietileno de baja densidad Cera, sintética Dióxido de Titanio			
	<u>Poliestireno de Alto Impacto (1/1)</u>	<u>Estireno (3/3)</u>	<u>Etilbenceno (2/2)</u>	<u>Benceno</u>	
		Polibutadieno Antioxidante Estearato de Butilo Aceite de soya		<u>Etileno</u>	

FALTA PAGINA

162...a la 163

Capítulo IV

Metodología Multiatributo

Objetivos múltiples y multiatributos (El Método ELECTRA).

Elegir cursos de acción en el marco de la planeación estratégica cuando existen objetivos múltiples y en los que las alternativas se manejan como multiatributos con diversas consecuencias a evaluar, son funciones de preferencia estratégicamente equivalentes.

En esta parte del trabajo se utiliza una combinación de modelos no compensatorios con modelos compensatorios, tal que permita, por una parte realizar comparaciones atributo por atributo y por otra, permitir intercambios entre atributos a través de una caracterización multidimensional. Para ello se ha considerado posible utilizar los Métodos ELECTRA [20]. (Ver figura 5.1)

El Método ELECTRA tiene como propósito la selección de proyectos de entre un conjunto, teniendo en cuenta criterios múltiples. Su implementación contiene varios niveles y puede representarse por una escala de preferencias para cada criterio de selección o atributo.

El método consiste en establecer el perfil de juicios de proyectos a clasificar, con relación a los criterios considerados, en forma de definir los proyectos que son mejores que otros. Se utiliza un índice de concordancia y un índice de discordancia de los juicios preferidos así como un umbral de discordancia y de concordancia para caracterizar a las reglas de preferencia.

Así, es posible dividir el conjunto de los proyectos en dos distintos grupos:

1. El núcleo que contiene una población más reducida y para la cual el nivel de preferencia es indiferente para el decisor.
2. El subconjunto de proyectos para los que el decisor no sobrecalifica, de acuerdo a sus preferencias, a los que se encuentran en el núcleo y que por lo tanto serán eliminados.

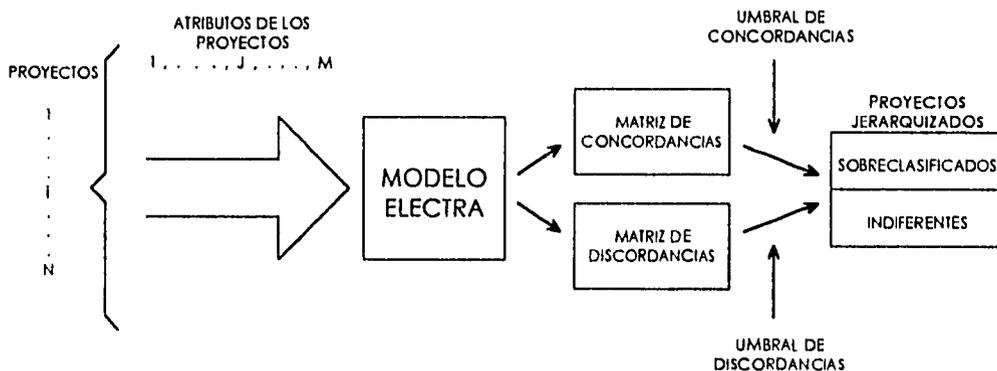


Figura 4.1

La evaluación se efectúa considerando para cada proyecto, atributos múltiples, especialmente identificados y que forman un subconjunto de las características económicas que se han tenido en cuenta para conformar la estructura tecnológica de las rutas consideradas. Estos atributos corresponden a elementos del costo de producción: Costo de las materias primas, de la energía y los que corresponden al "Valor del Producto" y al "Valor Agregado". Posteriormente, se utiliza un método de análisis multicriterio para agregarlos, en un orden único, jerarquizándolos para lo cual se considera alguna de las siguientes situaciones: Indiferencia, preferencia estricta, preferencia grande pero no estricta e incomparabilidad. El proceso de jerarquización es la etapa previa a la selección de los proyectos.

El modelo permitirá entonces una estructura final de la IPQ: integrada en cadenas que satisface la demanda, competitiva internacionalmente y establecida a nivel de proyecto considerando los recursos escasos de inversión.

El costo total de operación puede ser dividido en cinco componentes: Materia prima, capital, mano de obra, servicios y gastos generales. Los parámetros ó "atributos" de los que depende cada componente del costo son:

- **Materia prima:** Coeficientes estequiométricos (insumo-producto), rendimiento general del proceso y costo de la materia prima.
- **Capital:** Capacidad de referencia, capacidad construida, Inversión de referencia, tasa de interés empleada, depreciación, Impuestos, relación mantenimiento-inversión y exponente Cobb-Douglas.
- **Mano de obra:** Mano de obra requerida de referencia, capacidad de referencia, capacidad construida, valor de la mano de obra, coeficiente exponencial para la mano de obra, complejidad del proceso y automatización del proceso.
- **Servicios:** Este componente incluye la energía: Combustóleo equivalente requerido de referencia (vapor a 600 psig, Vapor a 100 psig, electricidad, combustible, gas Inerte, agua de enfriamiento, agua de proceso), capacidad de referencia, capacidad construida, costo unitario de

combustible de referencia, exponente Cobb-Douglas, número de etapas tecnológicas del proceso.

Respecto a la determinación del valor agregado en cadenas petroquímicas, es pertinente descomponer el valor del producto en los elementos que lo conforman y que son los mismos que integran el costo total de un producto.

Las componentes consideradas son: Costo relacionado con los hidrocarburos, costos relacionados con la inversión, costos relacionados con la mano de obra, costos misceláneos y costos relacionados con las ganancias.

Al calcular el valor de un producto es conveniente determinar el porcentaje de contribución de cada uno de los componentes al valor agregado de un producto, siendo esto el peso del componente en el valor agregado del producto. El valor del producto, es la suma de las contribuciones de cada componente.

La implantación de las ecuaciones en un sistema computacional, permite la parametrización de variables para estimar los cambios en los costos debidos a modificaciones en el entorno económico, y en el comportamiento tecnológico de los procesos, que provoquen cambios en el consumo de materias primas, energía, mano de obra, servicios, etc.

Durante las parametrizaciones es posible observar los valores que van adquiriendo los coeficientes y los diferentes elementos del costo; característica particularmente útil cuando además de buscar seleccionar tecnologías se pretende analizar los factores que las afectan bajo diferentes condiciones del entorno.

Respecto al análisis de cadenas en la industria petroquímica, al obtener el valor agregado del último producto de esta, se puede calcular el valor agregado en cada paso (proceso de producción).

Determinando en cual de ellos se incrementa más este valor, es posible encontrar la componente del valor del producto que corresponda al mayor porcentaje.

Mediante la aplicación de la metodología es posible construir puntos de indiferencia respecto de una función de preferencia, que se construye en base a las variables significativas que son necesarias en el proceso de comparación entre tecnologías alternativas.

La determinación del valor agregado de una cadena es un poderoso elemento para el análisis de la industria petroquímica, ya que permite encontrar fortalezas y debilidades debidas al tipo de integración existente y a las condiciones del entorno, para esto último es útil conocer los costos repartidos que dan lugar al valor del producto en cada parte de la cadena.

Permite sugerir mejoras en algunos procesos de una cadena que causen un incremento desproporcionado en el valor del producto. En fin, el valor del producto es un parámetro de comparación entre la industria nacional y la extranjera, y muestra que tan eficiente es cada una, lo que permite realmente evaluar la competitividad.

Este programa genera una estructura capaz de satisfacer la demanda de los productos finales, comparando los valores del producto con un valor de referencia para conservar únicamente las cadenas competitivas, utilizando como criterio que el valor del producto obtenido sea menor o igual al de referencia.

La estructura resultante puede ser usada como base para el estudio de un período del Horizonte de Planeación.

Jerarquización y selección de tecnologías en cadenas petroquímicas.

Una vez establecida la red de tecnologías definidas en el Capítulo IV, la consideración fundamental que sigue, se refiere al hecho de que sean creados nuevos proyectos de inversión entre los que destacan aquellos que han significado un incremento en la capacidad de producción.

La forma más usual de enfrentar la evaluación de un proyecto de inversión es utilizar el conjunto de técnicas relacionadas con el análisis beneficio-costos.

Sin embargo, los efectos de la planeación pueden no servir para cumplimentar este objetivo. Esto sucede precisamente cuando para cada proyecto, se tienen un conjunto de atributos congruentes

con los objetivos de la planeación y con las preferencias de los tomadores de decisión. En este caso, parece adecuado acudir al análisis multicriterio. En particular, nos ha parecido pertinente utilizar el método "ELECTRA" [16,22,25]. En nuestro caso, el método ELECTRA será útil para jerarquizar tales proyectos en forma tal de:

- Determinar el orden de preferencia de los proyectos de inversión creados a través del modelo de planeación.
- Seleccionar un subconjunto de los proyectos como parte del plan obtenido previamente.

La principal idea que subyace en esta metodología es comparar el conjunto de proyectos en cada etapa de la cadena petroquímica en estudio, congruente con la información dada al sistema de modelos; esto es, con cada uno de los elementos que representa el valor del producto y que para la evaluación que nos ocupa, llamaremos "atributos" que representan en realidad un objetivo parcial.

Al definirse una medida de la concordancia (ventajas relativas) y una medida de discordancia (desventajas relativas) de los atributos de los proyectos es posible establecer una relación de dominancia entre la medida de cada atributo asignado a cada posible proyecto para hacerlos competir.

- Metodología.

El primer paso consiste en identificar el conjunto de proyectos para luego establecer el orden de preferencia con el que la evaluación se transformara en una evaluación con criterios múltiples.

Construyamos entonces la matriz :

$$K = \{ k_{ij} \} \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, I \\ j = 1, \dots, J \end{array}$$

donde k_{ij} representa el proyecto "i" cuyos atributos están representados por "j".

Como puede tratarse de diferentes tipos de proyectos: independientes, secuencialmente dependientes o mutuamente excluyentes, para el caso del segundo tipo, se sugiere tratarse como uno solo, ya que en la cadena de producción es necesario que se realicen otros. Para los proyectos mutuamente excluyentes, como es el caso de la selección de tecnologías para la elaboración de un mismo producto, es fundamental crear el concepto de "niveles", los cuales están asociados biunivocamente con toda alternativa de producción, tratándoseles, entonces, como un solo proyecto con diferentes niveles tomando en cuenta así las características del conjunto.

El siguiente paso es introducir las preferencias del tomador de decisiones, especificando un vector :

$$P = \{ p_j \}; \quad j = 1, \dots, J$$

El tomador de decisiones en ocasiones tiene, para especificar p_j y para evaluar k_{ji} un cierto desorden.

Entonces podría ser necesario ponderar sus preferencias para revertir la idea de la entropía de la información [25], incorporánola en:

$$P^* = \{ p^*_j \}; \quad p^*_j = \delta_j p_j$$

De igual manera:

$$K^* = \{ k^*_{ji} \}; \quad k^*_{ji} = \delta_j k_{ji}$$

δ_j también puede relacionarse con ε_j como una medida de la entropía respecto al atributo j .

$$\varepsilon_j = \frac{1}{\ln I} \sum_{i=1}^I (\gamma_{ji} \ln \gamma_{ji})$$

$$\gamma_{ji} = \frac{k_{ji}}{\sum_{i=1}^I k_{ji}}$$

- Matriz de impactos

La comparación de los proyectos con los atributos se realiza sobre la base del impacto de cada uno de los atributos. Sin embargo, es necesario normalizar los sectores renglón de K:

$$R = \{ r_{ij} \}; \quad r_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^J k_j^2}}$$

El tomador de decisiones podría tener la necesidad de ponderar las evaluaciones de cada atributo:

$$W = \{ w_{ij} \}; \quad w_{ij} = p_i r_{ij} \quad \text{Donde W es la matriz de impactos.}$$

- Concordancia / Discordancia.

La comparación entre atributos permite la definición de los conjuntos de concordancia y discordancia donde, respectivamente, el conjunto de atributos para los cuales el proyecto es preferido o no preferido a cualquier otro "i" ("i') :

$$C_i = \{ j \mid k_{ij} \geq k_{i'j} \} \quad \forall i \neq i'$$

$$D_i = \{ j \mid k_{ij} < k_{i'j} \} \quad \forall i \neq i'$$

Definiendo un índice de concordancia o discordancia como una medida de las ventajas relativas de i sobre i', se puede construir la matriz de concordancias y discordancias:

$$C = \{ C_{ii'} \};$$

$$C_{ii'} = \frac{\sum_{j=1}^J p_j}{\sum_{j=1}^J p_j}; \quad i \neq i'$$

donde el límite inferior de la sumatoria del numerador debe cumplir:

• Matriz de impactos

La comparación de los proyectos con los atributos se realiza sobre la base del impacto de cada uno de los atributos. Sin embargo, es necesario normalizar los sectores renglón de K:

$$R = \{ r_{ij} \} : \quad r_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^J k^2_{ji}}}$$

El tomador de decisiones podría tener la necesidad de ponderar las evaluaciones de cada atributo:

$$W = \{ w_{ij} \} : \quad w_{ij} = p_j r_{ij} \quad \text{Donde } W \text{ es la matriz de impactos.}$$

• Concordancia / Discordancia.

La comparación entre atributos permite la definición de los conjuntos de concordancia y discordancia donde, respectivamente, el conjunto de atributos para los cuales el proyecto es preferido o no preferido a cualquier otro "i" (i') :

$$C_{ir} = \{ j \mid k_{ij} \geq k_{i'j} \} \quad \forall i \neq i'$$

$$D_{ir} = \{ j \mid k_{ij} < k_{i'j} \} \quad \forall i \neq i'$$

Definiendo un índice de concordancia o discordancia como una medida de las ventajas relativas de i sobre i', se puede construir la matriz de concordancias y discordancias:

$$C = \{ C_{ir} \} :$$

$$C_{ii} = \frac{\sum_{j=1}^J p_j}{\sum_{j=1}^J p_j} ; \quad i \neq i'$$

donde el límite inferior de la sumatoria del numerador debe cumplir:

$$j \in C_{ir}$$

$$D = \{ d_{ir} \}$$

$$d_{ir} = \max_j \{ |W_{ji} - W_{jr}| \} / \{ \sum_j |W_{ji} - W_{jr}| \}; \quad i \neq i'$$

El indicador del máximo del numerador debe cumplir:

$$\max_{j \in D_{ir}} \{ |i'| \} \in (i, i')$$

Por su parte es necesario definir los índices de concordancia y discordancia, diferenciando los índices de concordancia y discordancia, uno del otro y haciendo posible su parametrización, como una medida de las ventajas o desventajas netas de i sobre i' ; estas matrices se definen como:

$$E = \{ e_{ir} \}; \quad e_{ir} = c_{ii} - c_{ri}; \quad i \neq i'$$

$$F = \{ f_{ir} \}; \quad f_{ir} = d_{ir} - c_{ri}; \quad i \neq i'$$

• Determinación de la solución preferida

Si se define para las matrices de concordancia y discordancia ya diferenciadas, un umbral crítico, respectivamente e^* y f^* , entonces:

$$X = \{ x_{ir} \} \quad \text{con } x_{ir} = 1, \text{ si } e_{ir} \geq e^*$$

$$x_{ir} = 0, \text{ si } e_{ir} < e^*$$

$$Y = \{ y_{ir} \} \quad \text{con } y_{ir} = 1, \text{ si } f_{ir} \geq f^*$$

$$y_{ir} = 0, \text{ si } f_{ir} < f^*$$

Introduciendo:

$$Z = \{ z_{ir} \} = X \cap Y, \text{ entonces:}$$

$$z_{ir} = 1 \{ i \neq i' \} \quad \text{y} \quad z_{ir} = 0 \{ i' \neq i; i' = i \}.$$

que es la condición necesaria para jerarquizar los proyectos i que poseen una dominancia diferencial agregada y que corresponden por lo tanto a la solución preferida.

Selección óptima de Tecnologías en Cadenas Petroquímicas.

La jerarquización de los proyectos en cada cadena estaría incompleta si además no se utilizan criterios para su selección óptima. En la referencia (15) se proporciona una visión de conjunto para la jerarquización y selección óptima de los proyectos de Investigación y Desarrollo.

La metodología es sin embargo aplicable para el caso de la planificación de la IPQ que nos ocupa, a condición de que para cada uno de los periodos del HP, se proporcionen límites máximos para el presupuesto de planeación.

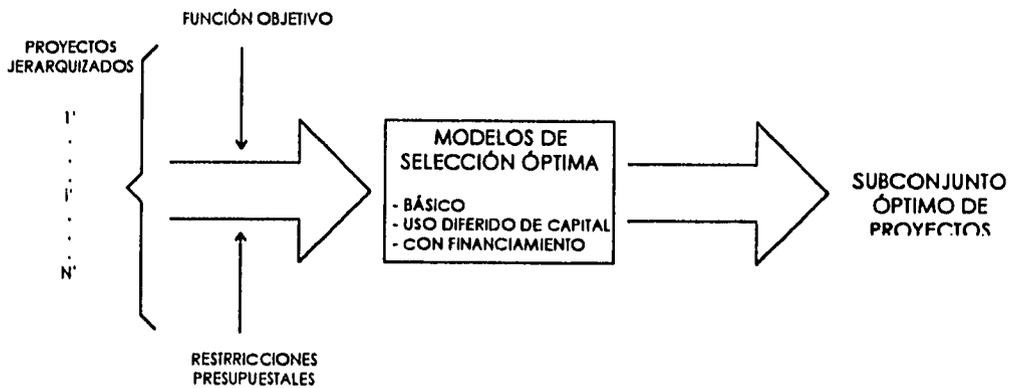


Figura 4.2

- Se supone entonces que se tienen una serie de presupuestos repartidos en T periodos:

$$\{C_t : t = 1, \dots, T\}$$

- Un conjunto de requerimientos de capital para cada proyecto en cada uno de sus niveles y periodos presupuestales:

$$\{a_{ikt} : i = 1, \dots, m; t = 1, \dots, T; k = 1, \dots, j_i\}$$

- Que se tienen un conjunto determinado de restricciones de carácter general, constituido por R elementos:

$$\{ R : r = 1, \dots, R \}$$

- El conjunto de valores para cada proyecto en cada nivel, de la propiedad sujeta a restricción:

$$\{ F_{rk} : i = 1, \dots, m ; r = 1, \dots, R ; k = 1, \dots, l_i \}$$

Entonces el problema a resolver es:

$$\max Z = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^{l_i} B_{ik} X_{ik}$$

Sujeto a que:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^{l_i} a_{ik} X_{ik} \leq C_r$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^{l_i} F_{irk} X_{ik} \leq D_r$$

$$\sum_{k=1}^{l_i} X_{ik} \leq 1; \quad X_{ik} \in \{0, 1\}$$

$$l = 1, \dots, T$$

$$r = 1, \dots, R$$

$$i = 1, \dots, m$$

$$k = 1, \dots, l_i$$

X_{ik} posee un valor de cero si el proyecto "i" en su nivel k es rechazado y un valor de 1 en caso contrario B_{ik} es el beneficio que proporciona el proyecto "i" en su nivel "k", cuantificado a través de la metodología multicriterio anteriormente descrita. Se han construido también modelos de selección óptima con financiamiento externo y con uso diferido de capital [15].

Capítulo V

Resultados del Análisis de la Metodología Multiatributo

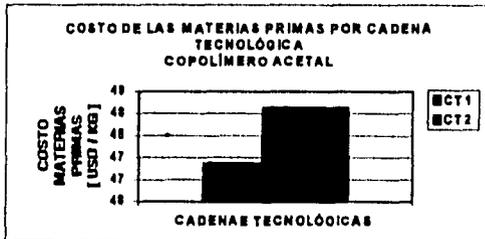
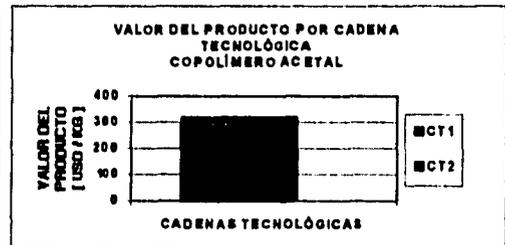
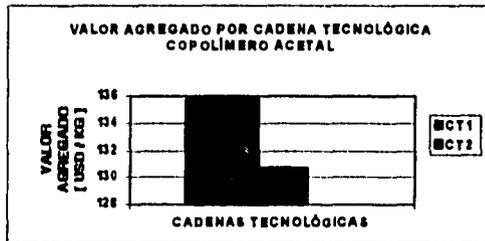
A continuación se presentan los resultados del análisis de la metodología multiatributo. Se muestran los resultados del cálculo de los costos de producción, del valor agregada y del valor del producto por cadena tecnológica de producción, los valores de la media y la desviación estándar para la asignación de las calificaciones de las cadenas, la ponderación de las cadenas tecnológicas de acuerdo al peso asignado a cada atributo y el resultado de la aplicación del método ELECTRA para la jerarquización de las cadenas tecnológicas. De igual manera, se presentan los resultados del proceso de optimización de recursos financieros para las cadenas jerarquizadas del Tereftalato de Polietileno utilizando diferentes montos de capital disponible para inversión.

En el anexo se presenta la memoria de cálculo para el cálculo de los atributos, la media y la desviación estándar, las calificaciones asignadas a los atributos y la ponderación de las cadenas tecnológicas.

Copolímero Acetal.

- Total de cadenas evaluadas: 2
- Cálculo de los Atributos.

Cadena tecnológica	1	2
Valor de Producto (c/kg)	322.81	321.57
Valor Agregado (c/kg)	135.78	130.72
Servicios (c/kg)	18.88	20.37
Materias Primas (c/kg)	46.87	48.11



- Cálculo de la media y de la desviación estándar.

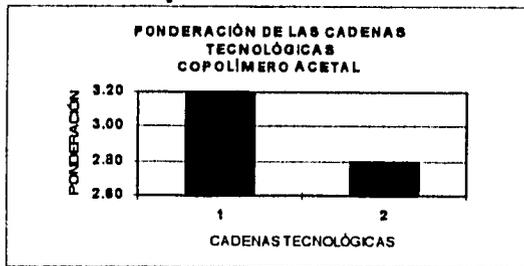
Atributo	M	S
Valor de Producto	322.19	0.88
Valor Agregado	133.25	3.58
Servicios	19.62	1.06
Materias Primas	47.49	0.88

- Calificaciones de las cadenas.

Cadena tecnológica	1	2
Valor Agregado	2	4
Valor de Producto	4	2
Materias Primas	4	2
Servicios	4	2

- Ponderación de las cadenas.

Cadena tecnológica	Peso	1	2
Valor Agregado	40	0.80	1.60
Valor de Producto	25	1.00	0.50
Materias Primas	20	0.80	0.40
Servicios	15	0.60	0.30
Total	100	3.20	2.80



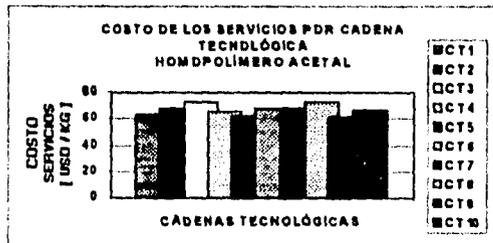
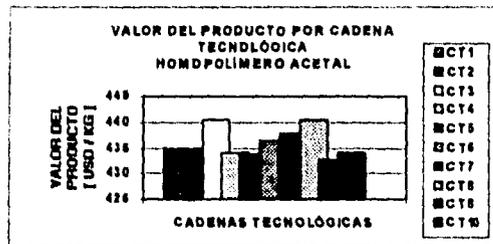
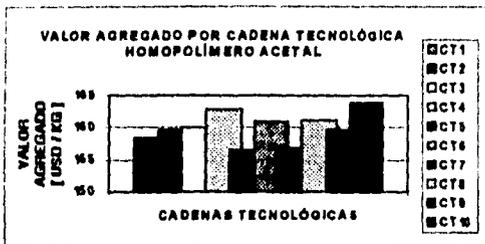
- Cadenas tecnológicas seleccionadas.

1 Cadena Tecnológica

Homopolímero Acetal.

- Total de cadenas evaluadas: 10
- Cálculo de los Atributos.

Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor de Producto (c/kg)	434.86	436.49	440.46	434.06	433.83	436.56	437.80	440.52	432.75	434.09
Valor Agregado (c/kg)	158.27	159.71	159.98	162.82	156.52	160.90	156.78	161.17	159.62	164.01
Servicios (c/kg)	63.43	67.09	72.46	65.52	62.37	67.82	67.74	73.19	60.80	66.25
Materias Primas (c/kg)	38.75	33.56	60.91	40.85	26.43	38.75	53.78	66.09	33.72	46.03



- Cálculo de la media y de la desviación estándar.

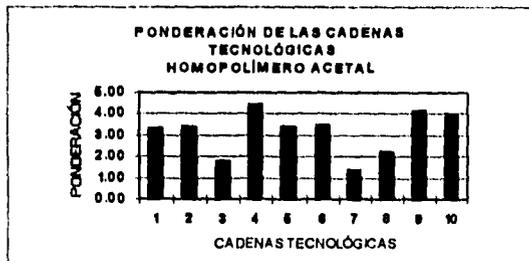
Atributo	M	S
Valor de Producto	436.14	2.75
Valor Agregado	159.98	2.40
Servicios	66.67	3.99
Materias Primas	43.89	12.74

• Calificaciones de las cadenas.

Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor Agregado	2	3	3	5	1	4	1	4	3	5
Valor de Producto	4	3	1	5	5	3	2	1	5	4
Materias Primas	4	5	1	3	5	4	1	1	5	3
Servicios	5	3	1	4	5	2	2	1	5	3

• Ponderación de las cadenas.

Cadena tecnológica	Peso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor Agregado	40	0.80	1.20	1.20	2.00	0.40	1.60	0.40	1.60	1.20	2.00
Valor de Producto	25	1.00	0.75	0.25	1.25	1.25	0.75	0.50	0.25	1.25	1.00
Materias Primas	20	0.80	1.00	0.20	0.60	1.00	0.80	0.20	0.20	1.00	0.60
Servicios	15	0.75	0.45	0.15	0.60	0.75	0.30	0.30	0.15	0.75	0.45
Total	100	3.35	3.40	1.80	4.45	3.40	3.45	1.40	2.20	4.20	4.05



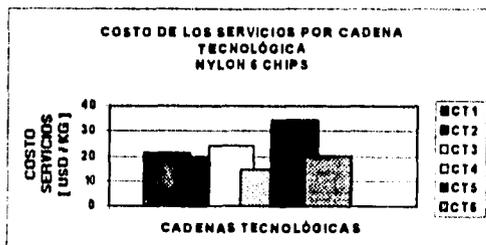
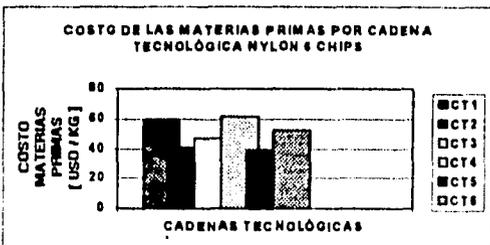
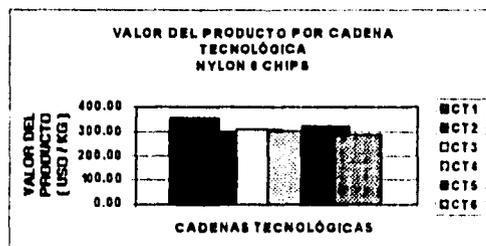
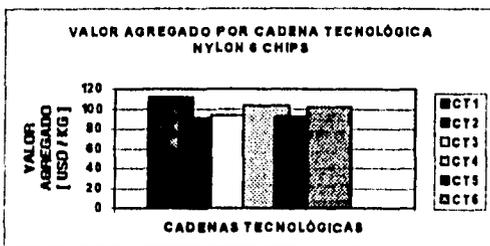
• Cadenas tecnológicas seleccionadas.

- 4 Cadena Tecnológica
- 9 Cadena Tecnológica

Nylon 6 chips.

- Total de cadenas evaluadas: 6
- Cálculo de los Atributos.

Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6
Valor de Producto (c/kg)	111.61	91.26	93.16	103.93	92.47	102.41
Valor Agregado (c/kg)	352.47	296.01	310.11	304.46	323.79	286.97
Servicios (c/kg)	21.28	19.56	24.04	14.59	34.36	20.00
Materias Primas (c/kg)	59.21	40.34	46.72	62.06	38.53	52.53



- Cálculo de la media y de la desviación estándar.

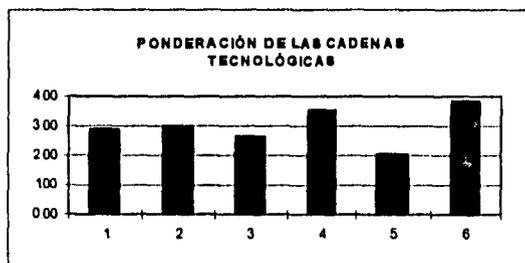
Atributo	M	S
Valor de Producto	99.14	8.14
Valor Agregado	312.30	23.32
Servicios	22.31	6.66
Materias Primas	49.90	9.72

• Calificaciones de las cadenas.

Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6
Valor Agregado	5	1	2	4	1	4
Valor de Producto.	1	4	3	4	2	5
Materias Primas	1	5	4	1	5	2
Servicios	3	4	2	5	1	4

• Ponderación de las cadenas.

Cadena tecnológica	Peso	1	2	3	4	5	6
Valor Agregado	40	2.00	0.40	0.80	1.60	0.40	1.60
Valor de Producto	25	0.25	1.00	0.75	1.00	0.50	1.25
Materias Primas	20	0.20	1.00	0.80	0.20	1.00	0.40
Servicios	15	0.45	0.60	0.30	0.75	0.15	0.60
Total	100	2.90	3.00	2.65	3.55	2.05	3.85



• Cadenas tecnológicas seleccionadas.

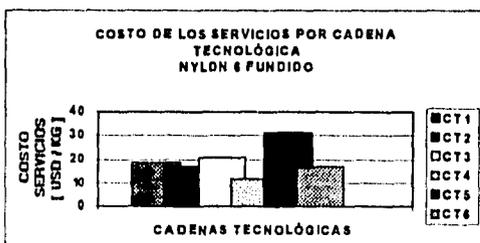
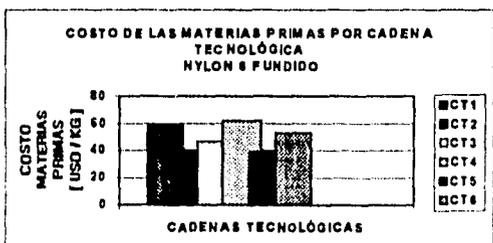
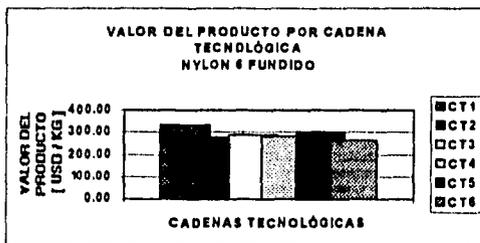
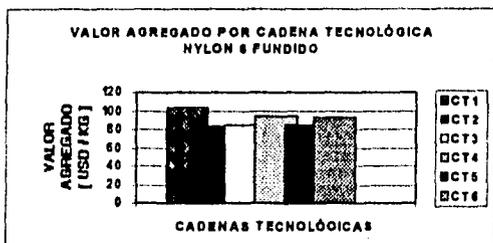
5 Cadena Tecnológica

6 Cadena Tecnológica

Nylon 6 fundida.

- Total de cadenas evaluadas: 6
- Cálculo de los Atributos.

Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6
Valor de Producto (c/kg)	103.19	82.84	84.74	95.50	84.05	93.99
Valor Agregado (c/kg)	333.01	278.55	290.65	285.00	304.33	267.51
Servicios (c/kg)	18.28	16.54	21.02	11.57	31.34	18.98
Materias Primas (c/kg)	59.21	40.34	46.72	62.06	38.53	52.53



- Cálculo de la media y de la desviación estándar.

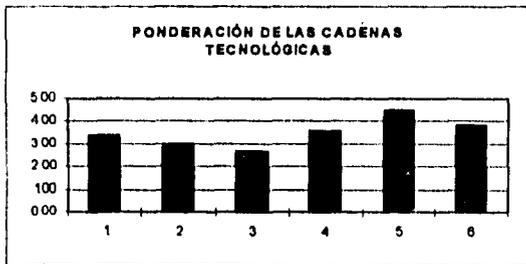
Atributo	M	S
Valor de Producto	90.72	8.14
Valor Agregado	292.84	23.32
Servicios	19.29	6.66
Materias Primas	49.90	9.72

• Calificaciones de las cadenas.

Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6
Valor Agregado	5	1	2	4	7	4
Valor de Producto	3	4	3	4	2	5
Materias Primas	1	5	4	1	5	2
Servicios	3	4	2	5	1	4

• Ponderación de las cadenas.

Cadena tecnológica	Peso	1	2	3	4	5	6
Valor Agregado	40	2.00	0.40	0.80	1.60	2.80	1.60
Valor de Producto	25	0.75	1.00	0.75	1.00	0.50	1.25
Materias Primas	20	0.20	1.00	0.80	0.20	1.00	0.40
Servicios	15	0.45	0.60	0.30	0.75	0.15	0.60
Total	100	3.40	3.00	2.65	3.55	4.45	3.85



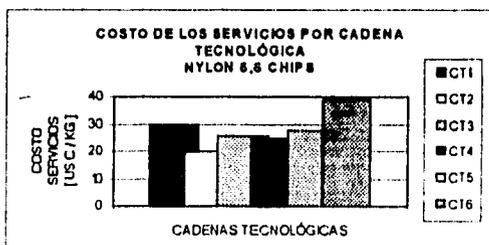
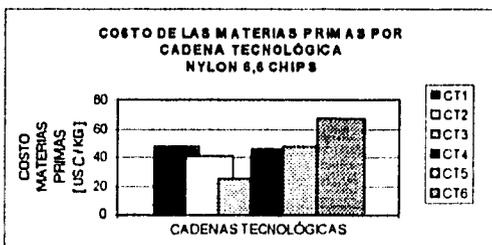
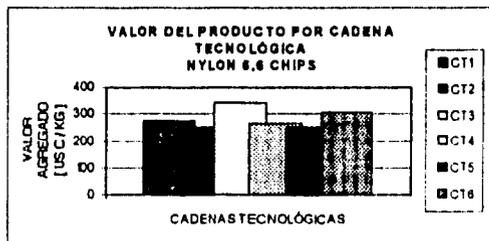
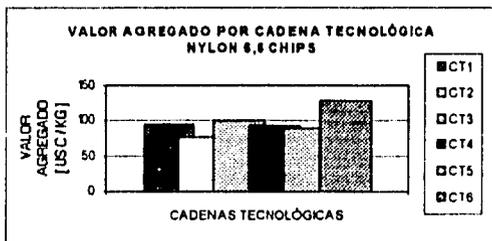
• Cadenas tecnológicas seleccionadas.

- 5 Cadena Tecnológica
- 6 Cadena Tecnológica

Nylon 6,6.

- Total de cadenas evaluadas: 6
- Cálculo de los Atributos.

Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6
Valor Agregado (c/kg)	95.11	77.32	100.05	92.76	88.81	127.51
Valor del Producto (c/kg)	277.25	250.75	340.78	263.28	251.38	304.09
Servicios (c/kg)	29.51	20.07	25.41	24.65	27.84	38.79
Materias Primas (c/kg)	48.12	41.04	187.55	45.74	48.12	67.05



- Cálculo de la media y de la desviación estándar.

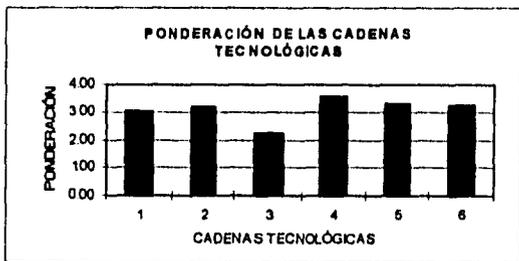
Atributo	M	S
Valor Agregado	96.93	16.83
Valor del Producto	281.25	35.29
Servicios	27.71	6.31
Materias Primas	72.94	56.85

• Calificaciones de las cadenas.

Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6
Valor Agregado	3	1	3	3	2	5
Valor de Producto	3	5	1	4	5	2
Materias Primas	4	4	1	4	4	3
Servicios	2	5	4	4	3	1

• Ponderación de las cadenas.

Cadena tecnológica	Peso	1	2	3	4	5	6
Valor Agregado	40	1.20	0.40	1.20	1.20	0.80	2.00
Valor de Producto	25	0.75	1.25	0.25	1.00	1.25	0.50
Materias Primas	20	0.80	0.80	0.20	0.80	0.80	0.60
Servicios	15	0.30	0.75	0.60	0.60	0.45	0.15
Total	100	3.05	3.20	2.25	3.60	3.30	3.25



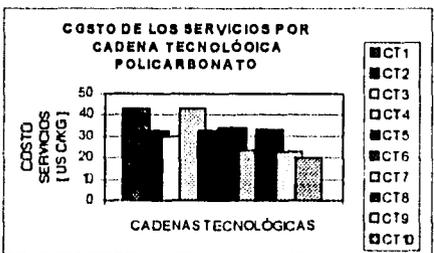
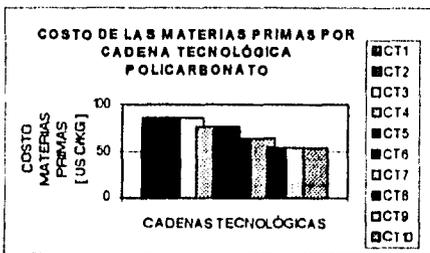
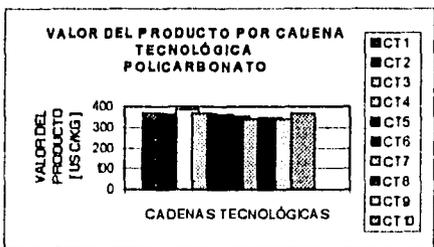
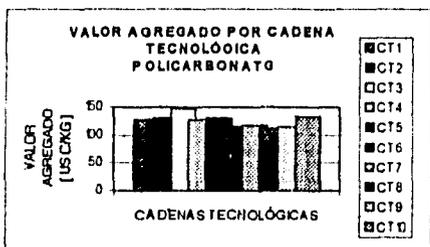
• Cadenas tecnológicas seleccionadas.

- 3 Cadena Tecnológica
- 5 Cadena Tecnológica
- 6 Cadena Tecnológica

Policarbonato.

- Total de cadenas evaluadas: 10
- Cálculo de los Atributos.

Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor de Producto (c/kg)	363.69	356.14	385.90	364.51	356.97	349.31	341.81	345.61	338.11	363.06
Valor Agregado (c/kg)	128.37	130.30	147.66	126.87	128.81	114.61	116.55	113.11	115.05	132.40
Servicios (c/kg)	42.96	32.53	29.63	42.84	32.41	33.75	23.31	33.63	23.19	20.30
Materias Primas (c/kg)	86.47	86.47	86.47	76.94	76.94	63.99	63.99	54.46	54.46	54.46



- Cálculo de la media y de la desviación estándar.

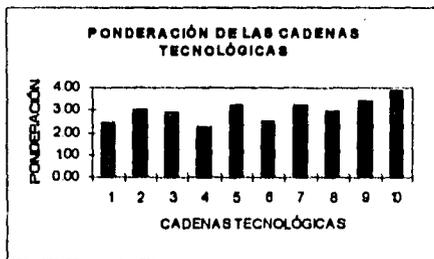
Atributo	M	S
Valor de Producto	356.51	13.94
Valor Agregado	125.37	10.77
Servicios	31.46	7.72
Materias Primas	70.46	13.77

• Calificaciones de las cadenas.

Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor Agregado	4	4	5	3	4	1	1	1	1	4
Valor de Producto	2	3	1	2	3	4	5	5	5	2
Materias Primas	1	1	1	2	2	4	4	5	5	5
Servicios	1	3	3	1	3	2	5	2	5	5

• Ponderación de las cadenas.

Cadena tecnológica	Peso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor Agregado	40	1.60	1.60	2.00	1.20	1.60	0.40	0.40	0.40	0.40	1.60
Valor de Producto	25	0.50	0.75	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.25	1.25	0.50
Materias Primas	20	0.20	0.20	0.20	0.40	0.40	0.80	0.80	1.00	1.00	1.00
Servicios	15	0.15	0.45	0.45	0.15	0.45	0.30	0.75	0.30	0.75	0.75
Total	100	2.45	3.00	2.90	2.25	3.20	2.50	3.20	2.95	3.40	3.85



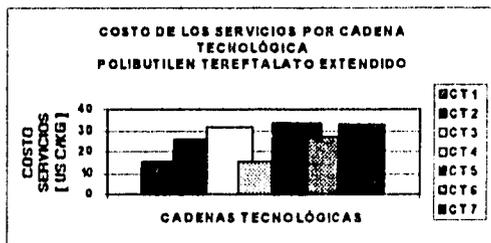
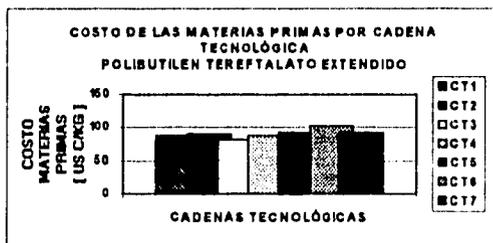
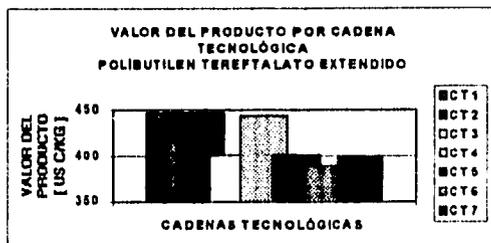
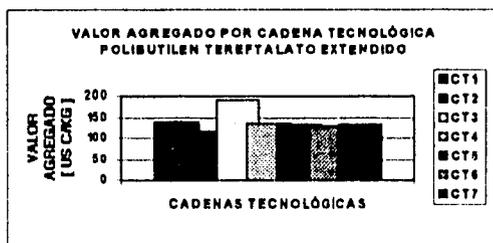
• Cadenas tecnológicas seleccionadas.

- 3 Cadena Tecnológica
- 5 Cadena Tecnológica
- 7 Cadena Tecnológica
- 9 Cadena Tecnológica
- 10 Cadena Tecnológica

Tereftalato de Polibutileno extendido.

- Total de cadenas evaluadas: 7
- Cálculo de los Atributos.

Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6	7
Valor de Producto (c/kg)	446.79	394.61	400.51	443.63	400.70	388.74	399.33
Valor Agregado (c/kg)	139.31	115.22	189.81	136.58	131.71	129.93	131.46
Servicios (c/kg)	15.44	26.03	31.79	15.48	33.57	27.17	32.95
Materias Primas (c/kg)	89.18	89.40	81.90	89.18	92.61	102.67	92.81



- Cálculo de la media y de la desviación estándar.

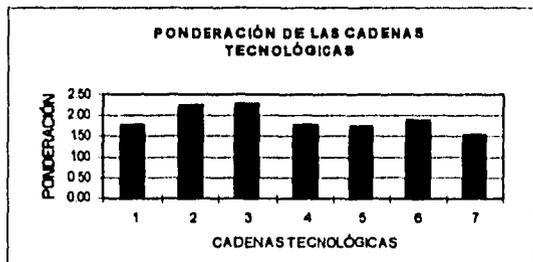
Atributo	M	S
Valor de Producto	410.62	24.02
Valor Agregado	139.15	23.61
Servicios	26.06	7.77
Materias Primas	91.11	6.25

• Calificaciones de las cadenas.

Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6	7
Valor Agregado	3	1	5	3	2	2	2
Valor de Producto	1	4	4	1	4	5	4
Materias Primas	4	4	5	4	3	1	2
Servicios	5	3	2	5	1	3	1

• Ponderación de las cadenas.

Cadena tecnológica	Peso	1	2	3	4	5	6	7
Valor Agregado	40	1.20	0.40	2.00	1.20	0.80	0.80	0.80
Valor de Producto	25	0.25	1.00	1.00	0.25	1.00	1.25	1.00
Materias Primas	20	0.80	0.80	1.00	0.80	0.60	0.20	0.40
Servicios	15	0.75	0.45	0.30	0.75	0.15	0.45	0.15
Total	100	1.80	2.25	2.30	1.80	1.75	1.90	1.55



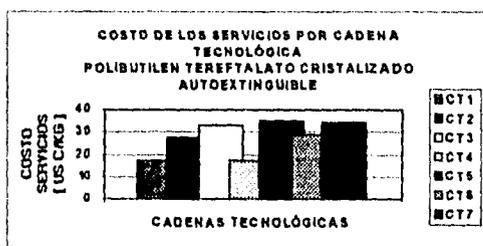
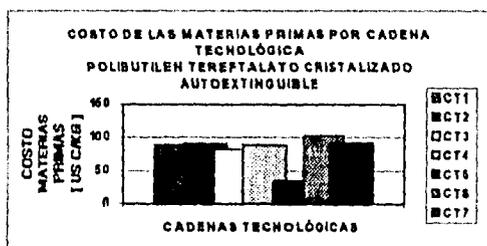
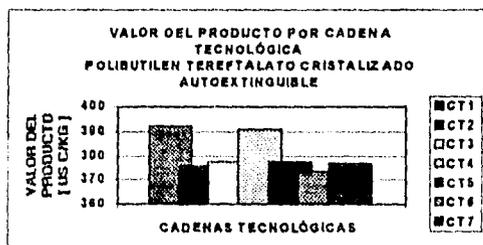
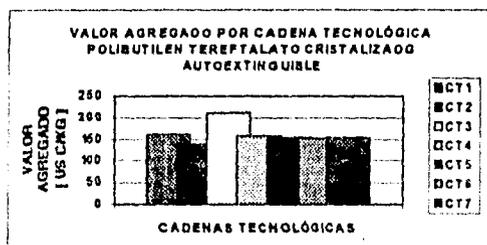
• Cadenas tecnológicas seleccionadas.

- 1 Cadena Tecnológica
- 3 Cadena Tecnológica
- 4 Cadena Tecnológica
- 6 Cadena Tecnológica

Tereftalato de Polibutileno cristalizado autoextinguible.

- Total de cadenas evaluadas: 7
- Cálculo de los atributos.

Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6	7
Valor de Producto (c/kg)	391.99	375.55	377.41	390.99	377.47	373.70	377.04
Valor Agregado (c/kg)	162.46	138.37	212.96	159.72	154.86	153.08	154.61
Servicios (c/kg)	16.95	27.54	33.30	16.99	35.08	28.68	34.48
Materias Primas (c/kg)	89.18	89.40	81.90	89.18	92.61	102.67	92.81



- Cálculo de la media y de la desviación estándar.

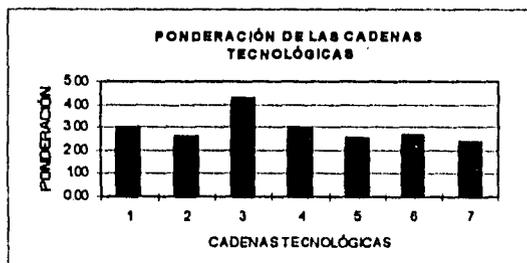
Atributo	M	S
Valor de Producto	380.59	7.57
Valor Agregado	162.29	23.61
Servicios	27.57	7.77
Materias Primas *	91.11	6.25

• Calificaciones de las cadenas.

Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6	7
Valor Agregado	3	1	5	3	2	2	2
Valor de Producto	1	4	4	1	4	5	4
Materias Primas	4	4	5	4	3	1	2
Servicios	5	3	2	5	1	3	1

• Ponderación de las cadenas.

Cadena tecnológica	Peso	1	2	3	4	5	6	7
Valor Agregado	40	1.20	0.40	2.00	1.20	0.80	0.80	0.80
Valor de Producto	25	0.25	1.00	1.00	0.25	1.00	1.25	1.00
Materias Primas	20	0.80	0.80	1.00	0.80	0.60	0.20	0.40
Servicios	15	0.75	0.45	0.30	0.75	0.15	0.45	0.15
Total	100	3.00	2.65	4.30	3.00	2.55	2.70	2.35



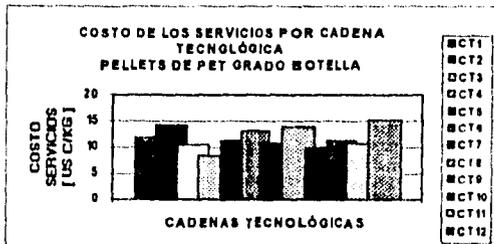
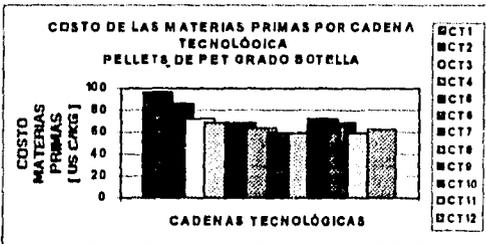
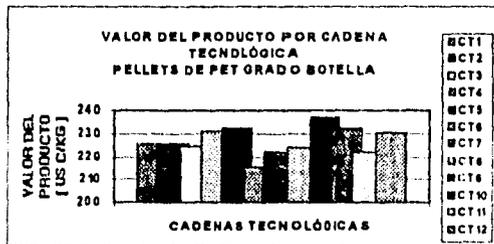
• Cadenas tecnológicas seleccionadas.

- 1 Cadena Tecnológica
- 3 Cadena Tecnológica
- 4 Cadena Tecnológica
- 6 Cadena Tecnológica

Tereftalato de Polietileno.

- Total de cadenas evaluadas: 12
- Cálculo de los Atributos.

Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Valor de Producto (c/kg)	225.86	217.07	224.19	231.02	232.50	215.41	222.23	223.71	236.74	232.50	222.23	230.40
Valor Agregado (c/kg)	95.39	94.93	86.63	95.74	95.87	86.18	95.28	95.41	90.68	95.87	95.28	90.35
Servicios (c/kg)	11.74	14.20	10.84	8.34	11.37	13.10	10.81	13.83	9.84	11.37	10.81	15.33
Materias Primas (c/kg)	96.19	86.69	72.97	88.24	68.24	83.48	58.74	58.74	72.46	88.24	58.74	62.97



- Cálculo de la media y de la desviación estándar.

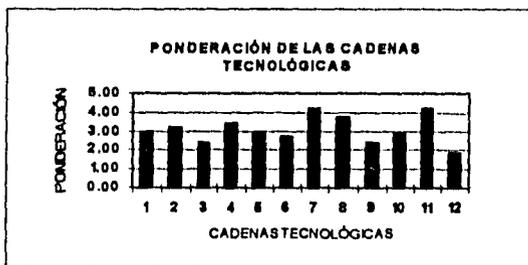
Atributo	M	S
Valor de Producto	226.16	6.56
Valor Agregado	93.13	3.68
Servicios	11.78	1.99
Materias Primas	69.64	11.52

• Calificaciones de las cadenas.

Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Valor Agregado	4	4	1	4	4	1	4	4	2	4	4	1
Valor de Producto	3	5	4	2	1	5	4	4	1	1	4	2
Materias Primas	1	1	2	3	3	4	5	5	3	3	5	4
Servicios	3	1	4	5	3	2	4	1	5	3	4	1

• Ponderación de las cadenas.

Cadena tecnológica	Peso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Valor Agregado	40	1.60	1.60	0.40	1.60	1.60	0.40	1.60	1.60	0.80	1.60	1.60	0.40
Valor de Producto	25	0.75	1.25	1.00	0.50	0.25	1.25	1.00	1.00	0.25	0.25	1.00	0.50
Materias Primas	20	0.20	0.20	0.40	0.60	0.60	0.80	1.00	1.00	0.60	0.60	1.00	0.80
Servicios	15	0.45	0.15	0.60	0.75	0.45	0.30	0.60	0.15	0.75	0.45	0.60	0.15
Total	100	1.40	1.60	2.00	1.85	1.30	2.35	2.60	2.15	1.60	1.30	2.60	1.45



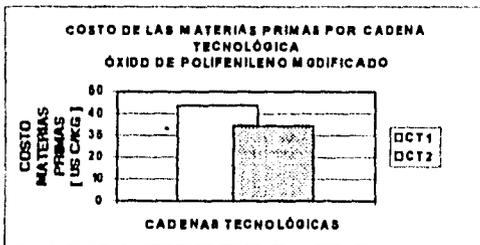
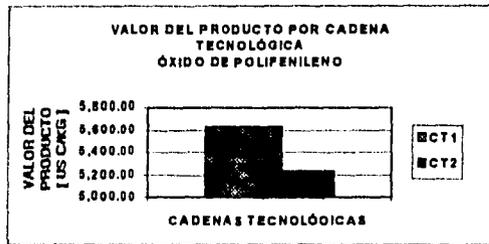
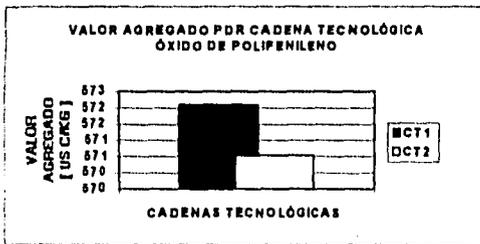
• Cadenas tecnológicas seleccionadas

- 2 Cadena Tecnológica
- 6 Cadena Tecnológica
- 7 Cadena Tecnológica
- 11 Cadena Tecnológica

Óxido de Polifenileno.

- Total de cadenas evaluadas: 2
- Cálculo de los Atributos.

Cadena tecnológica	1	2
Valor de Producto (c/kg)	5,632.58	5,229.10
Valor Agregado (c/kg)	572.06	570.55
Servicios (c/kg)	32.50	37.91
Materias Primas (c/kg)	43.76	34.23



- Cálculo de la media y de la desviación estándar.

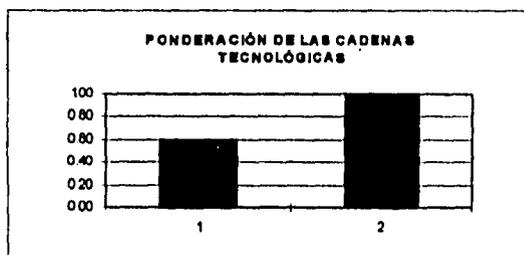
Atributo	M	S
Valor de Producto	5,430.84	285.31
Valor Agregado	571.31	1.07
Servicios	35.20	3.83
Materias Primas	39.00	6.74

- Calificaciones de las cadenas.

Cadena tecnológica	1	2
Valor Agregado	4	4
Valor de Producto	1	2
Materias Primas	1	1
Servicios	1	2

- Ponderación de las cadenas.

Cadena tecnológica	Peso	1	2
Valor Agregado	40	1.60	1.60
Valor de Producto	25	0.25	0.50
Materias Primas	20	0.20	0.20
Servicios	15	0.15	0.30
Total	100	0.60	1.00



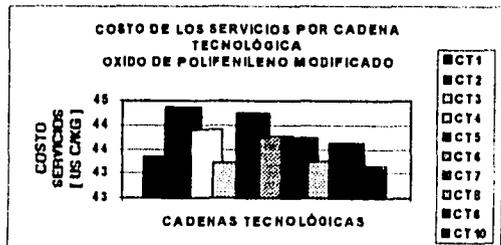
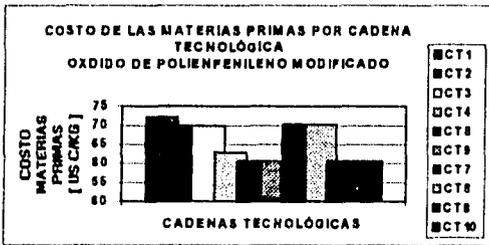
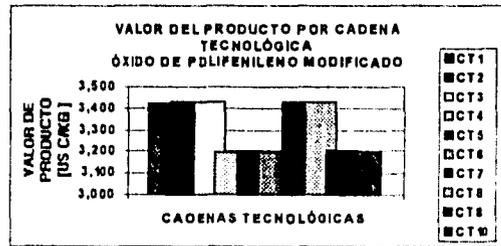
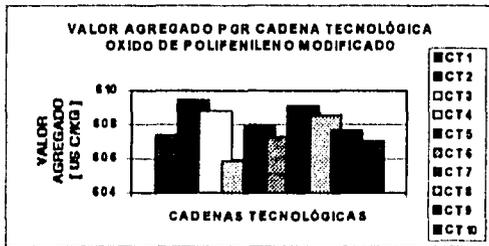
- Cadenas tecnológicas seleccionadas.

- 1 Cadena Tecnológica
- 2 Cadena Tecnológica

Óxido de Polifenileno modificado.

- Total de cadenas evaluadas: 10
- Cálculo de los Atributos.

Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor de Producto (c/kg)	3,426.36	3,431.15	3,429.62	3,195.41	3,200.19	3,198.67	3,430.84	3,429.31	3,199.88	3,188.36
Valor Agregado (c/kg)	607.34	609.40	608.80	605.83	607.89	607.28	609.15	608.55	607.64	607.03
Servicios (c/kg)	43.34	44.37	43.90	43.22	44.25	43.76	43.74	43.27	43.62	43.15
Materias Primas (c/kg)	72.22	70.17	70.17	62.69	60.64	60.64	70.37	70.37	60.84	60.84



- Cálculo de la media y de la desviación estándar.

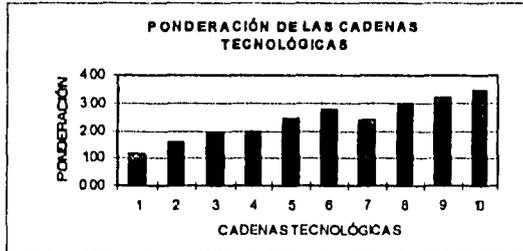
Atributo	M	S
Valor de Producto	3,313.98	121.74
Valor Agregado	607.89	1.10
Servicios	43.66	0.42
Materias Primas	65.89	5.09

• Calificaciones de las cadenas.

Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor Agregado	4	4	5	2	3	5	1	2	4	1
Valor de Producto	1	2	1	4	4	2	3	4	1	5
Materias Primas	1	1	2	3	3	4	5	5	3	3
Servicios	1	2	3	1	2	2	4	1	5	3

• Ponderación de las cadenas.

Cadena tecnológica	Peso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor Agregado	40	1.60	1.60	2.00	0.80	1.20	2.00	0.40	0.80	1.60	0.40
Valor de Producto	25	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50
Materias Primas	20	0.80	0.80	1.00	0.40	0.60	1.00	0.20	0.40	0.80	0.20
Servicios	15	0.15	0.30	0.15	0.60	0.60	0.30	0.45	0.60	0.15	0.75
Total	100	1.20	1.60	1.90	2.00	2.45	2.80	2.40	3.00	3.20	3.45



• Cadenas tecnológicas seleccionadas.

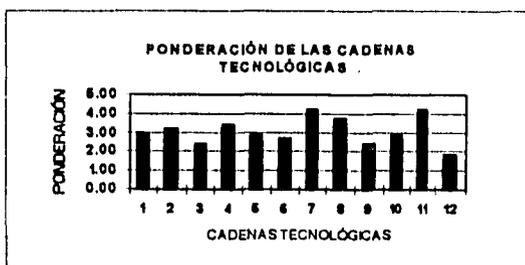
- 5 Cadena Tecnológica
- 6 Cadena Tecnológica
- 7 Cadena Tecnológica
- 8 Cadena Tecnológica
- 9 Cadena Tecnológica
- 10 Cadena Tecnológica

Resultados de la Optimización de Recursos Financieros.

Tereftalato de Polietileno.

- Total de cadenas evaluadas: 12
- Ponderación de las cadenas.

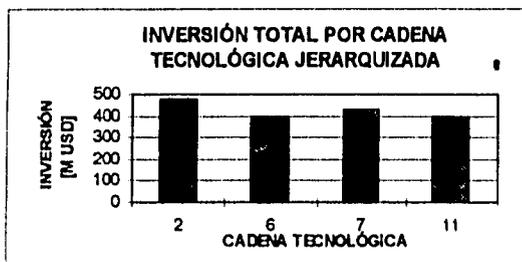
Cadena tecnológica	Peso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Valor Agregado	40	1.60	1.60	0.40	1.60	1.60	0.40	1.60	1.60	0.80	1.60	1.60	0.40
Valor de Producto	25	0.75	1.25	1.00	0.50	0.25	1.25	1.00	1.00	0.25	0.25	1.00	0.50
Materias Primas	20	0.20	0.20	0.40	0.60	0.60	0.80	1.00	1.00	0.60	0.60	1.00	0.80
Servicios	15	0.45	0.15	0.60	0.75	0.45	0.30	0.60	0.15	0.75	0.45	0.60	0.15
Total	100	1.40	1.60	2.00	1.85	1.30	2.35	2.60	2.15	1.60	1.30	2.80	1.45



- Cadenas tecnológicas seleccionadas.
 - 2 Cadena Tecnológica
 - 6 Cadena Tecnológica
 - 7 Cadena Tecnológica
 - 11 Cadena Tecnológica

- Inversión Total por Cadena Tecnológica.

Cadena	Inversión MUSD
2	480
6	396
7	435
11	396



- Cadenas Tecnológicas optimizadas tomando en consideración el capital disponible.

Inversión MUSD	Cadenas Seleccionadas
396	11
435	11
480	11
792	11 y 6
960	11 y 7

Capítulo VI

Prospectiva de los Plásticos de Ingeniería

A manera de introducción, para arribar a la prospectiva que deseamos establecer para los Plásticos de Ingeniería, situaremos el alcance del análisis realizado dentro del contexto de los tipos de estudios que se puedan llevar a cabo cuando se considera un proyecto de inversión (o varios). Remarcaremos la importancia que tiene la metodología propuesta, así como las respuestas obtenidas dentro del ámbito de los Pl's considerados, y más aún buscaremos establecer claros lineamientos para dicha prospectiva de este sector tan importante de la IPQ.

Ciclo de los proyectos de Inversión y características de estudios de Inversión

El desarrollo de un proyecto Industrial de Inversión a partir de la Idea Inicial hasta que la planta se encuentra en operación puede mostrarse en forma de un círculo que comprende tres grandes fases: la fase de pre-inversión, la de Inversión y la de operación (ver figura 6.1). Cada una de ellas se puede dividir en dos etapas más, las cuales involucran importantes actividades de consultoría, Ingeniería así como industriales.

Varias actividades paralelas toman lugar dentro de la fase de pre-inversión que inclusive se traslapan en la siguiente etapa de Inversión. Así pues, una vez que un *estudio de oportunidad* (donde se sitúa nuestra metodología de análisis) ha producido algunas indicaciones de la viabilidad de un proyecto, la promoción de la inversión y una planeación de implementación se deben iniciar, dejando el principal esfuerzo, sin embargo, a la estimación de Inversión y a la fase de Inversión.

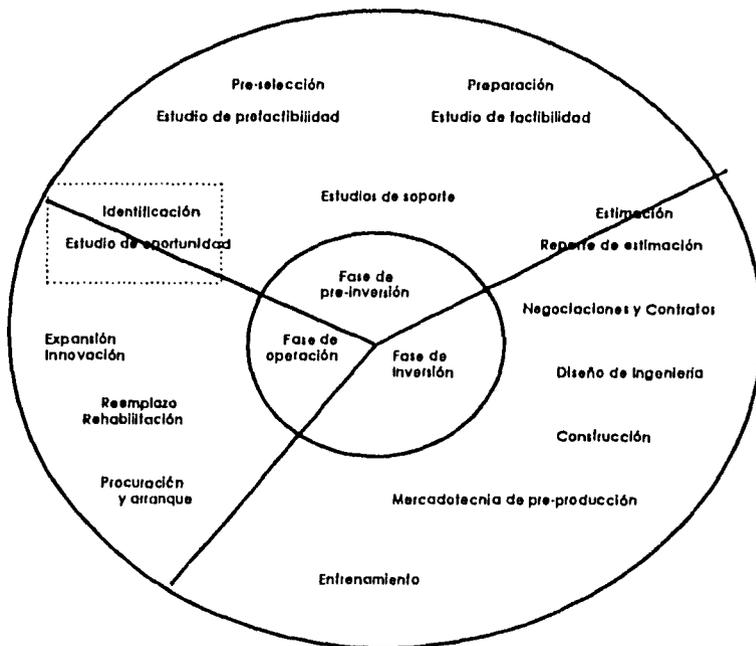


Figura 6.1

Para reducir el gasto de los escasos recursos, una clara comprensión de la secuencia de eventos se requiere cuando se desarrollen proposiciones de inversión a partir de la etapa conceptual y posteriormente la promoción activa de esfuerzos en la etapa operacional. Es también importante entender el rol que deben jugar los diferentes actores tales como inversionistas, agentes promocionales, bancos comerciales, instituciones de desarrollo financiero, proveedores de equipo, agencias de seguros, de crédito exportador y firmas de consultoría.

Por lo tanto, nuestro interés se ha centrado sólo en una parte de este ciclo de los proyectos de inversión, la cual ubicaremos más adecuadamente y dejaremos el resto de las fases para estudios más profundos [19, ss].

La fase de pre-inversión

Comprende varias etapas: identificación de las oportunidades de inversión (estudios de oportunidad); análisis de alternativas de proyectos y selección preliminar de los mismos; preparación (estudios de prefactibilidad y factibilidad); estimación y decisiones de inversión (reporte de estimación). Los estudios de soporte y funcionales son también una parte de la etapa de preparación de proyectos y son usualmente conducidas en forma separada, para más tarde incorporarlas en los estudios de prefactibilidad y factibilidad, apropiadamente. El desarrollo de un proyecto a través de varias etapas también facilita la promoción de inversiones y provee una mejor base para la decisión de proyectos y la implementación, haciendo los procesos más transparentes.

La división de fase de pre-inversión en etapas, evita proceder directamente desde la idea original al estudio de factibilidad sin examinar dicha idea paso por paso y sin ser capaz de presentar soluciones alternativas, como es el caso del Método ELECTRA [20], que permite proponer en un mismo nivel de decisión a diversas propuestas tecnológicas para después sujetarlas a calificaciones por medio de atributos y más aún a restricciones que pueden ser de tipo presupuestal, que en nuestros días son determinantes.

Esto permite también evitar excesivos estudios superfluos de factibilidad que podrían presumiblemente tener alguna oportunidad de alcanzar una etapa de inversión. Finalmente asegura que la estimación económica del proyecto por instituciones de financiamiento nacional o internacional sea fácil con estudios mejor preparados.

Estudios de Oportunidad

Específicamente en el caso de estos estudios, la identificación de oportunidades de inversión es el punto de partida para una serie de actividades de inversión relacionadas. Debe ser el comienzo de la movilización de fondos de inversión. Identificar inversionistas potenciales, privados o públicos, de países en desarrollo o en vías que se encuentran interesados en obtener información de nuevas oportunidades de inversión es una tarea importante en esta etapa. Para generar esta información, existirá un acercamiento entre el determinado sector de estudio y las empresas proveedoras de bienes y servicios relacionados para la identificación de un proyecto de inversión, así como el análisis de las posibles alternativas que lo puedan llevar a cabo.

Dicho acercamiento tiene dos dimensiones. En el nivel del sector, se requerirá de un análisis del potencial total de inversión en los países en vías de desarrollo y el interés general de los países desarrollados para abordar dicha inversión en países en vías de desarrollo. A nivel de empresas, se necesitará tanto de la identificación específica de los requerimientos de inversión, como de promotores individuales de proyectos en ambos tipos de países.

El principal instrumento utilizado para cuantificar los parámetros, información y datos requeridos para el desarrollo de la idea de proyecto en una proposición es entonces el estudio de oportunidad, el cual de alguna manera deberá contemplar los siguientes elementos:

- Los recursos naturales con potencial para ser procesados y manufacturados en el proyecto de inversión.
- La demanda futura por ciertos bienes de consumo que tengan potencial de crecimiento, como el resultado del incremento de la población o del poder de compra o bien, nuevos bienes desarrollados.
- Importaciones, en orden de identificar área de sustitución.
- Impacto ecológico.
- Sectores manufactureros con éxito en otros países con situación económica similar y niveles de desarrollo, capital, mano de obra y recursos naturales semejantes.
- Posible interrelación con otras industrias, naturales o transnacionales.
- Extensión posible de líneas existentes de manufactura mediante integración "hacia adelante" o "hacia atrás", conexiones por ejemplo en el caso de la IPQ.
- Posibilidades de diversificación (i.e. la incidencia de un complejo petroquímico; en la industria farmacéutica).

- Posibilidades de expansión en la capacidad industrial que se relacionen a economías de escala.
- El clima general de inversión.
- Políticas de inversión.
- Disponibilidad y costo de factores de producción.
- Posibilidades de exportación.

Estos estudios de oportunidad son de naturaleza simplemente esquemática y se fundamentan más en estimaciones que en un análisis más detallado. Los datos de costo se toman usualmente a partir de proyectos existentes comparables y no de precisiones en precios por parte de proveedores de equipo y servicios.

En el caso específico de la metodología propuesta, nuestro interés fundamental es lograr un abanico de oportunidades lo más amplia posible dentro del sector de los Plásticos de Ingeniería, inclusive antes de considerar a fondo toda la información necesaria de todas y cada una de las tecnologías para poder ser llevadas a cabo. Se requiere esencialmente de todos aquellos datos específicos que aporten información a los atributos que se desean poner a "competir" para así calificar a todas las alternativas y obtener a la(las) oportunidad(es) más "sobrecalificadas" de cada proceso.

Para dejar claro el alcance de los estudios de oportunidad, que derivarán más adelante en estudios de prefactibilidad o factibilidad, que ya son estudios en forma de un proyecto de inversión, la siguiente etapa complementaria es la de los estudios de soporte, los cuales constan de las características que a continuación se describen.

Estudios de soporte (o funcionales)

Estos estudios cubren aspectos específicos de un proyecto de inversión y son necesarios como prerrequisito para soportar estudios de prefactibilidad o factibilidad, particularmente en propuestas de inversión de gran escala.

Los aspectos que se tienen que cubrir en dichos estudios son:

- Estudios de mercado de los productos a ser manufacturados, incluyendo proyecciones de la demanda en el mercado a cubrir así como proyecciones para la penetración del mismo.
- Estudio de materias primas e insumos básicos necesarios, cubriéndose la disponibilidad actual como la proyectada a futuro, asimismo los precios actuales y las tendencias de dichas materias primas e insumos.
- Pruebas de laboratorio y planta piloto, las cuales deberán de realizarse tanto como sea necesario para determinar el consumo de determinadas materias primas o productos.
- Estudios de localización, particularmente en proyectos de fuerte potencial en los cuales los costos de transporte se pueden convertir en un factor determinante.
- Estudio de impacto ambiental, los cuales cubran las actuales condiciones ambientales en el área circunvecina (emisiones actuales y potencial de transporte de los mismos a largo alcance), tecnologías de baja emisión o de protección ambiental, lugares alternativos, materias primas alternativas o auxiliares. Un estudio ambiental deberá ser realizado particularmente para los proyectos que involucren, por ejemplo, plantas químicas, papel y celulosa, refinerías de petróleo, industrias procesadoras de fierro y acero, etc.
- Estudios de economía de escala, los cuales son generalmente realizados dentro de los estudios de selección de tecnología. Estos están comisionados principalmente cuando varias tecnologías, y tamaños de mercado están involucrados. El principal objetivo de estos estudios es obtener el tamaño adecuado de la planta más económico después de considerar varias alternativas tecnológicas, costos de inversión, de producción y precios. Se analizan varias capacidades de plantas, incluyendo un cómputo de los resultados para cada capacidad.
- Estudios de selección de equipo los cuales se requieren especialmente para plantas de gran tamaño con numerosas divisiones, donde las fuentes de suministro y los costos también son muy divergentes. La procuración de equipo, incluyendo la preparación e invitación para concursos, su evaluación, contrato y entrega, se llevan a cabo normalmente en las etapas de inversión o implementación.

Los contenidos de un estudio de soporte varían, dependiendo del tipo y de la naturaleza del proyecto. Sin embargo, es una parte vital del desarrollo de un proyecto, las conclusiones del mismo deberán ser lo suficientemente claras para dar una dirección a la fase subsecuente de preparación del proyecto.

Proyecciones para el consumo futuro de los Plásticos de Ingeniería.

A partir de los datos reportados en la literatura [10, 11, 15] que se consideraron en el capítulo I, nuestro análisis de prospectiva establecerá la proyección de la demanda para el año 2005 para los Plásticos de Ingeniería considerados y para los principales mercados mundiales.

En base a los datos recopilados [15] también estableceremos una proyección de la demanda para el año 2005. Así entonces veremos claramente como será la tendencia del objeto de nuestro estudio, pues lo que debe resultar más interesante para los inversionistas es que dichos productos sean consumidos y que dicho consumo justifique la inversión en las tecnologías seleccionadas por la Metodología para los atributos considerados e inclusive para las restricciones impuestas y más aún que ese crecimiento de la demanda se muestre como sostenido.

Para establecer el dato de la demanda en 2005, partimos del dato último de demanda de cada país y establecemos la misma relación matemática que para la "Tasa media anual de crecimiento de la demanda":

$$\text{Demanda } 2005 = \{(\text{Demanda año base})^{(tmac)^n}\}$$

donde: $tmac$: tasa media anual de crecimiento de la demanda
 n : número de años de proyección

De todo lo anterior tenemos:

PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE POLIACETALES
 AÑO 2005

PAÍS	% DE LA DEMANDA MUNDIAL	DEMANDA [1.000 TON.]
E.U.A.	25 %	165.90
EUROPA OCCIDENTAL	31 %	203.53
JAPÓN	44 %	284.16
TOTAL		653.59

PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE LAS POLIAMIDAS

AÑO 2005

PAÍS	% DE LA DEMANDA MUNDIAL	DEMANDA [1.000 TON.]
E.U.A.	32 %	503.04
EUROPA OCCIDENTAL	51 %	801.72
JAPÓN	17 %	267.24
TOTAL		1.572.00

PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DEL POLICARBONATO

AÑO 2005

PAÍS	% DE LA DEMANDA MUNDIAL	DEMANDA [1.000 TON.]
E.U.A.	54 %	762.48
EUROPA OCCIDENTAL	35 %	494.20
JAPÓN	11 %	155.32
TOTAL		1.412.00

PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DEL LOS POLIÉSTERES

AÑO 2005

PAÍS	% DE LA DEMANDA MUNDIAL	DEMANDA [1.000 TON.]
E.U.A.	33 %	665.94
EUROPA OCCIDENTAL	33 %	665.94
JAPÓN	33 %	665.94
TOTAL		2.018.00

PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DEL ÓXIDO DE POLIFENILENO

PAÍS	AÑO 2005	
	% DE LA DEMANDA MUNDIAL	DEMANDA [1.000 TON.]
E.U.A.	45 %	314.10
EUROPA OCCIDENTAL	25 %	174.50
JAPÓN	30 %	209.40
TOTAL		698.00

En el caso de México tenemos [11, 12]:

PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE POLIACETALES

AÑO 2005
DEMANDA [1.000 TON.]
7.90

PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE LAS POLIAMIDAS

AÑO 2005
DEMANDA [1.000 TON.]
58.67

PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DEL POLICARBONATO

AÑO 2005
DEMANDA [1.000 TON.]
24.57

PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE LOS POLIÉSTERES

AÑO 2005

DEMANDA [1.000 TON.]

469.05

PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DEL ÓXIDO DE POLIFENILENO

AÑO 2005

DEMANDA [1.000 TON.]

31.41³⁵

³⁵ Se considera como un 10% del consumo previsto para los E.U.A.

Conclusiones sobre la aplicación de la metodología ELECTRA para la
Planeación Estratégica de los Plásticos de Ingeniería.

La tabla que se presenta a continuación, contiene la descripción de las cadenas tecnológicas (CT) que fueron seleccionadas utilizando la metodología ELECTRA descrita en el Capítulo IV. Se presenta también, el total de cadenas evaluadas y el número de cadenas seleccionadas. Cada tecnología involucrada en las cadenas tecnológicas tiene un número consecutivo; el motivo de asignarles éste número es hacer más fácil su clasificación, el desglose de ésta numeración se encuentra definido en el Capítulo III .

Cabe señalar que, dentro de los comentarios de la siguiente tabla, para el caso de las plantas que constituirían los PQ básicos e intermedios, sólo hacemos referencia a aquellos que no se producen en México. En cambio para los que se producen, sólo se menciona que se producen y dada la complejidad característica de la IPQ, no es posible establecer un dato de capacidad total requerida, ya que en la mayoría de los casos, éstos productos básicos e intermedios sirven de materia prima a otros que no están considerados en ésta tesis.

Plástico de Ingeniería	Total de CT	CT Seleccionadas	Descripción de las Cadenas Tecnológicas Seleccionadas	Comentarios
<u>Copolímero Acetal</u>	2	1	<p><u>Cadena Tecnológica 1:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Copolímero Acetal a partir de Metanol y Óxido de Etileno. (Tecnología Número: 1/1) Óxido de Etileno a partir de Etileno y Catalizador. (Tecnología Número: 1/2) 	Se requiere construir planta de 15,000 Ton/Año. Actualmente se produce.
<u>Homopolímero Acetal</u>	10	2	<p><u>Cadena Tecnológica 4:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Homopolímero Acetal a partir de Metanol y Anhídrido Acético. (Tecnología Número: 1/1) Anhídrido Acético a partir de Metanol, Ácido Acético y Monóxido de Carbono. (Tecnología Número: 4/4) Ácido Acético a partir de Etileno, Oxígeno de alto uso y catalizador. (Tecnología Número: 1/3) <p><u>Cadena Tecnológica 9:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Homopolímero Acetal a partir de Metanol y Anhídrido Acético. (Tecnología Número: 1/1) Anhídrido Acético a partir de Metanol, Ácido Acético y Monóxido de Carbono. (Tecnología Número: 4/4) Ácido Acético a partir de Metanol, Monóxido de Carbono y catalizador. (Tecnología Número: 2/3) 	<p>Se requiere construir planta de 15,000 Ton/Año. Actualmente se produce.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta de 15,000 Ton/Año. Actualmente se produce.</p> <p>Actualmente se produce.</p>

Plástica de Ingeniería	Total de CT	CT Seleccionadas	Descripción de las Cadenas Tecnológicas Seleccionadas	Comentarios
<u>Nylon 6 (Chips)</u>	6	2	<p><u>Cadena Tecnológica 5:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Nylon 6 a partir de Caprolactama. (Tecnología Número: 1/1) • Caprolactama a partir de Ciclohexano, Amoníaco y Oleum. (Tecnología Número: 5/5) • Ciclohexano a partir de Benceno e Hidrógeno. (Tecnología Número: 1/1) <p><u>Cadena Tecnológica 6:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Nylon 6 a partir de Caprolactama. (Tecnología Número: 1/1) • Caprolactama a partir de Fenol, Amoníaco y Oleum. (Tecnología Número: 4/5) • Fenol a partir de Cumeno. (Tecnología Número: 2/2) • Cumeno a partir de Benceno y Propileno grado químico. (Tecnología Número: 1/1) 	<p>Actualmente se produce.</p>
<u>Nylon 6 (Fundido)</u>	6	2	<p><u>Cadena Tecnológica 5:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Nylon 6 a partir de Caprolactama. (Tecnología Número: 1/1) • Caprolactama a partir de Ciclohexano, Amoníaco y Oleum. (Tecnología Número: 5/5) • Ciclohexano a partir de Benceno e Hidrógeno. (Tecnología Número: 1/1) <p><u>Cadena Tecnológica 6:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Nylon 6 a partir de Caprolactama. (Tecnología Número: 1/1) • Caprolactama a partir de Fenol, Amoníaco y Oleum. (Tecnología Número: 4/5) • Fenol a partir de Cumeno. (Tecnología Número: 2/2) • Cumeno a partir de Benceno y Propileno grado químico. (Tecnología Número: 1/1) 	<p>Actualmente se produce.</p>

Plástico de Ingeniería	Total de CT	CT Seleccionadas	Descripción de las Cadenas Tecnológicas Seleccionadas	Comentarios
Nylon 6,6	6	3	<p><u>Cadena Tecnológica 3:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Nylon 6,6 a partir de Ácido Adípico y Hexametiléndiamina. (Tecnología Número: 1/1) Ácido Adípico a partir de Fenol. (Tecnología Número: 2/2) Hexametiléndiamina a partir de Ácido Adípico y Amoníaco. (Tecnología Número: 1/2) Fenol a partir de Benceno y Propileno grado químico. (Tecnología Número: 1/2) <p><u>Cadena Tecnológica 5:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Nylon 6,6 a partir de Ácido Adípico y Hexametiléndiamina. (Tecnología Número: 1/1) Ácido Adípico a partir de Fenol. (Tecnología Número: 2/2) Hexametiléndiamina a partir de Ácido Adípico y Amoníaco. (Tecnología Número: 1/2) Fenol a partir de Benceno y Propileno grado químico. (Tecnología Número: 1/2) <p><u>Cadena Tecnológica 6:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Nylon 6,6 a partir de Ácido Adípico y Hexametiléndiamina. (Tecnología Número: 1/1) Ácido Adípico a partir de Fenol. (Tecnología Número: 2/2) Hexametiléndiamina a partir de Ácido Adípico y Amoníaco. (Tecnología Número: 1/2) Fenol a partir de Cumeno. (Tecnología Número: 2/2) Cumeno a partir de Benceno y Propileno grado químico. (Tecnología Número: 1/1) 	<p>Se requiere construir planta de 25,000 Ton/Año. Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta de 25,000 Ton/Año. Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta de 25,000 Ton/Año. Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Actualmente se produce.</p>

Plástico de Ingeniería	Total de CT	CT Seleccionadas	Descripción de las Cadenas Tecnológicas Seleccionadas	Comentarios
Policarbonato	12	5	<p>Cadena Tecnológica 3:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Policarbonato a partir de Bisfenol A, Fenol y Fósgeno. (Tecnología Número: 3/3) • Bisfenol A a partir de Fenol y Acetona. (Tecnología Número: 1/1) • Fenol a partir de Benceno y Propileno grado químico. (Tecnología Número: 1/2) • Acetona a partir de Isopropanol. (Tecnología Número: 1/2) • Isopropanol a partir de Propileno grado químico. (Tecnología Número: 1/1) <p>Cadena Tecnológica 5:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Policarbonato a partir de Bisfenol A y Fósgeno. (Tecnología Número: 2/3) • Bisfenol A a partir de Fenol y Acetona. (Tecnología Número: 1/1) • Fenol a partir de Cumeno e Isopropanol. (Tecnología Número: 2/2) • Acetona a partir de Isopropanol. (Tecnología Número: 1/2) • Cumeno a partir de Benceno y Propileno grado químico. (Tecnología Número: 1/1) • Isopropanol a partir de Propileno grado químico. (Tecnología Número: 1/1) <p>Cadena Tecnológica 7:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Policarbonato a partir de Bisfenol A y Fósgeno. (Tecnología Número: 2/3) • Bisfenol A a partir de Fenol y Acetona. (Tecnología Número: 1/1) • Fenol a partir de Benceno y Propileno grado químico. (Tecnología Número: 1/2) • Acetona como co-producto en la obtención del fenol. (Tecnología Número: 2/2) <p>Cadena Tecnológica 9:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Policarbonato a partir de Bisfenol A y Fósgeno. (Tecnología Número: 2/3) 	<p>Se requiere construir planta de 10,000 Ton/Año Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta.</p> <p>Se requiere construir planta.</p> <p>Se requiere construir planta.</p> <p>Se requiere construir planta de 10,000 Ton/Año Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta.</p> <p>Se requiere construir planta de 25,000 Ton/Año Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta de 25,000 Ton/Año</p>

		<ul style="list-style-type: none"> • Bisfenol A a partir de Fenol y Acetona. (Tecnología Número: 1/1) • Fenol a partir de Cumeno e Isopropanol. (Tecnología Número: 2/2) • Acetona como co-producto en la obtención del fenol. (Tecnología Número: 2/2) • Cumeno a partir de Benceno y Propileno grado químico. (Tecnología Número 1/1) <p><u>Cadena Tecnológica 10:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Policarbonato a partir de Bisfenol A, Fenol y Fósgeno. (Tecnología Número: 3/3) • Bisfenol A a partir de Fenol y Acetona. (Tecnología Número: 1/1) • Fenol a partir de Cumeno e Isopropanol. (Tecnología Número: 2/2) • Acetona a partir de Isopropanol. (Tecnología Número: 1/2) • Cumeno a partir de Benceno y Propileno grado químico. (Tecnología Número 1/1) • Isopropanol a partir de Propileno grado químico. (Tecnología Número 1/1) 	<p>Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta de 10,000 Ton/Año</p> <p>Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta.</p>
--	--	--	--

Plástico de Ingeniería	Total de CT	CT Seleccionadas	Descripción de las Cadenas Tecnológicas Seleccionadas	Comentarios
<p><u>Tereftalato de Polibutileno extendido</u></p>	<p>7</p>	<p>4</p>	<p><u>Cadena Tecnológica 1:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • PBT a partir de Tereftalato de dimetilo y 1,4 - Butanodiol. (Tecnología Número: 1/1) • Tereftalato de dimetilo a partir de p-xileno y Metanol. (Tecnología Número: 1/1) • 1,4 - Butanodiol a partir de Acetileno y Formaldehído. (Tecnología Número: 1/3) • Formaldehído a partir de Metanol. (Tecnología Número: 1/2) <p><u>Cadena Tecnológica 3:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • PBT a partir de Tereftalato de dimetilo y 1,4 - Butanodiol. (Tecnología Número: 1/1) • Tereftalato de dimetilo a partir de p-xileno y Metanol. (Tecnología Número: 1/1) • 1,4 - Butanodiol a partir de Butadieno. (Tecnología Número: 3/3) <p><u>Cadena Tecnológica 4:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • PBT a partir de Tereftalato de dimetilo y 1,4 - Butanodiol. (Tecnología Número: 1/1) • Tereftalato de dimetilo a partir de p-xileno y Metanol. (Tecnología Número: 1/1) • 1,4 - Butanodiol a partir de Acetileno y Formaldehído. (Tecnología Número: 1/3) • Formaldehído a partir de Metanol. (Tecnología Número: 2/2) <p><u>Cadena Tecnológica 6:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • PBT a partir de Tereftalato de dimetilo y 1,4 - Butanodiol. (Tecnología Número: 1/1) • Tereftalato de dimetilo a partir de p-xileno y Metanol. (Tecnología Número: 1/1) • 1,4 - Butanodiol a partir de Óxido de Propileno y Gas de Síntesis 1:1. (Tecnología Número: 2/3) • Óxido de Propileno a partir Isobutano y Propileno grado químico. (Tecnología Número: 3/3) 	<p>Se requiere construir planta de 15,000 Ton/Año Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta de 15,000 Ton/Año Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta de 15,000 Ton/Año Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta.</p> <p>Se requiere construir planta.</p>

Plástica de Ingeniería	Total de CT	CT Seleccionadas	Descripción de las Cadenas Tecnológicas Seleccionadas	Comentarios
<p><u>Tereftalato de Polibutileno cristalizado extinguable</u></p>	<p>7</p>	<p>4</p>	<p><u>Cadena Tecnológica 1:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • PBT a partir de Tereftalato de dimetilo y 1,4 - Butanodiol. (Tecnología Número: 1/1) • Tereftalato de dimetilo a partir de p-xileno y Metanol. (Tecnología Número: 1/1) • 1,4 - Butanodiol a partir de Acetileno y Formaldehído. (Tecnología Número: 1/3) • Formaldehído a partir de Metanol. (Tecnología Número: 1/2) <p><u>Cadena Tecnológica 3:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • PBT a partir de Tereftalato de dimetilo y 1,4 - Butanodiol. (Tecnología Número: 1/1) • Tereftalato de dimetilo a partir de p-xileno y Metanol. (Tecnología Número: 1/1) • 1,4 - Butanodiol a partir de Butadieno. (Tecnología Número: 3/3) <p><u>Cadena Tecnológica 4:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • PBT a partir de Tereftalato de dimetilo y 1,4 - Butanodiol. (Tecnología Número: 1/1) • Tereftalato de dimetilo a partir de p-xileno y Metanol. (Tecnología Número: 1/1) • 1,4 - Butanodiol a partir de Acetileno y Formaldehído. (Tecnología Número: 1/3) • Formaldehído a partir de Metanol. (Tecnología Número: 2/2) <p><u>Cadena Tecnológica 6:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • PBT a partir de Tereftalato de dimetilo y 1,4 - Butanodiol. (Tecnología Número: 1/1) • Tereftalato de dimetilo a partir de p-xileno y Metanol. (Tecnología Número: 1/1) • 1,4 - Butanodiol a partir de Óxido de Propileno y Gas de Síntesis 1:1. (Tecnología Número: 2/3) • Óxido de Propileno a partir Isobutano y Propileno grado químico. (Tecnología Número: 3/3) 	<p>Se requiere construir planta de 15,000 Ton/Año Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta de 15,000 Ton/Año Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta de 15,000 Ton/Año Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta.</p> <p>Se requiere construir planta.</p>

Plástico de Ingeniería	Total de CT	CT Seleccionadas	Descripción de las Cadenas Tecnológicas Seleccionadas	Comentarios
<u>Tereftalato de Polietileno</u>	12	4	<p>Cadena Tecnológica 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PET a partir de Ácido Tereftálico y Etilénglicol. (Tecnología Número: 2/2) • Ácido Tereftálico a partir de p-xileno. (Tecnología Número: 1/1) • Etilénglicol a partir de Etileno y Oxígeno de alta uso. (Tecnología Número: 1/4) <p>Cadena Tecnológica 6:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PET a partir de Ácido Tereftálico y Etilénglicol. (Tecnología Número: 2/2) • Ácido Tereftálico a partir de p-xileno. (Tecnología Número: 1/1) • Etilénglicol a partir de Etileno y Oxígeno de alto uso. (Tecnología Número: 2/4) <p>Cadena Tecnológica 7:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PET a partir de Ácido Tereftálico y Etilénglicol. (Tecnología Número: 2/2) • Ácido Tereftálico a partir de p-xileno. (Tecnología Número: 1/1) • Etilénglicol a partir de Óxido de Etileno y catalizador. (Tecnología Número: 3/4) • Óxido de Etileno a partir de Etileno y catalizador. (Tecnología Número: 1/2) <p>Cadena Tecnológica 11:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PET a partir de Ácido Tereftálico y Etilénglicol. (Tecnología Número: 2/2) • Ácido Tereftálico a partir de p-xileno. (Tecnología Número: 1/1) • Etilénglicol a partir de Óxido de Etileno y catalizador. (Tecnología Número: 3/4) • Óxido de Etileno a partir de Etileno y Oxígeno de alto uso. (Tecnología Número: 2/2) 	<p>Actualmente se produce.</p>

Plástico de Ingeniería	Total de CT	CT Seleccionadas	Descripción de las Cadenas Tecnológicas Seleccionadas	Comentarios
<u>Oxido de Polifenileno</u>	2	2	<p><u>Cadena Tecnológica 1:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • OP a partir de 2,6-dimetilfenol. (Tecnología Número: 1/1) • 2,6-dimetilfenol a partir de Fenol y Metanol. (Tecnología Número: 1/1) • Fenol a partir de Benceno y Propileno grado químico. (Tecnología Número: 1/2) <p><u>Cadena Tecnológica 2:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • OP a partir de 2,6-dimetilfenol. (Tecnología Número: 1/1) • 2,6-dimetilfenol a partir de Fenol y Metanol. (Tecnología Número: 1/1) • Fenol a partir de Cumeno. (Tecnología Número: 1/2) • Cumeno a partir de Benceno y Propileno grado químico. (Tecnología Número: 1/1) 	<p>Se requiere construir planta de 20,000 Ton/Año Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta de 20,000 Ton/Año Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Actualmente se produce.</p>

Plástico de Ingeniería	Total de CT	CT Seleccionadas	Descripción de las Cadenas Tecnológicas Seleccionadas	Comentarios
<u>Oxido de Polifenileno modificado</u>	10	6	<p><u>Cadena Tecnológica 5:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • OPM a partir de OP y Poliestireno de alto impacto. (Tecnología Número: 1/1) • OP a partir de 2,6-dimetilfenol. (Tecnología Número: 1/1) • Poliestireno de alto impacto a partir de Estireno. (Tecnología Número 1/1) • 2,6-dimetilfenol a partir de Fenol y Metanol. (Tecnología Número: 1/1) • Estireno a partir de Etilbenceno. (Tecnología Número: 2/3) • Fenol a partir de Cumeno. (Tecnología Número: 2/2) • Etilbenceno a partir de Benceno y Etileno. (Tecnología Número: 1/2) • Cumeno a partir de Benceno y Propileno grado químico. (Tecnología Número: 1/1) <p><u>Cadena Tecnológica 6:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • OPM a partir de OP y Poliestireno de alto impacto. (Tecnología Número: 1/1) • OP a partir de 2,6-dimetilfenol. (Tecnología Número: 1/1) • Poliestireno de alto impacto a partir de Estireno. (Tecnología Número 1/1) • 2,6-dimetilfenol a partir de Fenol y Metanol. (Tecnología Número: 1/1) • Estireno a partir de Etilbenceno. (Tecnología Número: 3/3) • Fenol a partir de Cumeno. (Tecnología Número: 2/2) • Etilbenceno a partir de Benceno y Etileno. (Tecnología Número: 1/2) • Cumeno a partir de Benceno y Propileno grado químico. (Tecnología Número: 1/1) 	<p>Se requiere construir planta de 40,000 Ton/Año Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta de 40,000 Ton/Año Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Actualmente se produce.</p>

		<p>Cadena Tecnológica 7:</p> <ul style="list-style-type: none"> • OPM a partir de OP y Poliestireno de alto impacto. (Tecnología Número: 1/1) • OP a partir de 2,6-dimetilfenol. (Tecnología Número: 1/1) • Poliestireno de alto Impacto a partir de Estireno. (Tecnología Número 1/1) • 2,6-dimetilfenol a partir de fenol y Metanol. (Tecnología Número: 1/1) • Estireno a partir de Etilbenceno. (Tecnología Número: 2/3) • Fenol a partir de Benceno y Propileno grado químico. (Tecnología Número: 1/2) • Etilbenceno a partir de Benceno y Etileno. (Tecnología Número: 2/2) <p>Cadena Tecnológica 8:</p> <ul style="list-style-type: none"> • OPM a partir de OP y Poliestireno de alto impacto. (Tecnología Número: 1/1) • OP a partir de 2,6-dimetilfenol. (Tecnología Número: 1/1) • Poliestireno de alto Impacto a partir de Estireno. (Tecnología Número 1/1) • 2,6-dimetilfenol a partir de fenol y Metanol. (Tecnología Número: 1/1) • Estireno a partir de Etilbenceno. (Tecnología Número: 3/3) • Fenol a partir de Benceno y Propileno grado químico. (Tecnología Número: 1/2) • Etilbenceno a partir de Benceno y Etileno. (Tecnología Número: 2/2) <p>Cadena Tecnológica 9:</p> <ul style="list-style-type: none"> • OPM a partir de OP y Poliestireno de alto impacto. (Tecnología Número: 1/1) • OP a partir de 2,6-dimetilfenol. (Tecnología Número: 1/1) • Poliestireno de alto Impacto a partir de Estireno. (Tecnología Número 1/1) • 2,6-dimetilfenol a partir de Fenol y Metanol. (Tecnología Número: 1/1) • Estireno a partir de Etilbenceno. (Tecnología Número: 2/3) 	<p>Se requiere construir planta de 40,000 Ton/Año Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta de 40,000 Ton/Año Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta de 40,000 Ton/Año Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p>
--	--	--	---

		<ul style="list-style-type: none"> • Fenol a partir de Cumeno. (Tecnología Número: 2/2) • Etilbenceno a partir de Benceno y Etileno. (Tecnología Número: 2/2) • Cumeno a partir de Benceno y Propileno grado químico. (Tecnología Número: 1/1) 	<p>Actualmente se produce.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Actualmente se produce.</p>
		<p>Cadena Tecnológica 10:</p> <ul style="list-style-type: none"> • OPM a partir de OP y Poliestireno de alto Impacto. (Tecnología Número: 1/1) • OP a partir de 2,6-dimetilfenol. (Tecnología Número: 1/1) • Poliestireno de alto impacto a partir de Estireno. (Tecnología Número 1/1) • 2,6-dimetilfenol a partir de Fenol y Metanol. (Tecnología Número: 1/1) • Estireno a partir de Etilbenceno. (Tecnología Número: 3/3) • Fenol a partir de Cumeno. (Tecnología Número: 2/2) • Etilbenceno a partir de Benceno y Etileno. (Tecnología Número: 2/2) • Cumeno a partir de Benceno y Propileno grado químico. (Tecnología Número: 1/1) 	<p>Se requiere construir planta de 40.000 Ton/Año Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Se requiere construir planta.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Actualmente se produce.</p> <p>Actualmente se produce.</p>

Conclusiones Generales.

Los plásticos de mayor consumo mundial son en orden de importancia: los poliésteres de ingeniería (PET y PBT), las poliamidas (Nylon 6 y 6.6), el policarbonato, las aleaciones de óxido de polifenileno (modificado inclusive) y los poliacetales.

Se esperan altas tasas de crecimiento para el consumo mundial de los PI mencionados, 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 son: las mezclas y aleaciones como las de resinas de óxido y éter de polifenileno, las mezclas ABS con materiales como el PVC, el policarbonato y los derivados del anhídrido maléico; las de policarbonato con el propio ABS, los poliésteres de ingeniería, por ejemplo.

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 al menos 20 mil y 25 mil Ton/año.

Las ventajas para llevar a cabo un proyecto de Inversión en PI se enlistan a continuación:

- Cercanía del mercado más grande del mundo = perspectivas de exportación.
- Mano de obra barata en el País.
- Implementación de nuevas aplicaciones específicas para el mercado nacional.
- Amplias posibilidades de integración horizontal y vertical de la cadena productiva a largo plazo.

Los PI de mayor consumo a mediana plazo en el país seguirán las mismas tendencias mundiales y serán los poliésteres (PET y PBT), las poliamidas, el policarbonato, el óxido de polifenileno modificada y por último las poliacetales seguidas de las aleaciones y mezclas de otras resinas.

El respaldo, apoyo y prestigio de las compañías tecnologistas, se considera un punto muy importante para lograr el éxito de una probable empresa nacional; por ejemplo, el caso del riesgo compartido "joint venture".

Las líneas de investigación y desarrollo dentro de este campo que se recomienda apoyar, deben orientarse primordialmente a las siguientes áreas:

Materias primas	Equipo
Nuevos productos	Aditivos

De los resultados condensados en el cuadro del Capítulo VI del cálculo del Valor Agregado, Valor del Producto, Costo de las materias primas y de los Servicios para cada una de las cinco familias de Plásticas de Ingeniería, así como de los 11 productos finales analizadas, en los que se empleó la Metodología ELECTRA se resumen las siguientes conclusiones, consideraciones y recomendaciones:

Conclusiones y Consideraciones

- Todas las familias del Plásticos de Ingeniería presentan grandes ventajas para su utilización a futuro tanto a nivel mundial como en nuestro país.
- De los datos arrojados del análisis de la demanda se entiende obviamente que el grupo de los poliésteres (principalmente el PET y el PBT) tendrán un fuerte consumo, dentro de los mercados existentes e inclusive buscando nuevas aplicaciones y hasta reforzamientos con otros tipos de plásticos.
- Muchos de los plásticos estudiados en esta tesis aún no se producen en México. Los que se llegan a producir se hacen en volúmenes que acaso contemplan el mercado nacional.
- El principal objetivo de esta tesis es demostrar bien la metodología propuesta (estudio y análisis de oportunidades de Inversión). La posibilidad de reestructurar y/o de armonizar el desarrollo de la IPQ mexicana, reconociendo un mercado que se muestra como atractivo tanto en un continente como en un mundo de mercados mas interrelacionados.
- Se recalca que la metodología utiliza una serie de factores seleccionados con anticipación y mas aún calificados y ponderados por el mismo ejecutor del análisis (o bien un grupo de expertos). Esto sienta las bases para que, dentro de un universo de posibilidades de inversión se determine bajo ciertos factores y restricciones, hacia donde se debe dirigir los esfuerzos de estudios de prefactibilidad y factibilidad.
- Como se mencionó en la justificación de esta tesis, la IPQ es una red compleja de interrelaciones entre diferentes materias primas y productos finales, así pues demostramos también sobre cuales rutas tecnológicas de determinadas materias primas, se puede planear estratégicamente un desarrollo mas armónico. Este mismo tipo de análisis se debe hacer extensivo a otras series de productos finales, arrojando mas conclusiones sobre las cadenas de productos debemos prestar atención.

- Se debe tener en cuenta que el principal factor considerado en esta tesis para cada uno de los productos finales fue el cálculo y el resultado del Valor Agregado de los mismos. El establecer como prioritario este valor atendió a las siguientes razones: se dá mayor importancia a la integración de todos y cada uno de los productos y materias primas involucrados (dando esto lineamientos para posibles "joint ventures"), se aprecia mas claramente como todas las materias primas y productos influyen sobre el valor final de un producto, se establecen una enorme serie de alternativas que pueden contemplar inclusive algunas no utilizadas en nuestro país con mejores resultados.

Recomendaciones

- El objeto de nuestro estudio fueron solamente aquellas cadenas tecnológicas que reportan los datos de consumo mas altos en los tres principales mercados mundiales, sin embargo dichas metodología y análisis se puede y debe hacerse extenso a otros tipos de plásticos y a otros tipos de productos. Las conclusiones arrojadas de todos estos subgrupos podrían interrelacionarse y obtener así conclusiones cada vez mas globales y a la vez mas específicas.
- La metodología desarrollada carece de un formato único de elaboración. Se contó con una base de datos propia de éste sector de la IPQ y se desarrollaron tanto un programa en lenguaje FORTRAN como una rutina en hoja de cálculo Excel. Todo lo anterior es posible programarlo dentro de un programa de hojas de cálculo y ser utilizado para cualquier aplicación desde cualquier computadora personal.
- Queda abierto a los profesionales dedicados a la Investigación y Desarrollo de procesos químicos el mejorar mucho mas cada uno de los procesos seleccionados por la presente metodología. Estas mejoras no se contemplaron ni se contemplarían en un análisis como el propuesto. Sería muy enriquecedor si el grupo mencionado de expertos incluyera cualquier mejora a todos y cada uno de los procesos para hacer cada vez mas restrictivo el proceso de selección, y así obtener realmente las tecnologías mas importantes.

TESIS SIN PAGINACION

COMPLETA LA INFORMACION

Anexos

En el presente anexa, se muestran tablas que resumen los cálculos para la estimación de los costos de producción y del valor agregado por cadena tecnológica.

Estas tablas se encuentran organizadas de la siguiente manera:

La primer tabla muestra los Costos de las Material Primas y los Servicios, el Valor del Producto y el Valor Agregado por producto final.

La segunda tabla muestra los valores de la media y de la desviación estándar para cada uno de los parámetros antes mencionados con la finalidad de asignarles las calificaciones utilizadas por el método ELECTRA, para esto, se optó por el método de calcular la media y la desviación estándar de cada atributo y así generar cinco intervalos al sumar a restar múltiplos de la desviación estándar a la media.

Anexos

En la tercera tabla se muestran los intervalos y las calificaciones correspondientes para cada uno de los atributos teniendo como objetivo maximizar el Valor Agregado y minimizar el Valor del Producto, los Costos de las Material Primas y los Servicios.

En la cuarta tabla se anotan las calificaciones asignadas a las Cadenas Tecnológicas tomando como base los criterios antes mencionados.

En la quinta tabla se muestran las calificaciones ponderadas para cada uno de los atributos por Cadena Tecnológica teniendo en cuenta el peso (grado de preferencia) asignado a cada atributo.

El sistema computacional calcula los parámetros anteriores sustrayendo información de una base de datos que contiene información de Capacidades Competitivas Internacionales por cada producto, inversión dentro del límite de baterías y fuera de este para cada proceso, costo y consumo de los servicios, costos y consumo de las materias primas, gastos de administración y ventas, costo de la mano de obra, producción y valor de los subproductos y la rentabilidad; posteriormente, se calcula el Valor Agregado y el Valor del Producto tomando en cuenta las siguientes definiciones:

- Valor del Producto. Es igual la suma de los Costos de Producción menos los créditos por subproductos.
 - Valor Agregado por Proceso. Es igual a los Costos de Producción menos el costo de las Materias Primas Exógenas.
 - Costos de Producción. Estos se calculan sumando los costos de los servicios mas los costos de la mano de obra mas los gastos de Administración y Ventas, mas los costos de capital mas los costos de las materias primas.
 - Valor Agregado por Cadena Tecnológica de Producción. Es igual al valor del producto final menos el Costo de las Materias Primas exógenas mas los créditos por subproductos.
-

Resumen Cadenas Acatá

Calculo de los parámetros (Atributos)

Parámetro/Cadena tecnológica	1	2
Valor de Producto (cálq. prod.)	322 61	321 52
Valor Agregado (cálq. prod.)	136 76	130 72
Servicios (cálq. prod.)	18 88	20 37
Materias Primas (cálq. prod.)	46 87	44 17

Calculo de la Medida (M) y de la Derivación Estándar (S)

Atributo	M	S
Valor de Producto	322 19	0 88
Valor Agregado	133 25	3 56
Servicios	19 82	1 88
Materias Primas	47 48	0 88

Calificaciones para las Cadenas Tecnológicas

Atributo/Cadena tecnológica	1	2
Valor Agregado	2	4
Valor de Producto	4	2
Materias Primas	4	2
Servicios	4	2

Ponderación

Atributo/Cadena tecnológica	Peso	1	2
Valor Agregado	40	0 80	1 60
Valor de Producto	25	1 00	0 50
Materias Primas	20	0 80	0 40
Servicios	15	0 60	0 30
Total	100	3 20	2 80

Métricos y calificaciones correspondientes para los atributos

Las integraciones de los calificaciones depende de los objetivos a alcanzar.

Objetivo: Maximizar (Valor Agregado):

Atributo/Calificación	1	2	3	4	5
Valor Agregado	(* , 130 98)	(130 98 , 132 38)	(132 38 , 134 74)	(134 74 , 136 83)	(136 83 , *)

Objetivo: Minimizar (Valor de Producto, Servicios, Materias Primas):

Atributo/Calificación	5	4	3	2	1
Valor de Producto	(* , 321 53)	(321 53 , 321 67)	(321 67 , 322 41)	(322 41 , 322 85)	(322 85 , *)
Servicios	(* , 18 83)	(18 83 , 19 26)	(19 26 , 19 79)	(19 79 , 20 42)	(20 42 , *)
Materias Primas	(* , 46 83)	(46 83 , 47 27)	(47 27 , 47 71)	(47 71 , 48 15)	(48 15 , *)

Resulten Homopomero Acatal

Calculo de los parametros (Atributos)

Parametro/Cadena Tecnológica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor de Producto (c/dg prod)	434.96	436.49	440.45	434.76	433.83	436.56	437.80	440.53	432.73	434.06
Valor Agregado (c/dg prod)	158.27	159.77	159.88	162.32	156.53	160.80	156.78	161.17	158.62	164.07
Servicios (c/dg prod)	63.43	67.79	72.46	65.52	62.37	67.83	67.74	73.16	62.80	69.25
Materiales Primas (c/dg prod)	58.75	33.56	80.81	40.85	26.43	38.75	53.78	68.08	33.72	44.03

Calculo de la Media (M) y de la Desviación Estándar (S)

Atributo	M	S
Valor de Producto	435.14	2.75
Valor Agregado	159.88	2.40
Servicios	69.87	3.89
Materiales Primas	43.89	12.74

Calificaciones para las Cadenas Tecnológicas

Atributo/Cadena Tecnológica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor Agregado	2	3	3	5	1	4	1	4	3	5
Valor de Producto	4	3	1	5	5	3	2	1	5	4
Materiales Primas	4	5	1	3	5	4	1	1	5	3
Servicios	5	3	1	4	5	2	2	1	5	3

Ponderación

Atributo/Cadena Tecnológica	Peso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor Agregado	40	8.80	1.20	1.20	2.00	0.40	1.80	0.40	1.80	1.20	2.80
Valor de Producto	25	1.00	0.75	0.25	1.25	1.25	0.75	0.50	0.25	1.25	1.00
Materiales Primas	20	0.80	1.00	0.20	0.80	1.80	0.80	0.20	0.20	1.80	0.80
Servicios	15	0.75	0.45	0.15	0.80	0.75	0.30	0.30	0.15	0.75	0.45
Total	180	3.15	3.40	1.80	4.45	3.40	3.45	1.40	2.20	4.20	4.05

Intervalos y calificaciones correspondientes para los atributos

La asignación de las calificaciones depende de los objetivos a alcanzar

Objetivo Maximizar (Valor Agregado)

Atributo/Calificación	1	2	3	4	5
Valor Agregado	(- , 158.16]	(158.16 , 159.38]	(159.38 , 160.58]	(160.58 , 161.78]	(161.78 , -)

Objetivo Maximizar (Valor de Producto , Servicios , Materiales Primas)

Atributo/Calificación	5	4	3	2	1
Valor de Producto	(- , 434.06]	(434.06 , 435.49]	(435.49 , 436.83]	(436.83 , 438.20]	(438.20 , -)
Servicios	(- , 63.87]	(63.87 , 65.67]	(65.67 , 67.67]	(67.67 , 69.86]	(69.86 , -)
Materiales Primas	(- , 34.33]	(34.33 , 40.70]	(40.70 , 47.07]	(47.07 , 53.45]	(53.45 , -)

Resumen Nivel 6 chips

Cálculo de los parámetros (Atributos)

Parámetro/Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6
Valor Agregado (c/kg prod.)	111.01	81.20	63.10	103.02	82.47	102.41
Valor de Producto (c/kg prod.)	352.47	708.01	310.11	304.46	323.79	288.97
Servicios (c/kg prod.)	21.28	18.56	24.04	14.36	24.38	20.95
Materia Prima (c/kg prod.)	56.21	40.34	48.72	62.08	38.53	82.53

Cálculo de la Medida (M) y de la Desviación Estándar (S)

Atributo	M	S
Valor Agregado	86.14	8.14
Valor de Producto	212.30	23.32
Servicios	22.31	4.86
Materia Prima	49.90	9.72

Calificaciones para las Cadenas Tecnológicas

Atributo/Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6
Valor Agregado	5	1	2	4	1	4
Valor de Producto	1	4	3	4	2	5
Materia Prima	1	5	4	1	5	2
Servicios	3	4	2	5	1	4

Atributo/Cadena tecnológica	Peso	1	2	3	4	5	6
Valor Agregado	40	2.00	0.40	0.80	1.60	0.40	1.60
Valor de Producto	25	0.25	1.00	0.75	1.00	0.80	1.25
Materia Prima	20	0.20	1.00	0.80	0.20	1.00	0.40
Servicios	15	0.45	0.80	0.30	0.75	0.15	0.60
Total	100	2.90	3.00	2.65	3.55	2.05	3.85

Intervalos y calificaciones correspondientes para los atributos

Los segmentos de las calificaciones dependen de los objetivos a alcanzar

Objetivo: Máximo (Valor Agregado):

Atributo/Calificación	1	2	3	4	5
Valor Agregado	(- , 83.03]	(83.03 , 87.11]	(87.11 , 101.18]	(101.18 , 106.25]	(106.25 , *)

Objetivo: Mínimo (Valor de Producto , Servicios , Materia Prima):

Atributo/Calificación	6	4	3	2	1
Valor de Producto	(- , 294.82]	(294.82 , 308.47]	(308.47 , 318.13]	(318.13 , 328.78]	(328.78 , *)
Servicios	(- , 17.31]	(17.31 , 20.84]	(20.84 , 23.87]	(23.87 , 27.30]	(27.30 , *)
Materia Prima	(- , 42.61]	(42.61 , 47.47]	(47.47 , 52.33]	(52.33 , 57.18]	(57.18 , *)

Resumen Nylon 6 Fundido

Cálculo de los parámetros (Atributos)

Parámetro/Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6
Valor Agregado (colg prod.)	103.19	82.84	84.74	95.50	84.05	93.80
Valor de Producto (colg prod.)	333.01	276.55	290.85	285.00	304.33	287.51
Servicios (colg prod.)	18.26	16.54	21.62	11.57	31.34	16.98
Materias Primas (colg prod.)	50.21	40.34	46.72	62.08	38.53	52.53

Cálculo de la Medida (M) y de la Desviación Estándar (S)

Atributo	M	S
Valor Agregado	90.72	6.14
Valor de Producto	292.84	23.32
Servicios	18.20	6.88
Materias Primas	49.50	6.72

Cálculos para las Cadenas Tecnológicas

Atributo/Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6
Valor Agregado	5	1	2	4	7	4
Valor de Producto	3	4	3	4	2	5
Materias Primas	1	5	4	1	5	2
Servicios	3	4	2	5	1	4

Atributo/Cadena tecnológica	Peso	1	2	3	4	5	6
Valor Agregado	40	2.00	0.40	0.80	1.60	2.80	1.60
Valor de Producto	25	0.75	1.00	0.75	1.00	0.50	1.25
Materias Primas	20	0.20	1.00	0.80	0.20	1.80	0.40
Servicios	15	0.45	0.60	0.30	0.75	0.15	0.90
Total	100	3.40	3.00	2.65	3.55	4.45	3.85

Intervalos y calificaciones correspondientes para los atributos

La asignación de las calificaciones depende de los objetivos a alcanzar.

Objetivo: Maximizar (Valor Agregado)

Atributo/Calificación	1	2	3	4	5
Valor Agregado	[* , 64.61]	[64.61 , 88.88]	[88.88 , 92.75]	[92.75 , 96.62]	[96.62 , *]

Objetivo: Minimizar (Valor de Producto, Servicios, Materias Primas)

Atributo/Calificación	5	4	3	2	1
Valor de Producto	[* , 275.35]	[275.35 , 287.01]	[287.01 , 288.67]	[288.67 , 310.33]	[310.33 , *]
Servicios	[* , 14.29]	[14.29 , 17.62]	[17.62 , 20.95]	[20.95 , 24.28]	[24.28 , *]
Materias Primas	[* , 42.61]	[42.61 , 47.47]	[47.47 , 52.33]	[52.33 , 57.18]	[57.18 , *]

Resumen Hoja 6 B

Calculo de los parámetros (Atributos)

Parámetro/Cadena Tecnológica	1	2	3	4	5	6
Valor Agregado (c/ig prod.)	85.11	77.32	100.08	82.78	88.81	127.51
Valor de Producto (c/ig prod.)	277.25	250.75	340.78	283.28	251.36	304.08
Servicios (c/ig prod.)	29.51	20.07	25.41	24.85	27.84	38.78
Materias Primas (c/ig prod.)	48.12	41.04	187.55	45.74	48.12	87.05

Calculo de la Medida (M) y de la Densidad Estándar (S)

Atributo	M	S
Valor Agregado	86.83	16.83
Valor de Producto	281.25	35.29
Servicios	27.71	6.31
Materias Primas	72.84	56.85

Calificaciones para las Cadenas Tecnológicas

Atributo/Cadena Tecnológica	1	2	3	4	5	6
Valor Agregado	3	1	3	3	2	5
Valor de Producto	3	5	1	4	5	2
Materias Primas	4	4	1	4	4	3
Servicios	2	5	4	4	3	1

Atributo/Cadena Tecnológica	Presc	1	2	3	4	5	6
Valor Agregado	40	1.20	0.40	1.20	1.20	0.80	2.00
Valor de Producto	25	0.75	1.25	0.25	1.00	1.25	0.50
Materias Primas	20	0.80	0.80	0.20	0.80	0.80	0.80
Servicios	15	0.30	0.75	0.80	0.80	0.45	0.15
Total	100	3.05	3.20	2.25	3.80	3.30	3.25

Intervalos y calificaciones correspondientes para los atributos

Las asignación de los calificativos depende de los objetivos a alcanzar

Objetivo: Maximizar (Valor Agregado):

Atributo/Calificación	1	2	3	4	5
Valor Agregado	(* . 84.31)	(84.31 . 82.72)	(82.72 . 101.13)	(101.13 . 108.55)	(108.55 . *)

Objetivo: Minimizar (Valor de Producto, Servicios, Materias Primas):

Atributo/Calificación	5	4	3	2	1
Valor de Producto	(* . 254.78)	(254.78 . 272.43)	(272.43 . 280.08)	(280.08 . 307.72)	(307.72 . *)
Servicios	(* . 22.88)	(22.88 . 26.14)	(26.14 . 29.29)	(29.29 . 32.45)	(32.45 . *)
Materias Primas	(* . 30.30)	(30.30 . 58.72)	(58.72 . 87.15)	(87.15 . 115.57)	(115.57 . *)

Polícarbano

Cálculo de los parámetros (Atributos)

Parámetro/Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor de Producto (c/lig prod.)	343.89	358.14	345.80	364.51	368.97	348.31	341.81	345.81	338.11	363.08
Valor Agregado (c/lig prod.)	128.37	130.30	147.86	126.87	128.81	114.61	118.65	113.11	115.06	132.40
Servicios (c/lig prod.)	42.80	32.63	28.63	42.84	32.41	33.75	23.31	33.83	23.18	30.30
Materias Primas (c/lig prod.)	88.47	88.47	88.47	78.94	78.94	63.89	63.89	54.48	54.48	54.48

Cálculo de la Media (M) y de la Desviación Estándar (S)

Atributo	M	S
Valor de Producto	358.51	13.84
Valor Agregado	125.37	10.77
Servicios	31.48	7.72
Materias Primas	78.48	13.77

Calificación para las Cadenas Tecnológicas

Atributo/Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor Agregado	4	4	5	3	4	1	1	1	1	4
Valor de Producto	2	3	1	2	3	4	5	5	5	2
Materias Primas	1	1	1	2	2	4	4	5	5	5
Servicios	1	3	3	1	3	2	5	2	5	3

Atributo/Cadena tecnológica	Peso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor Agregado	40	1.60	1.60	2.00	1.20	1.60	0.40	0.40	0.40	0.40	1.60
Valor de Producto	25	0.50	0.75	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.25	1.25	0.50
Materias Primas	20	0.20	0.20	0.20	0.40	0.40	0.80	0.80	1.00	1.00	1.00
Servicios	15	0.15	0.45	0.45	0.15	0.45	0.30	0.75	0.30	0.75	0.75
Total	100	2.45	3.00	2.80	3.25	3.20	2.90	3.20	2.95	3.40	3.86

Reservas y calificaciones correspondientes para los atributos.

Las asignación de las calificaciones responde a los objetivos a alcanzar.

Objetivo Múltiple (Valor Agregado)

Atributo/Calificación	1	2	3	4	5
Valor Agregado	(* , 117.20)	(117.20 , 122.88)	(122.88 , 126.06)	(126.06 , 133.45)	(133.45 , *)

Objetivo Múltiple (Valor de Producto, Servicios, Materias Primas)

Atributo/Calificación	5	4	3	2	1
Valor de Producto	(* , 348.08)	(348.08 , 353.03)	(353.03 , 360.00)	(360.00 , 368.88)	(368.88 , *)
Servicios	(* , 29.87)	(29.87 , 39.53)	(39.53 , 33.38)	(33.38 , 37.25)	(37.25 , *)
Materias Primas	(* , 80.14)	(80.14 , 87.02)	(87.02 , 75.81)	(75.81 , 80.78)	(80.78 , *)

Resumen PSTE.

Cálculo de los parámetros (Atributos)

Parámetro/Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6	7
Valor de Producto (C/kg prod.)	445 79	384 81	400 51	443 83	400 70	388 74	388 33
Valor Agregado (C/kg prod.)	130 31	115 22	185 81	196 56	131 71	129 83	131 46
Servicios (C/kg prod.)	75 44	26 23	31 78	15 48	33 37	27 17	22 99
Materiales Primas (C/kg prod.)	89 18	88 40	81 80	89 78	82 81	102 87	82 81

Cálculo de la Media (M) y de la Desviación Estándar (S)

Atributo	M	S
Valor de Producto	410 82	24 02
Valor Agregado	139 13	23 81
Servicios	29 08	7 77
Materiales Primas	87 17	6 25

Calificaciones para las Cadenas Tecnológicas

Atributo/Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6	7
Valor Agregado	3	1	5	3	2	2	2
Valor de Producto	1	4	4	1	4	5	4
Materiales Primas	4	4	5	4	3	1	2
Servicios	5	3	2	5	1	3	1

Ponderación

Atributo/Cadena tecnológica	Peso	1	2	3	4	5	6	7
Valor Agregado	40	1.20	0.40	2.00	1.20	0.80	0.80	0.80
Valor de Producto	25	0.25	1.00	1.00	0.25	1.00	1.25	1.00
Materiales Primas	20	0.80	0.80	1.00	0.80	0.80	0.20	0.40
Servicios	15	0.75	0.45	0.30	0.75	0.15	0.45	0.15
Total	100	1.80	2.25	2.30	1.80	1.75	1.80	1.90

Intervalos y calificaciones correspondientes para los atributos

Una asignación de las calificaciones depende de los objetivos a alcanzar.

Objetivo: Maximizar (Valor Agregado):

Atributo/Calificación	1	2	3	4	5
Valor Agregado	(* , 121.44)	(121.44 , 133.24)	(133.24 , 145.05)	(145.05 , 156.86)	(156.86 , *)

Objetivo: Minimizar (Valor de Producto, Servicios, Materiales Primas):

Atributo/Calificación	5	4	3	2	1
Valor de Producto	(* , 387.80)	(387.80 , 404.61)	(404.61 , 418.82)	(418.82 , 428.83)	(428.83 , *)
Servicios	(* , 20.23)	(20.23 , 24.12)	(24.12 , 28.01)	(28.01 , 31.90)	(31.90 , *)
Materiales Primas	(* , 88.42)	(88.42 , 88.35)	(88.35 , 82.87)	(82.87 , 85.79)	(85.79 , *)

Resumen PBTF

Cálculo de los parámetros (Atributos)

Parámetro/Cadena Tecnológica	1	2	3	4	5	6	7
Valor de Producto (c/kg prod.)	301 86	375 55	377 41	380 80	377 47	373 70	377 04
Valor Agregado (c/kg prod.)	162 46	136 37	212 88	156 72	154 88	153 08	154 81
Servicios (c/kg prod.)	18 95	27 34	33 30	16 60	36 08	28 88	34 48
Materiales Primas (c/kg prod.)	89 18	89 40	81 80	89 18	82 81	102 87	82 81

Cálculo de la Medida (M) y de la Desviación Estándar (S)

Atributo	M	S
Valor de Producto	380 56	7 57
Valor Agregado	162 29	23 81
Servicios	27 57	7 77
Materiales Primas	91 11	6 25

Calificaciones para las Cadenas Tecnológicas

Atributo/Cadena Tecnológica	1	2	3	4	5	6	7
Valor Agregado	3	1	5	3	2	2	2
Valor de Producto	1	4	4	1	4	5	4
Materiales Primas	4	4	5	4	3	1	2
Servicios	5	3	2	5	1	3	1

Ponderación

Atributo/Cadena Tecnológica	Peso	1	2	3	4	5	6	7
Valor Agregado	40	1 20	0 40	2 00	1 20	0 80	0 80	0 80
Valor de Producto	25	0 25	1 00	1 00	0 25	1 00	1 25	1 00
Materiales Primas	20	0 80	0 80	1 00	0 80	0 80	0 20	0 40
Servicios	15	0 75	0 45	0 30	0 75	0 15	0 45	0 15
Total	100	3 00	2 85	4 30	3 00	2 55	2 70	2 35

Intervalos y calificaciones correspondientes para los atributos

Las asignación de las calificaciones depende de los objetivos a alcanzar.

Objetivo: Mantener (Valor Agregado):

Atributo/Calificación	1	2	3	4	5
Valor Agregado	(- , 144 58)	(144 58 , 156 39)	(156 39 , 168 20)	(168 20 , 180 00)	(180 00 , *)

Objetivo: Minimizar (Valor de Producto, Servicios, Materiales Primas):

Atributo/Calificación	5	4	3	2	1
Valor de Producto	(- , 374 82)	(374 82 , 378 70)	(378 70 , 382 48)	(382 48 , 386 26)	(386 26 , *)
Servicios	(- , 21 74)	(21 74 , 25 63)	(25 63 , 29 51)	(29 51 , 33 40)	(33 40 , *)
Materiales Primas	(- , 89 42)	(89 42 , 89 55)	(89 55 , 82 87)	(82 87 , 85 78)	(85 78 , *)

Resumen PET

Cálculo de los parámetros (Atributos)

Parámetro/Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Valor de Producto (c/Ag prod)	225.86	217.07	224.19	231.02	232.90	215.41	222.23	223.71	238.74	232.90	222.23	238.40
Valor Agregado (c/Ag prod)	95.30	94.93	88.83	95.74	95.87	89.18	95.28	95.41	90.89	98.87	98.39	90.38
Servicios (c/Ag prod)	11.74	14.20	10.64	8.34	11.37	13.10	10.81	13.83	9.84	11.37	10.81	18.30
Materias Primas (c/Ag prod)	83.56	80.69	72.07	88.24	88.24	83.48	58.74	58.74	72.48	86.24	88.74	62.87

Cálculo de la Medida (M) y de la Desviación Estándar (S)

Atributo	M	S
Valor de Producto	220.18	8.58
Valor Agregado	93.13	3.55
Servicios	11.78	1.89
Materias Primas	80.64	11.52

Calificaciones para las Cadenas Tecnológicas

Atributo/Cadena tecnológica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Valor Agregado	4	4	1	4	4	1	4	4	2	4	4	1
Valor de Producto	3	5	4	2	1	5	4	4	1	1	4	2
Materias Primas	1	1	2	3	3	4	5	5	3	3	5	4
Servicios	3	1	4	5	3	2	4	1	5	3	4	1

Ponderación

Atributo/Cadena tecnológica	Peso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Valor Agregado	40	1.60	1.60	0.40	1.60	1.60	0.40	1.60	1.60	0.80	1.60	1.60	0.40
Valor de Producto	25	0.75	1.25	1.00	0.50	0.25	1.25	1.00	1.00	0.25	0.25	1.00	0.80
Materias Primas	20	0.20	0.20	0.40	0.80	0.80	0.80	1.00	1.80	0.80	0.80	1.00	0.80
Servicios	15	0.45	0.15	0.80	0.75	0.45	0.50	0.80	0.15	0.75	0.45	0.80	0.15
Total	100	3.00	3.20	2.40	3.45	2.90	2.75	4.20	3.75	2.40	2.90	4.20	1.85

Intervalos y notificaciones correspondientes para los atributos

Los espacios de las calificaciones dependen de los objetivos a alcanzar

Objetivo: Maximizar (Valor Agregado)

Atributo/Calificación	1	2	3	4	5
Valor Agregado	(- , 80.38]	(80.38 , 82.21]	(82.21 , 84.05]	(84.05 , 85.89]	(85.89 , -)

Objetivo: Maximizar (Valor de Producto, Servicios, Materias Primas)

Atributo/Calificación	5	4	3	2	1
Valor de Producto	(- , 221.24]	(221.24 , 224.52]	(224.52 , 227.80]	(227.80 , 231.07]	(231.07 , -)
Servicios	(- , 10.29]	(10.29 , 11.29]	(11.29 , 12.28]	(12.28 , 13.27]	(13.27 , -)
Materias Primas	(- , 81.00]	(81.00 , 88.78]	(88.78 , 72.52]	(72.52 , 78.28]	(78.28 , -)

Resumen Ordic de Postulantes

Cálculo de los parámetros (Atributos)

Parámetro/Cadena Tecnológica	1	2
Valor de Producto (c/aj prod.)	5 632.56	5 226.10
Valor Agregado (c/aj prod.)	372.08	370.55
Servicios (c/aj prod.)	33.50	37.81
Materia Prima (c/aj prod.)	43.76	34.23

Cálculo de la Medida (M) y de la Desviación Estándar (S)

Atributo	M	S
Valor de Producto	5 430.84	285.31
Valor Agregado	371.31	1.07
Servicios	35.20	3.83
Materia Prima	38.00	9.74

Calificaciones para las Cadenas Tecnológicas

Atributo/Cadena Tecnológica	1	2
Valor Agregado	4	4
Valor de Producto	1	2
Materia Prima	1	1
Servicios	1	2

Atributo/Cadena Tecnológica	Peso	1	2
Valor Agregado	40	1.80	1.80
Valor de Producto	25	0.25	0.50
Materia Prima	20	0.20	0.20
Servicios	15	0.15	0.30
Total	100	0.80	1.00

Notas y calificaciones correspondientes para los atributos

Las asignación de las calificaciones depende de los objetivos a alcanzar

Objetivo: Medidor (Valor Agregado)

Atributo/Calificación	1	2	3	4	5
Valor Agregado	(* , 570.51)	(570.51 , 571.84)	(571.04 , 571.98)	(571.98 , 572.11)	(572.11 , *)

Objetivo: Medidor (Valor de Producto, Servicios, Materia Prima)

Atributo/Calificación	5	4	3	2	1
Valor de Producto	(* , 2.76 m)	(5.219 m , 5.250.51)	(5.259.51 , 5.302.17)	(5.302.17 , 5.344.83)	(5.344.83 , *)
Servicios	(* , 32.33)	(32.33 , 34.25)	(34.25 , 36.19)	(36.19 , 38.08)	(38.08 , *)
Materia Prima	(* , 33.84)	(33.84 , 37.31)	(37.31 , 40.68)	(40.68 , 44.05)	(44.05 , *)

Resumen Órbita de Polímeros Modificado

Cálculo de los parámetros (Arbitrios)

Parámetro/Cadena Tecnológica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor de Producto (chq prod.)	3 476 38	3 431 15	3 478 62	3 186 41	3 200 19	3 188 67	3 430 84	3 429 37	3 188 88	3 188 38
Valor Agregado (chq prod.)	807 34	808 40	808 80	805 83	807 86	807 38	808 15	808 55	807 64	807 03
Servicios (chq prod.)	43 34	44 37	43 90	43 27	44 25	43 78	43 74	43 27	43 82	43 15
Materia Prima (chq prod.)	72 22	70 17	70 17	62 66	66 64	60 64	70 37	70 37	60 64	60 64

Cálculo de la Meda (M) y de la Desviación Estándar (S)

Arbitrio	M	S
Valor de Producto	3 213 88	127 74
Valor Agregado	807 88	1 10
Servicios	43 88	0 43
Materia Prima	65 98	5 08

Calificaciones para las Cadenas Tecnológicas

Arbitrio/Cadena Tecnológica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor Agregado	4	4	5	2	3	5	1	2	4	1
Valor de Producto	1	2	1	4	4	2	3	4	1	5
Materia Prima	1	1	2	3	3	4	5	5	3	3
Servicios	1	2	3	1	2	2	4	1	5	3

Arbitrio/Cadena Tecnológica	Peso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor Agregado	40	1 80	1 80	2 00	0 80	1 20	2 00	0 40	0 80	1 80	2 40
Valor de Producto	25	0 25	0 50	0 75	1 00	1 25	1 50	1 75	2 00	2 25	2 50
Materia Prima	20	0 80	0 80	1 60	0 40	0 80	1 60	0 20	0 40	0 80	0 20
Servicios	15	0 15	0 30	0 15	0 60	0 60	0 30	0 45	0 80	0 15	0 75
Total	80	1 20	1 80	1 80	2 00	2 45	2 80	2 40	3 00	3 20	3 45

Inventos y calificaciones correspondientes para los arbitrios

Las asignación de las calificaciones depende de los objetivos a alcanzar.

Objetivo: Incentivo (Valor Agregado).

Arbitrio/Calificación	1	2	3	4	5
Valor Agregado	(* , 807 87)	(807 07 , 807 62)	(807 62 , 808 17)	(808 17 , 808 72)	(808 72 , *)

Objetivo: Mínimo (Valor de Producto, Servicios, Materia Prima)

Arbitrio/Calificación	5	4	3	2	1
Valor de Producto	(* , 3 222 88)	(3 222 88 , 3 281 54)	(3 281 54 , 3 340 41)	(3 340 41 , 3 400 28)	(3 400 28 , *)
Servicios	(* , 43 34)	(43 34 , 43 58)	(43 58 , 43 77)	(43 77 , 43 88)	(43 88 , *)
Materia Prima	(* , 62 07)	(62 07 , 64 62)	(64 62 , 67 17)	(67 17 , 68 71)	(68 71 , *)

Bibliografía

Bibliografía

1. Escobar T., Carlos E. "SISTEMA DE MODELOS PARA LA PLANEACIÓN DE LA INDUSTRIA PETROQUÍMICA DE MÉXICO". Academia Mexicana de Ingeniería. México, D.F. (1995).
 2. Escobar, T., Carlos E. "LAS RELACIONES ENTRE LA POLÍTICA ENERGÉTICA Y EL DESARROLLO INDUSTRIAL: UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA PLANIFICAR LA INDUSTRIA PETROQUÍMICA EN MÉXICO", Documentos de Análisis y Prospectiva del Programa Universitario de Energía, 1989. México, D.F.
 3. Escobar, T., Carlos E. "LAS RUTAS TECNOLÓGICAS DE USO EFICIENTE DE ENERGÍA EN LA INDUSTRIA PETROQUÍMICA DE MÉXICO", *Dynamic*, Mayo-Agosto 1991, México D.F.
 4. Escobar, T., Carlos E. (Responsable) y Celestino Montiel Maldonado (Corresponsable). "OPTIMIZACIÓN DE LAS RUTAS Y PROCESOS TECNOLÓGICOS DE LA INDUSTRIA PETROQUÍMICA EN MÉXICO", Dirección General de Asuntos del personal Académico, Proyecto IN 308191. 1991-1993. México D.F.
 5. Escobar, T., Carlos E. y Rodríguez R., Fernando. "METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS APLICACIÓN AL CALCULO DEL VALOR AGREGADO EN CADENAS PETROQUÍMICAS". *Revista IMIQ*. Año XV. Vol. 4, Abril 1994.
 6. Escobar, T., Carlos E. "ENERGY DEVELOPMENT: FUNDAMENTAL ASPECTS FOR AN ENERGY CONSERVATION POLICY AT PETROCHEMICAL INDUSTRY IN MEXICO", *World Energy Council*. 15th Congress Pags. 15-77. Madrid, España.
 7. Sayea, Ravindra Nath. "AN APPROACH TO THE SIMULATION OF THE DEVELOPMENT U.S. PETROCHEMICAL INDUSTRY" Ph.D. Thesis, University of Winsconsin (1978).
 8. Sokic, M. & Stevancevic, D. "THE OPTIMAL STRUCTURE OF THE SYSTEM OF THE PETROCHEMICAL INDUSTRY" *Chemical Engineering Science* 38,2 (1983).
 9. Sophos, Anastassius. "MULTIOBJETIVE ANALYSIS AND PLANNING OF THE DEVELOPMENT OF U.S. PETROCHEMICAL INDUSTRY AND THE SYNTHESIS OF DISTILLATION COLUMNS SEQUENCES WITH ENERGY INTEGRATION SCHEMES". Ph.D. Thesis, University of Minnesota (1981).
 10. Mc Graw Hill, "DATA OF WORLD CONSUMPTION", *Modern Plastics*, USA, Vols. 60ss, N° 1-6. Enero (1989-1995)
 11. SRI, "THE MEXICAN PETROLEUM INDUSTRY IN THE WORLD". Vol. 4, *Product Union Analysis and Forecast Background*, E.U.A., Junio (1991)
 12. Consejo Coordinador de las Industrias Química y Paraquímica. "ESTADÍSTICAS DE LA INDUSTRIA QUÍMICA MEXICANA. BANCO DE DATOS (1989 - 1993), CANACINTRA, Cap. 9 págs. 219 - 225, México, (1994)
 13. Rudd, Fathi-Afshar, Treviño, Stadtherr. "PETROCHEMICAL ASSESMENT" John Wiley. (1981).
 14. Rudd, D.F. "MODELING THE DEVELOPMENT OF THE INTERMEDIATE CHEMICAL PRODUCTION TECHNOLOGIES" *Chemical Engineering Process*. 80.12 (1984).
-

Bibliografía

15. Comisión Petrolífera Mexicana. "LOS PLÁSTICOS DE INGENIERÍA", SEMIP - CONACYT, México (1985).
 16. Rodríguez R., Fernando, M.A. Landeros, J. Fernández "SISTEMA COMPUTACIONAL PARA EVALUAR TECNOLOGÍAS EN PLANTAS DE PROCESO A TRAVÉS DE LA DETERMINACIÓN DEL VALOR DEL PRODUCTO" 34 Convención del IMIQ, Veracruz, Ver.
 17. Stadherr, M.A. "A SYSTEM STUDY OF THE PETROCHEMICAL INDUSTRY". Ph.D Thesis. University of Wisconsin (1978).
 18. Escobar, T.C., F. Esparza, L. Puente y D. Uquillas. "MODELOS PARA LA JERARQUIZACION Y SELECCION OPTIMA DE PROYECTOS DE INVESTIGACION Y DESARROLLO". Tecnología, Ciencia y Educación. IMIQ. Vol. 5. Num. 1. Enero- Junio, 1990.
 19. Roy, B. "VERS UNE METHODOLOGIE GENERALE D'AIDE A LA DECISION", Paris, Metro/SEMA, 1975. Rapport Na. 87.
 20. Roy, B. "CLASSEMENT ET CHOISEN PRESENCE DE POINT DE MULTIPLES (LA METHODE ELECTRE)". Revue Française d'Informatique et Recherche Operationnelle", No. 8, 1968.
 21. Le Moigne, J.L. "LA THEORIE DU SYSTEME GENERAL" PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE. Paris 1977.
 22. Morin, E y Piatelli - Palmarini "L'UNITE DE L'HOMME, INVARIANTS BILOGIQUES ET UNIVERSAUX CULTURELS". Paris. De. Du Seuil, 1974.
 23. Bertalanffy, L. Von. "GENERAL SYSTEM THEORY, FOUNDATION, DEVELOPMENT, APPLICATIONS", N. York. G. Braziller, 1968.
 24. Churchman, C.W. "THE SYSTEM APPROACH", N. York. Dell Publ. Co. A. Delfa book, 1968.
 25. Mesorovic, M.D. y Takahara, Y. "GENERAL SYSTEM THEORY: MATHEMATICAL FOUNDATIONS", N. York. Academic Press, 1975.
 26. Cohon, J. L. Y D.H. Marks "A REVIEW AND EVALUATION OF MULTIOBJECTIVE PROGRAMMING TECHNIQUES" Inter Resources Research. Vol. 11, No. 2, 1975.
 27. Jacquet - Lagreze, E. "CONCEPTS ET MODELES EN ANALYSE MULTICRITERE EN JACQUET - LAGREZE, EY J. SISKOS (EDS METHODE DE DECISION MULTICRITERE)". Hommes et Techniques. Paris. 1983.
 28. Antun, J.P. "COMPUTER-AIDED DESIGN OF THE IMPLEMENTATION OF INDUSTRIAL FACILITIES". IFAC3. System Approach for Development. Rabat, Marruecos, 1980.
 29. Chávez, O.E. "STRUCTURAL SIMULATION IN THE ANALYSIS IN THE ANALYSIS OF THE CHEMICAL INDUSTRY" Ph.D. Thesis, University of Wisconsin (1986).
- Day, R.H. "ADAPTATIVE PROCESSES AND ECONOMIC THEORY, ADAPTATIVE ECONOMIC MODELS" Academic Press Inc. (1975).
-