

11-10  
261



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**ANÁLISIS DE LA CURVA DE INVERSIÓN-CAPACIDAD  
PARA EL POLIESTIRENO**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

P R E S E N T A :

**MANUEL EDUARDO ASALI DE LA MORA**



1992

**TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN**



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

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

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

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

## INDICE

<b>CAPITULO</b>	<b>PAGINA</b>
<b>1 INTRODUCCION</b>	
1.1 Planteamiento	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Secuencia	2
1.4 La industria química	4
1.5 Productos químicos	8
<b>2 EL POLIESTIRENO Y SUS USOS</b>	
2.1 Descripción	11
2.2 Fuentes de obtención de poliestireno	11
2.3 Tipos de poliestireno	12
2.4 Mercado	13
2.5 Consumo	21
2.6 Usos	22
2.7 Precio	25
2.8 Principales compañías productoras	26
2.9 Transformación posterior del poliestireno	29
<b>3 PROCESOS DE FABRICACION DE POLIESTIRENO</b>	
3.1 Polimerización del estireno	30
3.2 Métodos de polimerización	30
3.3 Procesos de fabricación comerciales	35
3.4 Elección del proceso	47
3.5 Discusión del proceso	47

<b>CAPITULO</b>		<b>PAGINA</b>
<b>4</b>	<b>CONCEPTOS PARA LA ELABORACION DE LAS CURVAS DE INVERSION - CAPACIDAD</b>	
4.1	Economías de escala	49
4.2	Estimación de costos	51
4.3	Indices de costos y escalación	53
4.4	Factores de costo en la inversión de capital	56
4.5	Métodos para estimar la inversión de capital	63
<b>5</b>	<b>CONSTRUCCION DE LA CURVA DE INVERSION - CAPACIDAD PARA EL PROCESO MONSANTO DE PRODUCCION DE POLIESTIRENO</b>	
5.1	Metodología	66
5.2	Información considerada	67
5.3	Tratamiento de la información	68
5.4	Datos estadísticos de la curva	80
5.5	Análisis de la curva de inversión - capacidad	80
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
6.1	Primera. Relación con las economías de escala	84
6.2	Segunda. Relación con la definición de proyectos	85
6.3	Tercera. Utilidad de la curva de inversión - capacidad	86
6.4	Recomendaciones	86
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	<b>88</b>

## **CAPITULO 1**

### **INTRODUCCION**

#### **PLANTEAMIENTO**

Uno de los problemas principales en la planeación de un proyecto de inversión de capital es la estimación correcta de los recursos económicos necesarios para poderlo llevar a cabo. Teniendo esto en cuenta, se han desarrollado diferentes métodos para hacer dichas estimaciones, desde que se concibe la idea del proyecto hasta que éste se pone en marcha.

Los proyectos relacionados con la industria química requieren generalmente de grandes inversiones de capital debido a las características de los equipos y procesos, haciendo particularmente importante la estimación correcta de los recursos económicos. Para esto se puede recurrir a las curvas de inversión - capacidad, especialmente en las fases de definición del proyecto, ya que proporcionan un estimado de la inversión necesaria para diferentes tamaños o capacidades de un determinado proceso, con una precisión de +/- 30% aproximadamente.

Las curvas de inversión - capacidad tienen una relación muy estrecha con las economías de escala aunque están enfocadas a la inversión de una planta más que a los costos unitarios de producción. Adicionalmente, en la construcción de estas curvas se involucran conceptos importantes como son la estimación y la escalación de cada uno de los factores de costo que forman parte de la inversión de capital.

En el presente trabajo se construirá una curva de inversión - capacidad para una planta de poliestireno, el cual es un plástico muy utilizado porque tiene aplicaciones diversas gracias a sus características y propiedades y que además es un producto bastante representativo de todas las resinas sintéticas en general.

Finalmente, el análisis de la curva de inversión - capacidad tendrá conclusiones

interesantes relacionadas con las economías de escala y con la definición de proyectos, por lo que se podrá apreciar la importancia de las mismas y la utilidad de su información en la planeación y definición de proyectos de inversión.

### **OBJETIVOS**

- Describir las características de la industria química, de los productos químicos en general y en particular del poliestireno.

Explicar los diferentes métodos y procesos de fabricación de poliestireno y elegir uno para desarrollar sobre éste una curva de inversión - capacidad.

- Construir y analizar una curva de inversión - capacidad para el proceso de poliestireno elegido.

### **SECUENCIA**

El presente trabajo se refiere al análisis de la curva de inversión - capacidad para un proceso de manufactura de poliestireno, el cual es un plástico muy utilizado comercialmente y es considerado como un producto químico funcional, que tiene que ver con las industrias de procesos y que tiene múltiples usos y aplicaciones para cubrir necesidades de la población.

Para enmarcar el contexto dentro del cual se desarrollará el presente trabajo, en esta introducción se dará una explicación de las características de la industria química y de los productos que se obtienen de esta.

En el segundo capítulo se dará una descripción completa del poliestireno, empezando por los tipos y las características del mismo. Posteriormente se describirá el mercado de este polímero y se explicarán sus usos y aplicaciones principales. El capítulo concluirá mencionando a los productores más importantes de poliestireno en México y en el resto del

### Mundo.

En el tercer capítulo se hablará de los métodos que existen para fabricar poliestireno y se dará una breve descripción de los procesos comerciales que han sido desarrollados por algunos de los productores. En la última parte de este capítulo se llevará a cabo la elección de uno de esos procesos comerciales y se hará un discusión del mismo pues la curva de inversión - capacidad será construida y analizada para ese proceso únicamente.

El cuarto capítulo consistirá en la explicación de los conceptos principales que se necesitan para la elaboración de las curvas de inversión - capacidad. Se empezará por la estimación de costos que se realiza cuando se planea una inversión de capital. Posteriormente se explicarán las herramientas que se utilizan para ajustar la información disponible como es el caso de los índices de costos y la escalación. Se continuará con una descripción de todos los factores de costo que influyen en una inversión de capital y finalmente se mostrarán algunos de los métodos para estimar esa inversión.

En el quinto capítulo se hará la construcción de la curva de inversión - capacidad para el proceso de fabricación de poliestireno que haya sido elegido y se hará parte del análisis de esta curva.

Por último, en el sexto capítulo se concluirá el análisis de la curva de inversión - capacidad y se harán las conclusiones pertinentes sobre todo el trabajo en general.

## **LA INDUSTRIA QUIMICA**

La industria química es una de las más importantes tanto en México como en el resto del Mundo. En los países donde se encuentra más desarrollada, se puede observar que tiene una participación considerable dentro del sector manufacturero en comparación con algunas de las demás industrias, ya que involucra inversiones de capital muy fuertes y además volúmenes muy grandes de producción.

El producto interno bruto (PIB) nacional de un país y el producto por habitante guardan una cierta relación con los niveles de industrialización y de consumo de productos químicos. La relación generalmente coincide en que los países que tienen un producto interno pequeño tienen también una demanda de productos químicos pequeña y entonces la posibilidad de basar una industria química en ese mercado interno es escasa. La relación entre el consumo de productos químicos y el PIB de un país es del orden del 5 al 6% en la mayoría de los casos. Aquí se puede comprobar la importancia de la industria química en el desarrollo industrial de un país.

En el caso de México, se ha desarrollado una industria química importante, aunque todavía con algunas deficiencias que se hacen notables al conocer la gran cantidad de productos que se tienen que importar del extranjero y la poca diversificación y desarrollo que tienen algunos otros productos, principalmente por el tamaño pequeño del mercado mexicano. Adicionalmente, hay poca integración vertical y horizontal por parte de los productores nacionales y existen monopolios de algunos sectores y productos químicos, como es el caso de PEMEX, lo cual resta competitividad en general a la industria química mexicana y que trae consigo desventajas comparativas contra otros productores multinacionales.

En todos los países industrializados existen empresas químicas muy importantes, que precisamente por su integración vertical u horizontal han alcanzado tamaños muy grandes y

participaciones considerables en los mercados locales e internacionales. Entre estas empresas se pueden mencionar a Hoechst, BASF y Bayer de Alemania; DuPont, Dow Chemical, Union Carbide y Monsanto de E.U.A.; ICI (Imperial Chemical Industries) del Reino Unido y Rhône Poulenc de Francia.

En México existen subsidiarias o comercializadoras de estas empresas y además hay otras empresas químicas que son grandes en el mercado mexicano pero que se vuelven muy pequeñas en el contexto internacional; algunas de estas empresas son Celanese Mexicana, Fertimex, Industrias Resistol, CYDSA, Novum y Grupo Idesa, entre otras. El caso de Pemex es muy particular, ya que al tratarse de un monopolio ha adquirido un tamaño comparable al de algunas de las empresas más grandes del mundo, con la diferencia de que sus márgenes y su rentabilidad son mucho menores.

Sin embargo, la búsqueda de mejoramiento de la industria química, los avances tecnológicos y el crecimiento de los mercados y de sus nichos son factores que deberán darle un mayor impulso a la industria química mexicana en el futuro, que aunado al crecimiento del resto de la economía, fortalecerán la capacidad industrial de nuestro país.

#### Características sobresalientes de la industria química

La industria química en los países industrializados tiene características bien definidas, mismas que, aunque pueden ser particulares para determinadas ramas químicas, orientan las políticas y el funcionamiento de las empresas del sector. Estas características son:

- 1) Crecimiento más rápido que el promedio industrial. Esta es una característica común para casi todos los países que cuentan con una industria química establecida, pues se ha observado que el crecimiento de esta industria generalmente es más rápido que el del resto de la industria manufacturera.
- 2) Elevada inversión en investigación y desarrollo. Para competir en cualquier industria

hay que hacer investigación, desarrollar nuevos productos y mejorar procesos. Incluso, para poder asimilar tecnología ajena, hay que saber investigar y desarrollar tecnología propia por pequeña que esta sea, especialmente en la industria química, donde la competencia es muy intensa. En los países industrializados, los gastos en investigación son en promedio del 4 al 5% de las ventas, y las empresas grandes lo consideran como un buen negocio ya que se crean nuevas oportunidades y mercados. En México la investigación a estos niveles es muy limitada o prácticamente nula, lo cual también trae consigo una desventaja competitiva.

3) Formas especiales de competencia y propiedad tecnológica. La tendencia en los mercados de productos químicos es la de uniformizarse, ya que las empresas se están viendo forzadas a producir con alta calidad y a vender al precio que el nivel internacional requiere. Los factores de competencia son, en parte, las economías de escala, las materias primas y los procesos de producción. En la producción de básicos e intermedios donde los volúmenes de los mercados son muy grandes, las plantas industriales tienen que ser de gran tamaño para poder competir, sin embargo, en las especialidades de menor volumen, la competencia se basa en la innovación de los productos.

La propiedad de la tecnología se guarda celosamente, pues es el producto de la capacidad de investigación de una compañía; tener acceso a esa tecnología es en ocasiones muy complejo y generalmente costoso.

4) Comercio internacional muy competitivo. La mayoría de los productos químicos son objeto de un creciente comercio e internacionalmente los mercados son dominados por las empresas transnacionales. Esto hace difícil el comercio de productos para las compañías químicas más pequeñas.

5) Economías de escala y gran intensidad de capital. Las economías de escala son importantes en la industria química, especialmente en la producción de básicos e

intermedios de gran volumen, ya que es menos costoso producir mucho aunque se requiera de una mayor inversión inicial. La intensidad de capital se refiere a que es mucha la inversión requerida en esta industria, y son pocos los empleados necesarios para manejar procesos continuos y automatizados, es decir, la inversión necesaria para generar un empleo es muy grande; además, las recuperaciones de inversión son tardadas en comparación con las de otras industrias.

6) Rápida obsolescencia de equipo y tecnología. Conforme avanzan la tecnología y el diseño, los procesos se van haciendo cada vez más eficientes y económicos, lo cual en ocasiones trae una desventaja competitiva para las empresas que utilizan procesos antiguos u obsoletos, lo que implica nuevas inversiones para poder permanecer en el mercado.

7) Necesidad de infraestructura compleja. Las interrelaciones entre la producción química y el desarrollo económico y tecnológico son importantes, ya que no se puede tener una industria química desarrollada si las condiciones económicas de un país no lo permiten, principalmente por la intensidad de capital y porque se requiere de una infraestructura adecuada de transporte, servicios, materias primas, tecnología y combustibles.

8) Inversión elevada para equipos anticontaminantes. Las disposiciones gubernamentales cada vez más estrictas sobre contaminación hacen que las inversiones sean mayores en todos los proyectos y plantas en operación donde estén involucrados productos contaminantes; además se tiene que garantizar la seguridad de los trabajadores.

9) Elevada diversificación e integración de la producción. La necesidad de tener una integración vertical es muy particular de la industria química, pues esta permite tener mayor competitividad. Por otro lado, es un sector muy diverso en cuanto a todas las ramas diferentes que tiene, por lo que la integración horizontal a veces es muy compleja o incosteable, especialmente cuando se tiene que competir con las grandes empresas transnacionales que sí tienen la capacidad de integrarse y diversificarse.

10) Gran influencia de la tecnología en los costos de producción. Los factores de mayor influencia en los costos de producción de productos químicos son las materias primas, el consumo de energéticos, el tamaño de la planta y los gastos financieros; en estos influye de gran manera el avance tecnológico, pues este puede permitir menores gastos en materia prima o energía en la medida en que se optimiza la tecnología de un proceso.

11) Tendencia a invertir en especialidades químicas. En muchas de las empresas químicas de los países industrializados se nota una tendencia a invertir en especialidades químicas más que en productos básicos e intermedios. Esta tendencia obedece a que los márgenes de utilidad de la industria de las especialidades químicas son generalmente mucho más elevados que en el caso de los demás productos, además de que los mercados demandan cada vez más productos específicos y especiales, a pesar de que tengan un mayor precio.

Considerando las características de la industria química expuestas anteriormente se puede pensar que en el futuro la industria química dependerá en gran manera del grado de investigación y desarrollo que se lleve a cabo, ya que esto permitirá la innovación de los procesos y los productos para seguir cubriendo las necesidades humanas.

La industria química es relativamente joven pues su desarrollo data prácticamente de este siglo únicamente, y el gran terreno que queda todavía por recorrer hará que la tasa de crecimiento de esta industria siga siendo elevada en comparación con algunos otros sectores industriales y con la industria manufacturera en general.

## **PRODUCTOS QUIMICOS**

Los productos químicos están ligados a la mayoría de las actividades industriales y económicas y casi siempre forman parte de alguna de las cadenas de producción desde que estas empiezan en las materias primas hasta que llegan al consumidor final, cubriendo

necesidades de la población.

La interrelación entre los productos de las industrias químicas y las necesidades humanas se puede conocer a partir del flujo de materias primas, desde que estas se obtienen de la naturaleza, pasando por la etapa de transformación, hasta que llegan al producto final, lo cual sigue los pasos mencionados a continuación:

1) En primer lugar se encuentran las materias primas para la industria, como son el petróleo y el gas natural, los productos agropecuarios, los minerales metálicos y no metálicos y otras materias primas como el aire y el agua.

2) Enseguida, se puede pasar a la obtención de los productos químicos que se pueden dividir en tres categorías:

a) Productos químicos básicos e intermedios.- se refiere a las primeras transformaciones de la materia prima de manera que se obtengan productos químicos orgánicos e inorgánicos que servirán para fabricar los demás productos químicos.

b) Productos químicos funcionales.- incluye productos como polímeros, fibras sintéticas, hules, fertilizantes, pesticidas, medicamentos, agentes para limpieza, explosivos, adhesivos, recubrimientos, cosméticos, metales y otros productos semi elaborados.

c) Aditivos y especialidades de uso específico.- considera productos como colorantes, tintas, pigmentos, saborizantes, aromatizantes, estabilizadores, retardadores de flama, aditivos, catalizadores y otros productos para usos específicos.

Todos estos productos químicos, de cualquiera de las categorías, tienen aplicaciones en muchas ramas de los sectores primario, secundario y terciario como pueden ser: transformación de minerales y metales, pulpa y papel, fibras y textiles, industria de alimentos, vidrio, bebidas, tabaco, productos de hule, productos plásticos y otras ramas que

tienen que ver con la industria metalmeccánica, minería, agricultura, pesca, construcción y generación de servicios.

Finalmente, ya que todos los productos hayan pasado por sus transformaciones respectivas y que lleguen al consumidor final, cubrirán necesidades como son la alimentación, vestido, casa, servicios médicos, actividades del hogar, recreación, educación y cultura.

En resumen, los productos derivados de la industria química son de mucha importancia en las actividades económicas en general ya que están ligados directa o indirectamente con casi todos los sectores de la economía y son utilizados en la fabricación de productos de consumo para el bienestar de la sociedad.

Habiendo analizado tanto a la industria química como a los productos que se derivan de ella, se puede observar que es uno de los sectores industriales más importantes y que tendrá mucho potencial de desarrollo en el futuro.

## CAPITULO 2

### **EL POLIESTIRENO Y SUS USOS**

#### **DESCRIPCION**

El poliestireno es un plástico que se obtiene a partir de la polimerización del estireno, que es un derivado petroquímico. Es uno de los polímeros más utilizados en la actualidad por tener buenas propiedades mecánicas y por su versatilidad para múltiples usos.

Los tipos comerciales de poliestireno tienen pesos moleculares ponderables promedio de 200 mil a 300 mil y se obtienen con los procesos de manufactura convencionales, aunque existen también métodos para obtener poliestirenos de bajo peso molecular que no se utilizan comercialmente.

El poliestireno es un polímero que se incluye, junto con el polietileno de alta y baja densidad, el cloruro de polivinilo y el polipropileno, dentro del grupo de los llamados "commodities" caracterizados porque se producen en volúmenes muy grandes y porque tienen un precio bajo relativo con otros polímeros que se producen en menor volumen.

#### **FUENTES DE OBTENCION DE POLIESTIRENO**

El poliestireno proviene, como ya se mencionó, del estireno, el cual a su vez se obtiene del etil-benceno, con las siguientes interrelaciones aproximadas:

- a) El 95% del etil-benceno se obtiene a partir de la alquilación de benceno y etileno y el resto a partir de la separación de éste en la producción de xilenos. Prácticamente todo el etil-benceno es utilizado para producir estireno.
- b) El 95% del estireno deriva de la deshidrogenación del etil-benceno y el resto proviene de la deshidratación del metil-fenil carbinol. El 66% del estireno producido se destina a la manufactura de poliestireno, el resto es utilizado para fabricación de copolímeros como

ABS, SAN, estireno-butadieno, látices y hules sintéticos y poliésteres insaturados.

c) Todo el poliestireno producido comercialmente es de cualquiera de los tres tipos siguientes: uso general, impacto y expansible, que se explican a continuación.

### **TIPOS DE POLIESTIRENO**

Existen muchas variaciones de poliestireno (PS) debido a las diferencias que se pueden presentar en sus propiedades, tamaños y usos, pero estos tipos se pueden agrupar de manera general en tres categorías:

#### Poliestireno de uso general (GPS)

Esta es una resina termoplástica de alto peso molecular. En ausencia de pigmentación presenta una apariencia incolora y cristalina, por lo cual también es llamado poliestireno cristal y se obtiene en forma granular. Se produce en diferentes grados con ayuda de diversos aditivos variando el peso molecular de la resina para facilitar su uso en los procesos de moldeo y extrusión. Los usos finales más comunes de este tipo de poliestireno son empaque, artículos domésticos y una gran variedad de artículos comerciales.

#### Poliestireno modificado o impacto (IPS)

Los grados de poliestireno impacto se modifican con elastómeros de polibutadieno. Los grados de alto impacto contienen aproximadamente 7% de elastómero y los de mediano impacto contienen un 5%. El poliestireno modificado es diferente al poliestireno cristal ya que mejora la rigidez de la resina al formarse un arreglo reticulado entre el poliestireno y el elastómero de polibutadieno. Los usos predominantes de estas resinas están en moldeo por inyección.

### Poliestireno expansible (EPS)

Consiste en pequeñas esferas de poliestireno las cuales se pueden expandir con calor y generalmente son compactadas o termoformadas. Se utiliza para fabricación de productos de espuma moldeados y también existen diferentes grados y tamaños.

El poliestireno puede contener hasta un 0.1% de monómero de estireno residual para muchas de sus aplicaciones a excepción de las llamadas "aplicaciones para comida" que son en las que se usa el poliestireno para empaque o para utensilios de comida, donde sólo se permite poliestireno con un contenido no mayor de 0.04% de monómero residual.

Estos son los tipos principales de homopolímeros de poliestireno, los cuales pueden estar pigmentados para presentar alguna coloración. Sin embargo, existen copolímeros y terpolímeros que involucran al monómero de estireno como son las resinas de ABS (que se forman con acrilonitrilo, butadieno y estireno), las resinas SAN (acrilonitrilo y estireno), copolímeros y látices SB (estireno y butadieno) y otros elastómeros termoplásticos, que son todos también de importancia y que se fabrican en volúmenes considerables, principalmente el ABS.

Para efectos de la presente tesis, únicamente se considerarán los homopolímeros de poliestireno en sus tres tipos (GPS, IPS y EPS) y mientras no se indique lo contrario, estos tres grupos se tomarán como un total y serán llamados simplemente poliestireno (PS).

### **MERCADO**

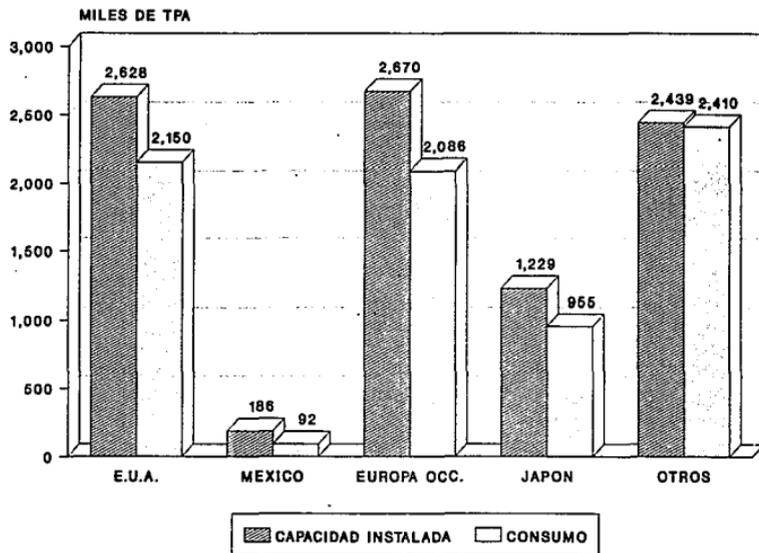
En la década de los ochentas el crecimiento en la demanda mundial de poliestireno fue del 7.1%, alcanzándose una capacidad instalada total de 9.1 millones de toneladas en el año de 1988. El volumen de consumo de la resina, por su parte, alcanzó un valor de 8.6

millones de toneladas en 1990. Se espera un crecimiento de 2.6% anual promedio para la primera mitad de la década de los noventas.

En México la demanda total en 1990 ascendió a 113 mil toneladas, representando un crecimiento anual promedio de 6% para la segunda mitad de la década de los ochentas, existiendo en 1988 una capacidad instalada de 186 mil toneladas por año. En el periodo de 1991-96 el crecimiento promedio estimado será del 1% anual unicamente, debido a la sobreoferta del mercado.

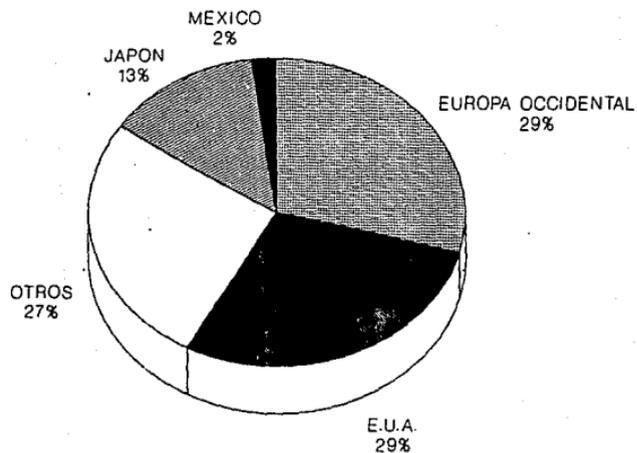
A continuación se muestran gráficas con datos sobre capacidad instalada y consumo mundial de poliestireno, así como las proporciones de capacidad y de consumo de poliestireno entre los diferentes países o regiones del Mundo.

**FIGURA 1. CONSUMO Y CAPACIDAD INSTALADA  
MUNDIAL DE POLIESTIRENO EN 1987**



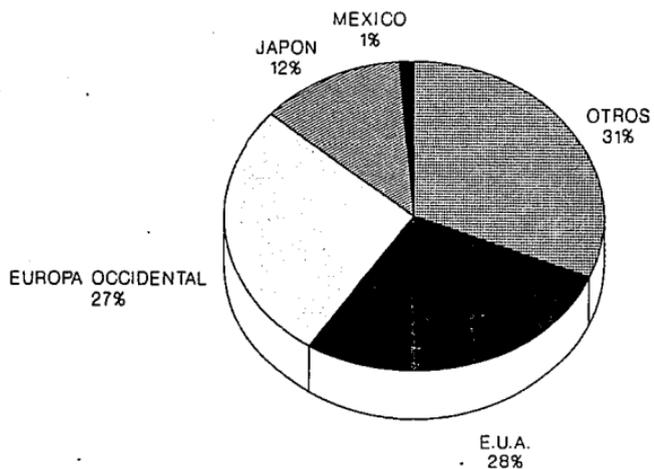
FUENTE: CEH - SRI INTERNATIONAL

**FIGURA 2. CAPACIDAD INSTALADA MUNDIAL  
DE POLIESTIRENO EN 1988**



**FUENTE: CEH - SRI INTERNATIONAL**

**FIGURA 3. CONSUMO MUNDIAL DE  
POLIESTIRENO EN 1987**



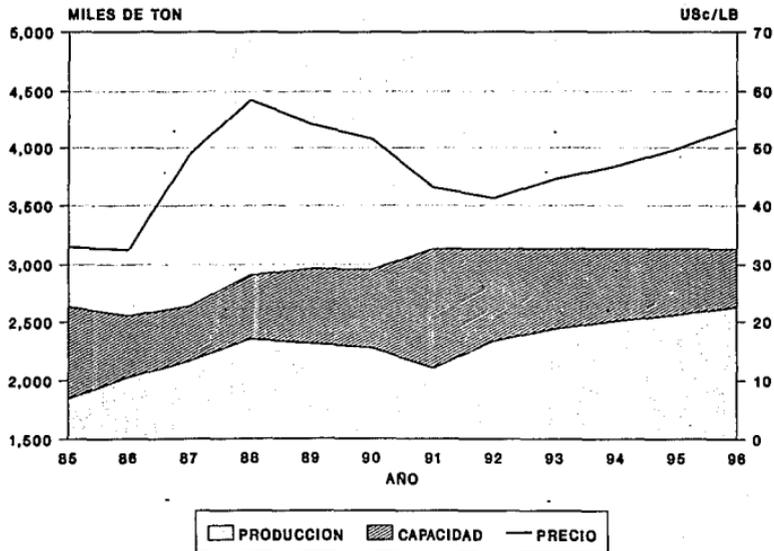
**FUENTE: CEH - SRI INTERNATIONAL**

Como se puede notar en la Figura 1, la capacidad instalada de poliestireno sobrepasa significativamente al consumo aparente y, por ende, a la producción. Esto quiere decir que el mercado está sobreofertado, lo cual origina una presión a la baja en los precios de la resina y ocasiona que parte de la capacidad instalada esté desaprovechada ya que los productores tienen que mantener niveles de operación bajos (cercaos al 70%). Esta situación se debió principalmente a un crecimiento muy grande en la capacidad instalada durante la segunda mitad de la década de los ochentas tanto en los países industrializados como en los países en desarrollo.

En la actualidad, el mercado mundial de poliestireno se encuentra deprimido, pues adicionalmente al problema de la sobreoferta se encuentra la recesión económica que se sufre actualmente en muchas partes del Mundo, particularmente en Estados Unidos. Sin embargo, hay signos de recuperación en la economía mundial y esto equilibrará al mercado del poliestireno cuyos precios se deberán haber reforzado para el año de 1993, pues se espera que la demanda tenga crecimiento mayor que el de la capacidad instalada, reduciéndose así el efecto de la sobreoferta.

En la Figura 4, a continuación, se muestran datos de capacidades, producción y precios del mercado de Estados Unidos, y se puede apreciar mas claramente la sobreoferta del mercado.

**FIGURA 4. CAPACIDAD/PRODUCCION/PRECIO DE POLIESTIRENO EN EUA**



FUENTE: PACE PETROCHEMICAL SERVICE

En México se cuenta con una capacidad instalada de poliestireno sobrada, lo cual permite que se trate de un país notadamente exportador. Para el mercado mexicano, en el futuro no se esperan aumentos significativos ni del consumo ni de la capacidad instalada, por lo que México seguirá siendo exportador de resinas de poliestireno.

Con la actual política de apertura de la industria mexicana a los mercados internacionales, a los productores de México se les presenta un problema que disminuye en parte sus ventajas competitivas contra las compañías extranjeras, y este es la falta de integración, particularmente vertical. Debido a que PEMEX es el único productor de monómero de estireno en México, en ocasiones los productores se tienen que ver obligados a importar el monómero a nuestro país, reduciendo así sus márgenes de operación. Esto se hace evidente al considerar a alguno de los productores extranjeros que no sólo esté integrado al monómero de estireno, sino que probablemente también en toda la cadena de petroquímicos y hasta inclusive en la misma extracción del petróleo. Si se adiciona a esto que ese productor extranjero se puede apoyar en las economías de escala debido a los grandes volúmenes que produce, el panorama se torna difícil para los productores mexicanos.

## CONSUMO

El poliestireno se encuentra firmemente establecido en sus mercados, y la demanda a largo plazo para sus usos principales permanecerá estable. Sin embargo, habrá dos posibles motivos que podrán hacer mella en la demanda de este producto: primero, el problema de la basura en áreas urbanas podrá traer una disminución en el consumo de poliestireno especialmente en empaques de comida; segundo, el alto precio del poliestireno relativo a los otros plásticos "commodities", lo hace susceptible a ser sustituido en algunas aplicaciones. El suscedáneo más importante del poliestireno es el polipropileno, el cual ha quitado ya una considerable porción de mercado al poliestireno en los años recientes. Por otro lado, la continua innovación de productos, principalmente en el área de compuestos plásticos (del inglés "composite") deberá compensar en alguna manera la pérdida en consumo de poliestireno.

El consumo de poliestireno dependiendo del tipo se distribuye de la siguiente manera:

Tabla 1  
Consumo de PS por tipo en EUA para 1987  
(%)

Cristal (GPS)	41.1
Impacto (IPS)	47.9
Expansible (EPS)	11.0
	-----
	100.0

Fuente: Chemical Economics Handbook - SRI International

## USOS

El poliestireno es un polímero con usos más diversos que otros plásticos debido a sus excelentes propiedades físicas, facilidad de fabricación y moldeo y bajo costo con respecto a otros polímeros.

Los usos del poliestireno se pueden clasificar en las siguientes categorías según su uso final:

Tabla 2  
Usos del PS por uso final en EUA  
(% del total)

Empaque	34.8
Construcción	11.4
Artículos para el hogar, de consumo y muebles	11.2
Artículos eléctricos y electrónicos	10.3
Artículos para comida	8.9
Juguetes, artículos deportivos y de recreación	8.4
Moldeo misceláneo comercial e industrial	5.5
Otros usos	9.5
	----- 100.0

Fuente: Chemical Economics Handbook - SRI International

### Empaque

Alrededor de la tercera parte del poliestireno que se produce se consume en empaque, el cual puede ser muy variado. Algunos ejemplos son: contenedores de bebidas, de comida y de productos lácteos, charolas, cartones de huevo, botellas, frascos, envolturas y

empaques sueltos ("loose-fill").

### Construcción

Los usos del poliestireno en la construcción incluyen los siguientes ejemplos: láminas utilizadas como aislantes que se aplican en paredes y techos, puertas de closets, puertas transparentes de regaderas, tuberías, apagadores y difusores de luz, láminas para separar placas de concreto y en general una diversidad de productos moldeados o extrudados usados en construcción. El poliestireno se puede usar también combinado con otros productos como fibra de vidrio y látex para diferentes aplicaciones.

### Artículos para el hogar, de consumo y muebles

Esta categoría incluye una gran cantidad de productos. En los artículos para el hogar se pueden considerar platos para jabón, agarraderas de utensilios de cocina, saleros y platos. Ejemplos de artículos de consumo pueden ser maletas para equipaje, hieleras, charolas, macetas y regaderas de plantas. En la industria de la mueblería el poliestireno se usa de diferentes maneras para la manufactura de muebles como puede ser en patas de sillas, recargadoras de brazos y espalda y otros componentes decorativos. También se puede utilizar el poliestireno en otros usos como son marcos de fotografías y espejos, divisores de cuartos y asientos de retretes.

### Artículos eléctricos y electrónicos

En este grupo hay usos de poliestireno en compartimientos, charolas y cubiertas de refrigeradores, gabinetes de televisores y aparatos de sonido, manijas y consolas de máquinas lavadoras y componentes de aires acondicionados. También se utiliza para videocassettes, cajas de compact discs y cassettes de audio, partes de equipos de audio y

video, partes de computadoras y calculadoras, artículos fotográficos, aspiradoras, relojes, cronómetros y secadores de pelo. En algunas de estas aplicaciones el poliestireno se combina con algún retardador de flama.

#### Artículos para comida

Esta categoría incluye platos, cubiertos, vasos y en general artículos auxiliares para servir comida, lo cual ha tenido un buen crecimiento por la conveniencia y economía de usar artículos desechables. Cabe hacer una distinción entre los productos de esta categoría y los que se incluyeron en la categoría de **Empaque** (que también se podían referir a comida) ya que en la presente categoría se incluyen solamente los artículos auxiliares para comida, y en la categoría de empaque se habla de productos que "contienen" comida al momento de llegar al consumidor final.

#### Juguetes, artículos deportivos y de recreación

El poliestireno es utilizado en la manufactura de juguetes y juegos de recreación y también para artículos deportivos. Ejemplos de esto son las partes de cañas de pescar, juegos para armar y juguetes eléctricos.

#### Moldeo misceláneo comercial e industrial

Ejemplos de usos de poliestireno en esta categoría son: letreros, ganchos de ropa, manijas, botones, agarraderas de herramientas y partes automotrices, entre otros.

#### Otros usos

Aquí se incluyen productos de poliestireno para artículos medicinales y auxiliares de oficina y escuela como charolas para papeles, cajas de lápices y de crayones.

**PRECIO**

Con el fin de redondear más las generalidades del poliestireno se presentan a continuación precios promedio anuales de este polímero en el mercado internacional:

**Tabla 3**  
Precios del Poliestireno uso general  
(en US\$/lb)

Año	Precio
1987	48.9
1988	58.5
1989	54.2
1990	51.6
1991 (1)	43.2

(1) hasta el mes de octubre.

Fuente: PACE Petrochemical Service

El poliestireno cristal tiene un precio ligeramente menor que el del poliestireno impacto siendo el mayor de los tres el expansible.

El precio del poliestireno está en función de muchas variables, sin embargo, por la naturaleza cíclica de la industria petroquímica y de sus mercados, se puede ver la tendencia de los precios en los últimos 5 años, pasando por una época de crecimiento y de mayor demanda reflejada en el precio alto de la resina y encontrándose ahora en una etapa recesiva la cual se vive en muchos sectores de la economía, agravada por la sobrecapacidad (exceso de oferta) que presiona los precios a la baja. A pesar de esto se espera una recuperación de precios para 1993, pues ya hay signos de mejora en la economía mundial y volverá a crecer la demanda de este producto.

## **PRINCIPALES COMPAÑÍAS PRODUCTORAS**

En la tabla 4 mostrada a continuación se mencionan los principales productores de poliestireno a nivel mundial, desglosados por regiones e indicando la capacidad instalada de cada uno de ellos. Por lo general estas compañías producen los tres tipos de poliestireno: cristal, impacto y expansible. En la capacidad que se muestra no se hace diferencia del tipo de poliestireno que se fabrica.

La capacidad instalada que se indica en la tabla representa la suma de las capacidades que tienen las compañías en cada una de sus localidades o complejos industriales, para así conocer y comparar únicamente la capacidad global de la compañía. Además, cada productor utiliza un proceso de manufactura específico que puede ser diferente al de las demás compañías, como se explicará en el siguiente capítulo.

Para todos los países a excepción de México se mencionan únicamente los productores con capacidad instalada más grande, pues son las empresas que tienen mayor participación en los mercados, ya sean locales o internacionales.

En el caso de México se muestran todas las compañías productoras del territorio nacional, y de estas solamente dos producen poliestireno expansible: PRODESA y NARSA (recientemente comprada por el Grupo Polímeros de México).

Tabla 4  
Principales productores de Poliestireno  
(datos de 1988)

País	Compañías más importantes	Capacidad anual (miles de ton)
EUA	Amoco Chemical Co.	141
	ARCO Chemical Co.	247
	BASF Corp.	82
	Chevron Corp.	218
	Dow Chemical USA	468
	Fina Oil & Chemical Co.	515
	Huntsman Chemical Co.	510
	Mobil Corp.	232
	Monsanto Co.	91
	Novacor (antes Polysar Group)	263
Canadá	Dow Chemical Canada Inc.	84
	Huntsman Chemical Co. Canada	8
	Polysar Energy & Chemical Corp.	71
México	Aislantes y Acústicos de Monterrey	6
	Industrias Ebroquímex	2
	Industrias Resistol	72
	Mario Orozco Obregón	1
	Monoquímica	1
	Poliestireno y Derivados (POLIDESA)	50
	Nacional de Resinas (NARSA)	21
	Poliolios	25
Productos de Estireno (PRODESA)	7	

Tabla 4 (continuación)

Pafs	Compañías más importantes	Capacidad anual (miles de ton)
Bélgica	BASF Antwerpen NV	140
	Dow Chemical Belgium NV	70
	Finamont	100
Francia	Atochem SA	150
	Norsolor SA	240
	Produits Chimiques BP	165
Alemania	BASF Aktiengesellschaft	460
	Huels Aktiengesellschaft	174
Italia	Montedipe SpA	145
Holanda	Bredase Polystyreen Maatschappij	150
Reino Unido	Dow Chemical Co. Ltd.	80
	Shell Chemicals UK, Ltd.	50
Japón	Asahi Chemical	284
	Denka	135
	Idemitsu Petrochemical Co. Ltd.	90
	Mitsubishi Monsanto Chemical Co.	160
	Nihon Polystyrene Co. Ltd.	90
	Toyo Polystyrene Industries Co. Ltd.	128

Fuentes: Chemical Economics Handbook - SRI International  
Anuario de ANIQ

## **TRANSFORMACION POSTERIOR DEL POLIESTIRENO**

Una vez obtenido el poliestireno se puede decir que la parte "química" está concluida, ya que ésta va desde que se tiene la materia prima, prosiguiendo con la polimerización para después extruir y cortar para obtener el "pellet" (pastilla) de poliestireno cristal o impacto, o bien la esfera de poliestireno expansible. El paso posterior consiste en la obtención de los artículos específicos de consumo final por medio de inyección, extrusión o termoformación, lo cual ya no necesariamente es realizado por las compañías químicas sino por empresas o subsidiarias dedicadas al moldeo, al laminado, o en general a la manufactura de productos de poliestireno.

El tema expuesto en esta tesis se refiere a la fabricación del poliestireno como tal, es decir, se llegará hasta la obtención del "pellet" sin importar el uso que se le dé posteriormente; por ello a continuación se hablará de los procesos de manufactura del poliestireno, para luego analizar la curva de inversión - capacidad de uno de estos procesos en el caso de poliestireno de uso general.

### CAPITULO 3

#### PROCESOS DE FABRICACION DE POLIESTIRENO

##### **POLIMERIZACION DEL ESTIRENO**

Existen básicamente cuatro métodos para polimerización del estireno: bulk (en masa), suspensión, emulsión y solución, cuya operación puede ser continua o intermitente (batch); también existe el proceso híbrido bulk-suspensión que empieza como un proceso bulk y termina como uno de suspensión. Todos estos procesos involucran mecanismos de polimerización por radicales libres a excepción de proceso de solución. Las polimerizaciones por mecanismos catiónicos y aniónicos, aunque factibles, no se utilizan en la industria.

En realidad no todos estos métodos se utilizan comercialmente, como se verá más adelante, pero se ha comprobado que sirven para fabricar alguno de los diferentes tipos de poliestireno: de uso general (GPS), impacto (IPS) y expansible (EPS).

Las propiedades del poliestireno de resistencia a la tensión, a la flexión, al impacto, temperatura de deformación y flujo, dependen de su distribución de pesos moleculares, los cuales son controlados por las condiciones de operación del proceso del que se trate, como son la temperatura, la agitación, el tiempo de residencia, y la cantidad y calidad de los aditivos; estas condiciones pueden ser variadas para obtener diferentes tipos de poliestireno.

##### **MÉTODOS DE POLIMERIZACION**

###### Polimerización bulk (en masa)

En este método, el estireno es calentado para iniciar la polimerización por radicales libres. La reacción se lleva a cabo en etapas, a temperaturas sucesivamente crecientes, ya

que la reacción es exotérmica. La mezcla reaccionante es viscosa pues consta de estireno y poliestireno, y esta viscosidad debe ser controlada conforme aumenta la concentración del poliestireno por medio de la adición de tolueno o etil-benceno, pues esto facilita la transferencia de calor ayudando a controlar la temperatura.

La operación de este método involucra un reactor tipo tanque "kettle" con un agitador helicoidal. Ya que se ha alcanzado un grado de conversión avanzado la mezcla se descarga en una torre no agitada para completar la reacción.

El método bulk continuo consta de dos o más reactores colocados en serie. Los reactores pueden ser de dos tipos; los primeros son reactores continuos tipo tanque agitado (CSTR) que permiten el retomezclado y los segundos son de flujo tipo tapón, ya sean tubulares o en torre, que casi no permiten el retomezclado. Por razones de transferencia de calor, los reactores tipo CSTR son mejores cuando la conversión es baja y por el contrario, los de flujo tipo tapón son mejores cuando la conversión es alta, pues estos reactores son equivalentes a tener un gran número de reactores CSTR operando en serie.

La reacción se puede llevar a cabo hasta que se alcance la máxima conversión pero lo que se hace generalmente es retirar la mezcla cuando la conversión ha alcanzado el 70-80% y el estireno sin reaccionar se recupera por medio de un devolatilizador para ser recirculado.

El proceso en operación intermitente es aparentemente más simple, pero la remoción de calor puede ser un problema grande y se obtiene un producto con pesos moleculares muy variados, por eso no es usado comercialmente. El proceso continuo, por su parte, tiene el problema mecánico derivado del manejo de la mezcla viscosa.

En la práctica, casi todos los procesos bulk son de operación continua y son aplicables tanto para fabricación de GPS como de IPS, con la principal diferencia que en el caso del IPS se adicionan desde el principio elastómeros de polibutadieno junto con un antioxidante

como estabilizador, aceite mineral como lubricante y otros aditivos como mercaptanos y compuestos bromados cuya cantidad dependerá del tipo de IPS que se requiera. Además, como las características de la mezcla reaccionante son diferentes para el caso del GPS y del IPS, siendo la segunda más viscosa, puede darse el caso de que los agitadores de los tanques CSTR tengan que ser distintos y que se deban incluir equipos adicionales para realizar la mezcla previa necesitada por el IPS.

El método bulk es muy versátil y ofrece ventajas como son la obtención de un producto uniforme con alta claridad y excelente color.

#### Polimerización por suspensión (y por bulk - suspensión)

Cuando el estireno es polimerizado en una suspensión acuosa, se obtienen conversiones muy altas y el calor exotérmico es fácilmente absorbido, pero como la velocidad de reacción en estas condiciones es baja se tiene que adicionar un iniciador químico; además, se requiere un agente para formar la suspensión y después es necesario separar y secar el producto de la reacción. Todo esto hace que el costo de producción de poliestireno usando el método de suspensión sea mayor que con el método bulk. Inclusive, el GPS producido con este método puede contener impurezas y será menor su transparencia. Sin embargo, resulta muy ventajoso para fabricar EPS pues el agente para el soplado, generalmente pentano, puede ser distribuido y absorbido con mayor facilidad.

Este método utiliza un reactor enchaquetado vertical agitado en el cual se introducen una corriente de estireno y otra con agua, los aditivos correspondientes, el iniciador y el agente para formar la suspensión. Los iniciadores pueden ser de baja y de alta temperatura, según la temperatura a la cual muestran su mejor actividad, siendo el principal de estos el peróxido de benzofl. Un iniciador adecuado en determinadas condiciones del proceso suele reducir favorablemente la cantidad de estireno residual en la mezcla.

Los agentes para formar la suspensión pueden ser coloides, siendo el principal ejemplo una combinación que consta de alcohol polivinílico y óxido de zinc tratados con un surfactante, esta mezcla protege muy bien la suspensión.

Una vez terminada la polimerización se remueven los agentes de la suspensión por medio de un lavado y el producto es centrifugado y secado.

El método de tipo bulk-suspensión se utiliza para la fabricación de IPS donde un reactor bulk intermitente precede al reactor de suspensión para facilitar el mezclado del elastómero y el estireno, para después continuar con el método de suspensión explicado anteriormente.

#### Polimerización por emulsión

El método de emulsión involucra agua como portador de la mezcla, junto con un agente emulsificante. La reacción se lleva a cabo en un reactor kettle y es rápida y con excelente remoción del calor de reacción, obteniéndose partículas de PS muy pequeñas. Los problemas que se pueden presentar son la contaminación del polímero con agua y con los agentes emulsificantes, claridad y color deficientes y distribución de pesos moleculares muy amplia. La operación de este proceso es intermitente y su uso comercial es muy limitado, ya que aunque el método es importante para la producción de ABS, para fabricar PS no se utiliza debido a que los costos de recuperación del polímero son muy elevados.

#### Polimerización por solución

En principio, este método es muy parecido al método bulk con la diferencia de que el estireno es acompañado por un disolvente que puede ser etil-benceno o algún xileno. Este método permite, además de la polimerización por radicales libres, la polimerización iónica

por medio de la adición de un catalizador catiónico o aniónico junto con el disolvente, siendo que con el primero se obtiene un producto de bajo peso molecular, y con el segundo una distribución de pesos moleculares muy pequeña. Debido a que la presencia del disolvente disminuye la concentración del monómero, la velocidad de la reacción disminuye usando este método; además, existe dificultad para mantener una buena coloración del producto y para remover el disolvente y el catalizador residual. Sin embargo, este método se puede utilizar para producir copolímeros como los de estireno-butadieno.

Resumiendo, los métodos de polimerización que se utilizan comúnmente para fabricar los diferentes tipos de poliestireno son:

**Tabla 5**  
Métodos de producción de PS

<b>METODO</b>	<b>PARA FABRICACION DE</b>
Bulk continuo	GPS e IPS
Suspensión batch	IPS y EPS (también puede ser GPS)
Bulk-suspensión batch	IPS

Fuente: PEP Report 176 - SRI International

Aunque el poliestireno impacto (IPS) se fabrica con el método bulk continuo o bien con el método de suspensión intermitente o bulk-suspensión la tendencia de la tecnología es hacia el método bulk continuo debido a la gran versatilidad que ofrece para fabricar los diferentes tipos de PS impacto.

## **PROCESOS DE FABRICACION COMERCIALES**

En esta tesis se hará únicamente la evaluación del método bulk continuo, concretamente para la fabricación de poliestireno de uso general (GPS). Esto se debe principalmente a que con los otros métodos para fabricar el IPS y el EPS hay más variables involucradas, pues existen otras materias primas y la diversidad de productos finales es mucho mayor. En lo sucesivo, al hacer referencia del poliestireno se estará hablando únicamente de GPS, para que todo el análisis sea consistente.

A nivel industrial existen diferentes procesos de manufactura comerciales para fabricar poliestireno, todos utilizando el método bulk continuo o de suspensión. Sin embargo, entre estos procesos existen variaciones en cuanto a los equipos utilizados, a las etapas de que se compone, al rendimiento, a la pureza del producto, etc. y esto dependerá de la empresa que haya desarrollado y licenciado la tecnología del proceso.

### **Licenciamiento de tecnología**

Es común que una empresa decida comprar tecnología de un licenciador, ya sea porque no cuente con los recursos suficientes para desarrollar una tecnología propia o bien porque tiene interés en adquirir algún tipo de asociación con el licenciador y asegurar también asesoría tecnológica.

Cuando se desarrolla una tecnología propia se deben hacer inversiones en investigación, en trabajo de planta piloto y en diseño, y esto presenta muchas complicaciones cuando no se tiene el "know-how" (saber como hacerlo) que se obtiene a través de la experiencia.

Las compañías químicas más grandes han desarrollado las tecnologías para la mayoría de sus procesos de manufactura debido a que invierten una parte considerable de sus utilidades en investigación y desarrollo. Por el contrario, las empresas medianas o

pequeñas que no tienen tecnologías propias necesitan comprarla de los licenciadores, por medio de contratos de transferencia de tecnología donde se especifiquen todos los permisos y las patentes involucradas; este es el caso de la mayoría de las compañías químicas mexicanas.

No se puede decir si es más o menos económico desarrollar o comprar una tecnología determinada pues depende de muchos factores y puede ser variable según el tipo de producto que se quiera fabricar. En el caso de los procesos para producir poliestireno, generalmente se considera menos costoso comprar la tecnología de algún licenciador dado que se requiere un extenso trabajo de investigación y a que el producto y sus procesos de manufactura tienen un cierto grado de madurez y uniformidad adquirida a lo largo de los años; además el riesgo que se corre en cuanto a tiempo e inversión global es menor cuando se compra la tecnología, pues se aprovechan la experiencia y la asesoría del licenciador.

Un factor que se debe evitar es la excesiva dependencia con los licenciadores de tecnología, por lo que es recomendable para cualquier empresa, por pequeña que esta sea, tener infraestructura y programas de investigación y desarrollo, para así adquirir experiencia en el ramo y de esta manera poder depender menos del licenciador.

Se presentan a continuación algunos de los procesos comerciales para producir poliestireno según las compañías que desarrollaron la tecnología.

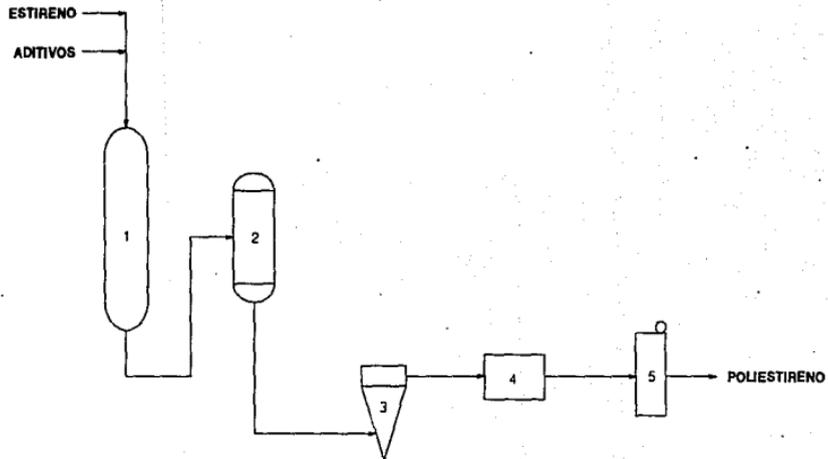
### Tecnología ARCO ("ARCO Technology Inc.")

Siendo uno de los productores de poliestireno más experimentados, ARCO Technology tiene un proceso de suspensión que es muy flexible, con plantas "hechas a la medida" donde se pueden producir GPS, IPS y EPS.

En este proceso el estireno es polimerizado en un medio acuoso que contiene los iniciadores y agentes de dispersión y suspensión. El estireno es polimerizado dentro de los reactores batch hasta que se alcanza el grado de polimerización deseado. El polímero es pasado a un tanque de lavado donde se remueven impurezas y luego se elimina el agua por medio de centrifugación y secado. Posteriormente el producto es pasado a una pelletizadora y a una clasificadora.

A continuación se muestra el diagrama de flujo de este proceso.

**FIGURA 5. DIAGRAMA DE FLUJO  
DE LA TECNOLOGIA ARCO**



- 1 REACTOR BATCH
- 2 TANQUE LAVADOR
- 3 CENTRIFUGA
- 4 SECADOR
- 5 PELLETIZADOR

FUENTE: HYDROCARBON PROCESSING

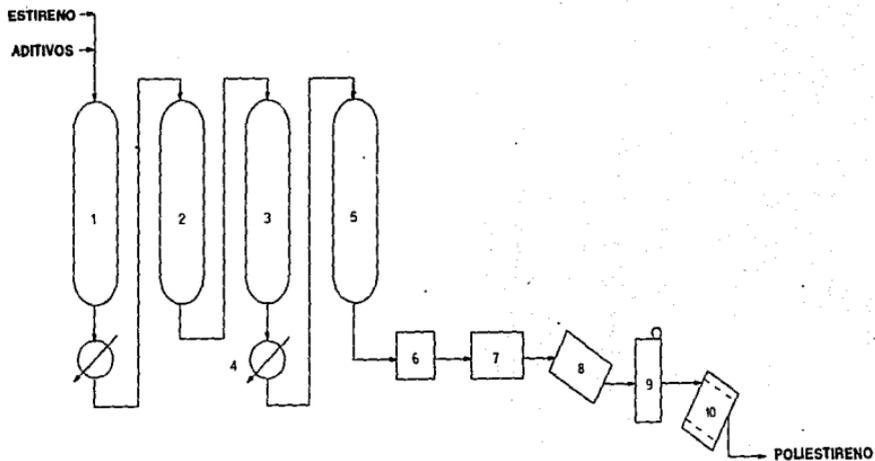
### Proceso Badger ("Badger Polystyrene Process")

El proceso Badger es de polimerización tipo bulk continuo, en el cual se adicionan el estireno y los aditivos a un prepolimerizador donde se mezclan y se comienza la polimerización, controlándose la velocidad de la reacción para mantener la calidad del producto final. La mezcla semipolimerizada se bombea continuamente a una torre de polimerización donde se concluye la reacción. Posteriormente se aumenta la temperatura de la mezcla para pasarla después a un devolatilizador donde se remueve el monómero residual. Finalmente el poliestireno llega a un extrusor para después ser enfriado, secado y pelletizado, pasando entonces al área de clasificación y empaçado.

Con este proceso se obtiene un producto con muy bajo contenido de monómero residual, que puede cumplir con los requerimientos necesarios para ser usado en empaquetamiento de comida y que será útil para la mayoría de las aplicaciones en inyección, extrusión y termoformación.

A continuación se representa este proceso en un diagrama de flujo.

**FIGURA 6. DIAGRAMA DE FLUJO  
DEL PROCESO BADGER**



1 TANQUE DE ALIMENTACION  
2 PREPOLIMERIZADOR  
3 TORRE DE POLIMERIZACION  
4 INTERCAMBIADOR DE CALOR  
5 DEVOLATILIZADOR

6 PIGMENTADOR  
7 ENFRIADOR  
8 SECADOR  
9 PELLETIZADOR  
10 TAMIZADOR

FUENTE: HYDROCARBON PROCESSING

### Tecnología Cosden ("Cosden Technology Inc.")

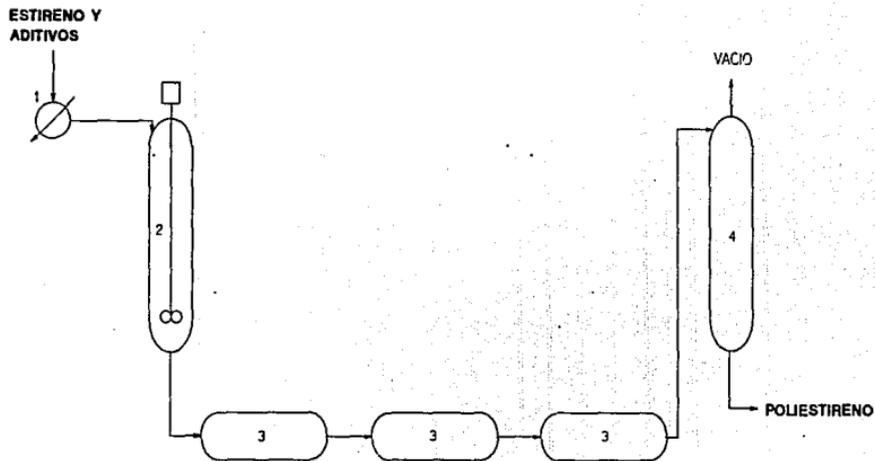
En este proceso bulk continuo el monómero de estireno, los aditivos y el solvente reciclado son precalentados antes de entrar al prepólimerizador que es un reactor agitado. A continuación la mezcla es bombeada a una serie de reactores de flujo taponado horizontales donde se controla la reacción por medio de la eliminación del calor exotérmico de la reacción. No se requieren catalizadores y la velocidad de reacción se controla únicamente por medios térmicos.

El polímero que proviene de los reactores es pasado a un sistema de devolatilización al vacío donde se remueven el estireno sin reaccionar y el solvente los cuales son reciclados. El polímero derretido es pasado por un extrusor y enfriado con agua para pasar a una máquina pelletizadora de múltiples cuchillas. Los pellets son clasificados y empacados.

Este es un proceso muy utilizado pues se puede obtener un producto con muy buenas propiedades. Se calcula que cerca de 500 mil ton de la capacidad instalada mundial de poliestireno usan esta tecnología.

En la siguiente página se muestra el diagrama de flujo de este proceso.

**FIGURA 7. DIAGRAMA DE FLUJO  
DE LA TECNOLOGIA COSDEN**



- 1 PRECALENTADOR
- 2 PREPOLIMERIZADOR
- 3 REACTORES DE FLUJO TAPON
- 4 DEVOLATILIZADOR

FUENTE: HYDROCARBON PROCESSING

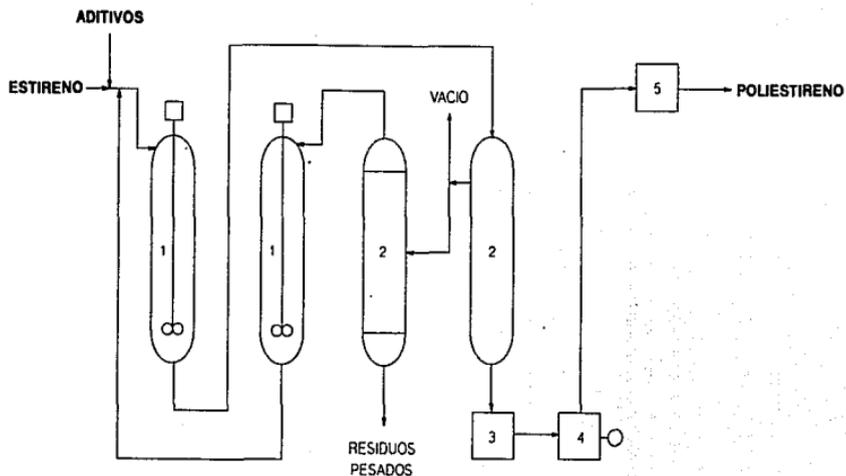
### Proceso Gulf Oil Chemicals

En este proceso continuo se alimentan, pasando por una serie de precalentadores, el estireno, el iniciador y la mezcla reciclada a una serie de reactores tipo tanque agitado donde se realiza la polimerización controlándose automáticamente los parámetros de temperatura y tiempos de residencia. A continuación la mezcla es bombeada a una unidad de devolatilización "flash" en dos etapas donde se reduce el monómero residual a menos del 0.1% sin un alto consumo de energía. La mezcla caliente se hace pasar por una malla y una pelletizadora sumergidas en agua para enfriar el producto. Los pellets son posteriormente secados, clasificados y almacenados.

Con este proceso se obtiene un producto con mucha uniformidad debido a su carácter continuo y la contaminación del mismo es mínima ya que todo el proceso está cerrado. Además es un proceso muy versátil y se le puede integrar un pigmentador.

A continuación se muestra el diagrama de flujo de este proceso.

**FIGURA 8. DIAGRAMA DE FLUJO DEL  
PROCESO GULF OIL CHEMICALS**



- 1 REACTORES AGITADOS
- 2 DEVOLATILIZADORES
- 3 MALLAS
- 4 PELLETTIZADORA
- 5 SECADO

FUENTE: HYDROCARBON PROCESSING

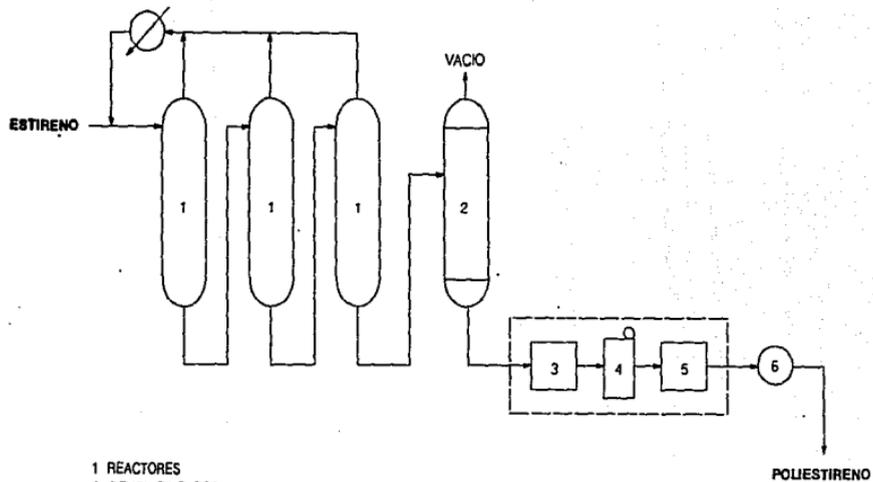
### **Proceso Monsanto**

Este proceso bulk continuo consiste en tres reactores agitados a los que se alimentan estireno, aditivos, nitrógeno y la mezcla recirculada que proviene de los reactores y del devolatilizador. Los reactores cuentan con un sistema que controla la reacción exotérmica, por medio de la evaporación de parte del monómero de estireno, y la mezcla de reacción tendrá diferentes tiempos de residencia en cada reactor. El polímero que sale del último de estos reactores se introduce en un devolatizador donde se retira el monómero residual hasta un valor menor de 0.1%. Una vez salido del devolatizador, el poliestireno pasa directamente a un módulo que está integrado al proceso donde se puede extruir, pelletizar, pigmentar, mezclar y/o laminar.

El producto que se obtiene con este proceso se caracteriza por tener una baja polidispersión, buena fluidez y procesabilidad; además se puede producir poliestireno cristal o impacto con versatilidad para múltiples aplicaciones como extrusión, inyección, biorientación, retardabilidad de flama, etc.

El diagrama de flujo de este proceso se presenta en la siguiente página.

**FIGURA 9. DIAGRAMA DE FLUJO  
DEL PROCESO MONSANTO**



- 1 REACTORES
- 2 DEVOLATILIZADOR
- 3 EXTRUSOR
- 4 PELLETIZADOR
- 5 PIGMENTADOR
- 6 SECADOR

FUENTE: PEP REPORT 176

## **ELECCION DEL PROCESO**

Como se puede observar en la descripción de los procesos comerciales, prácticamente todos son muy parecidos pues siguen la misma secuencia y utilizan equipos semejantes. Las diferencias principales entre estos son las características y tamaños de los equipos, y aunque existan también pequeñas diferencias en los tiempos de fabricación y en los rendimientos, se puede decir que con cualquier proceso se obtiene poliestireno con propiedades muy semejantes.

Por lo anterior, al evaluar los costos finales requeridos para cada uno de estos procesos, se encuentra que no existen diferencias significativas entre un proceso y otro, por lo cual se hará el análisis de la curva de inversión - capacidad para uno de ellos únicamente.

El proceso seleccionado es el Proceso Monsanto, el cual es bastante representativo como proceso de fabricación de poliestireno ya que es muy utilizado alrededor del Mundo, no sólo por Monsanto Company, sino que por otro buen número de productores.

## **DISCUSION DEL PROCESO**

El proceso Monsanto ofrece mucha versatilidad para la producción de diversos grados de poliestireno al cambiarse las condiciones de la reacción; en consecuencia, como se trata de un proceso continuo, existirán productos "intermedios" al momento de cambiar esas condiciones cuya cantidad puede ser significativa debido al tiempo de residencia que se requiere, que es de varias horas. Sin embargo, este producto puede ser vendido a un precio menor por deficiencias en algunas propiedades.

El producto que se obtiene tendrá un contenido de 0.1 - 0.2% de monómero residual. El poliestireno que se usa para utensilios de comida requiere de un contenido de monómero residual menor de 0.04%, lo cual puede ser logrado en este proceso mediante el uso de un extrusor "volatilizador" que tiene dos tornillos y que está conectado a un sistema de vacío,

a diferencia de los extrusores convencionales que sólo cuentan con un tornillo. De esta manera se obtiene un producto con 0.02% de monómero residual.

Una planta de esta naturaleza puede entregar producto terminado de tres maneras diferentes: a granel directamente a camiones o a carros de ferrocarril, en sacos de 25 kilos o en "pallets" de una tonelada, los cuales consisten en 40 sacos acomodados en una tarima y envueltos con carton y con polietileno. Estos últimos resultan más convenientes para los embarques destinados a exportación.

Si se evalúan los costos de producción del poliestireno se puede ver que el costo del estireno como materia prima es el factor que influye en mayor medida sobre el valor del producto, con esto se entiende porqué los mayores productores de poliestireno están integrados también a la producción de estireno, lo cual les otorga una ventaja competitiva en el costo de su producto.

## **CAPITULO 4**

### **CONCEPTOS PARA LA ELABORACION DE LAS CURVAS DE INVERSION - CAPACIDAD**

#### **ECONOMIAS DE ESCALA**

En prácticamente todos los procesos industriales se puede observar un fenómeno llamado economías de escala, que representa la reducción de los costos unitarios de producción conforme se aumenta la capacidad de una planta, tras ajustar óptimamente todos los insumos.

Este concepto se puede comprender mejor al considerar como ejemplo una planta con una cierta capacidad para fabricar algún producto, que tendrá asociados unos costos fijos y variables cuya suma será el costo total de producción. Si se duplicara la capacidad instalada de esa planta, los costos no necesariamente tendrían que ser del doble, ya que algunos de ellos, especialmente los fijos, permanecerían iguales o cambiarían muy poco. El resultado de esto sería que el costo de producción por cada unidad de producto se haría menor, lo cual se conoce como economías de escala. Desde este punto de vista se puede decir que **es más barato producir mucho** en lo que se refiere a costos de producción.

Los dos factores principales que afectan a las economías de escala son el factor humano y el tecnológico. El primero está basado en el hecho de que las actividades que tienen que realizar un determinado número de empleados y obreros no dependen demasiado de la capacidad instalada de una planta mientras exista un grado de especialización en el trabajo. Así, cuando un equipo con una capacidad determinada requiere de un operador, un equipo con el doble de capacidad requiere igualmente de uno y no de dos operadores, siempre y cuando el primero cuente con la capacitación y especialización apropiada. De alguna manera esto se podría interpretar como una mayor eficiencia en el trabajo del operador,

pues estaría produciendo el doble con el "mismo" trabajo, sin embargo se debe únicamente al efecto de las economías de escala.

El segundo factor, el tecnológico, afecta de manera semejante en las economías de escala. Al tener dos equipos iguales pero uno con una capacidad tres veces mayor que el otro, se observará que el equipo grande requiere menos del triple de inversión, ocupa menos del triple de espacio y no utiliza el triple de energía, con su consiguiente disminución relativa en costos.

Sin embargo, llega un momento en que las economías de escala se convierten en deseconomías de escala, pues por un lado, conforme crece la producción de una planta, llegará un momento en el que se requiera de una mayor cantidad de personal para manejarla y administrarla, aumentando la burocracia y en general disminuyendo la eficiencia, lo cual trae un impacto negativo en los costos unitarios.

Igualmente, existen deseconomías de escala que afectan el factor tecnológico, principalmente porque hay equipos que al alcanzar una cierta capacidad aumentan significativamente sus costos de instalación u operación. Un ejemplo de esto se observa al tener en cuenta un equipo que por limitaciones estructurales no puede crecer más en capacidad, entonces se tendrá que recurrir a dos equipos menores para poder alcanzar la capacidad requerida, lo cual traerá un aumento considerable en los costos. No todo lo grande ayuda a reducir costos.

El concepto de economías de escala puede aplicarse no sólo a los costos de producción sino también a la inversión de capital requerida para una planta de proceso; pues de manera semejante, al duplicarse la capacidad de una planta no necesariamente se deberá duplicar la inversión requerida para su construcción e instalación, ya que la mayoría de los factores de costo que afectan a la inversión no aumentan en la misma proporción que la capacidad.

El concepto y el comportamiento de las curvas de inversión - capacidad, que se explicarán posteriormente, dependen en gran medida de las economías de escala.

## **ESTIMACION DE COSTOS**

### **Inversión de Capital**

Al considerar la planeación, construcción y operación de una planta de proceso, en este caso de poliestireno, se requiere de una inversión para compra de equipo y maquinaria y adquisición de un terreno y sus servicios para poder levantar la planta completa con todos sus accesorios, controles y servicios. A esta inversión se le llama capital fijo que se puede dividir en capital fijo de manufactura y de no-manufactura, refiriéndose el primero al proceso de producción como tal y el segundo a los edificios y otros activos que no tienen que ver directamente con la manufactura.

Adicionalmente, se requiere contar con un capital para cubrir los gastos involucrados con la operación de la planta una vez que esta pueda entrar en operación. A esta inversión se le llama capital de trabajo y consiste en el capital invertido en inventarios de materias primas, inventarios de material en proceso, inventarios de producto terminado, cuentas por cobrar, efectivo en caja e impuestos por pagar.

A la suma del capital fijo y el capital de trabajo es a lo que se le llama inversión de capital total, y su estimación puede tener diversas precisiones según la etapa del proyecto. Los diferentes estimados de inversión de capital son:

- 1) Estimado de orden de magnitud.- se basa en información de costos de experiencias similares. La precisión de este estimado es mayor a +/- 40%.
- 2) Estimado de estudio.- basado en conocimiento de los datos principales del proceso en general considerando capacidad, localización posible y requerimientos de equipo, edificios y servicios. La precisión de este estimado es de +/- 30%.

- 3) Estimado preliminar.- se basa en información que debe ser suficiente para permitir el presupuesto del estimado, es decir, se debe contar con la ingeniería básica, el diagrama de proceso preliminar y sus especificaciones. Su precisión es de +/- 20%.
- 4) Estimado definitivo.- basado en información casi completa de ingeniería de detalle y especificaciones de servicios. Precisión de +/- 10%.
- 5) Estimado detallado.- está basado en información completa de ingeniería de detalle, dibujos y especificaciones de servicios, edificios, tuberías, etc. Su precisión es de +/- 5%.

Los estimados de orden de magnitud, de estudio y preliminar son llamados estimados de prediseño, y los estimados definitivo y detallado son llamados estimados firmes; esto es porque los primeros requieren de mucha menor información detallada que los estimados firmes. Sin embargo, los estimados de prediseño son muy importantes para determinar si se le debe dar consideración a un proyecto específico y para hacer comparaciones entre proyectos sin tener que entrar en tanto detalle, lo cual significa un gran ahorro en tiempo.

Para realizar un proyecto hay que definirlo y los estimados de prediseño forman parte inicial de esa misma definición. La definición de un proyecto sigue varios pasos que consisten, primero, en conocer el alcance que va a tener el proyecto, es decir, determinar el tipo de proyecto, la capacidad y la localización tentativa del mismo; segundo, realizar la ingeniería básica del proceso y por último, la ingeniería de detalle. Al llevar a cabo cada uno de estos pasos, se irán obteniendo estimados de inversión más detallados que servirán para determinar con mayor precisión cual será la inversión total requerida.

#### La curva de inversión - capacidad

Las curvas de inversión - capacidad, que en esta tesis se aplicarán a un proceso para producir poliestireno, forman parte importante de los estimados de prediseño, pues sirven

para dar una idea general sobre la inversión de capital que se necesitará para levantar una planta con una cierta capacidad instalada. La precisión del estimado que se obtiene para la inversión es de +/- 30% aproximadamente, por lo que son muy útiles para responder a las primeras preguntas que se presentan al considerar un proyecto de inversión.

Cuando se concibe la idea de un proyecto, la curva de inversión - capacidad es una herramienta que ayuda a determinar, a primera mano, cuales serán los costos aproximados para la realización del proyecto.

El comportamiento de las curvas de inversión - capacidad está dado por las economías de escala, ya que se puede observar en ellas que al duplicarse la capacidad de una cierta planta, no se duplicará la inversión necesaria para su construcción. Sin embargo, pueden existir también diseconomías de escala para las curvas de inversión - capacidad, particularmente cuando la inversión de capital se hace demasiado grande.

## **INDICES DE COSTOS Y ESCALACION**

### **Indices de costos**

La información necesaria para hacer estimados de costos generalmente está basada en datos del pasado dependiendo de las últimas actualizaciones que se tengan disponibles. Además, conforme pasa el tiempo las condiciones económicas van cambiando, por lo que alteran las variables que se deben considerar en una estimación de costos como son los precios de equipo, gastos de instalación, de mano de obra, etc. Por esto, es necesario ser consistentes con toda la información que se utilice, refiriéndola toda a un mismo año o periodo de manera que sea perfectamente comparable; para esto se recurre a los índices de costos que están referidos a una base. Los índices de costos se pueden aplicar siempre que se conozca un precio en un determinado año para así llevarlo al año que nos interese, utilizando la siguiente fórmula:

Costo presente = costo original (índice presente/índice original)

Los índices toman en cuenta diferentes factores que pueden ser macroeconómicos como la inflación o bien específicos del sector industrial como los costos de avance de tecnología. Sin embargo, existen otras variables que no pueden ser consideradas de manera general, tales como condiciones económicas locales; por lo tanto, se debe tomar en cuenta que estos índices ayudan para dar un estimado general relativamente preciso pero que es posible que tengan un cierto error asociado, por lo que se recomienda que no se utilicen en actualizaciones de periodos de tiempo mayores de diez años.

Existen diferentes tipos de índices de costos que se aplican para casos distintos. Hay índices de equipo, de construcción, de materiales, de mano de obra y de otros campos específicos; sin embargo los más utilizados en el caso de la industria química son los siguientes:

1) Índice "Marshall & Swift".- Anteriormente llamado Marshall & Stevens; se divide en dos categorías, la industrial, que representa un promedio de los índices de 47 industrias diferentes y la de equipo de proceso que considera los índices de 8 de estas industrias. Este índice considera los costos de maquinaria y equipo, los costos de instalación, mantenimiento, mobiliario y herramienta. La base de este índice está dada como 100 en el año de 1926. Es el índice más común para este tipo de estimaciones.

2) Índice "Chemical Engineering".- Este índice es publicado por la revista "Chemical Engineering" y considera los siguientes costos: maquinaria y equipo, instalación, edificios, materiales, mano de obra, supervisión e ingeniería. Está basado en un valor de 100 para el año 1957-1959. Con este índice se obtienen resultados muy comunes a los del índice Marshall & Swift.

3) Indice "Engineering-News Record".- Está diseñado para estimar costos de mano de obra y materiales para construcción industrial.

4) Indice "Nelson Refinery".- Se utiliza en la industria de extracción y refinación del petróleo.

En el presente trabajo se harán todas las estimaciones de costos usando los índices Marshall & Swift Industrial, los cuales se muestran, para los últimos años, en la siguiente tabla:

Tabla 6  
Indices de Costos "Marshall & Swift"  
(base 1926 = 100)

AÑO	M & S INDUSTRIAL
1980	659.6
1981	721.3
1982	745.6
1983	760.8
1984	780.4
1985	789.6
1986	797.6
1987	813.6
1988	852.0
1989	895.1
1990	915.1
1991 (2)	928.6

(2) al segundo trimestre  
Fuente: Chemical Engineering

### Escalación de costos

Una vez que se tiene toda la información referida a una cierta fecha y que ésta ya es perfectamente comparable, se puede presentar el caso de que se necesiten datos para una cierta capacidad o tamaño de equipo diferentes a los que se tienen disponibles. Para corregir y estimar estos costos se puede hacer una escalación de costos, que se basa en una relación logarítmica conocida como la "regla del factor de seis décimos", que sigue la siguiente ecuación:

$$\text{Costo de A} = \text{Costo de B} (\text{Capacidad A/Capacidad B})^{0.6}$$

El valor de 0.6 del exponente es un promedio que se determinó tomando en cuenta diferentes tipos de equipo y sólo debe ser usado cuando no se cuenta con otra información disponible. En la literatura se presentan valores de los exponentes para muchos casos específicos y pueden tener valores desde 0.2 hasta mayores de 1.0.

La escalación de costos sirve para dar una estimación relativa de costos y no se debe aplicar cuando una de las capacidades sea diez veces mayor o menor que la otra porque el error involucrado puede ser considerable.

### **FACTORES DE COSTO EN LA INVERSIÓN DE CAPITAL**

En la inversión de capital necesaria para realizar un proyecto, se incluyen el capital fijo y el capital de trabajo. El capital fijo se compone de dos tipos de costos: directos e indirectos, siendo los primeros aquellos que se cargan directamente como equipo, material o mano de obra relacionada a ese equipo; los segundos son aquellos que no se relacionan directamente a la inversión de capital fijo pero que son necesarios para la realización del proyecto. Adicionalmente, la estimación de la inversión de capital fijo se divide en varios segmentos directos o indirectos que aportan de diferente manera a la inversión total, estos

segmentos son llamados "factores de costo", los cuales dependen en gran medida, como es de esperarse, en el proceso específico y en el tipo de producto que se esté considerando. Sin embargo, para plantas multiproceso, existen relaciones entre estos factores de costos que son bastante aceptables al ser usadas para hacer una estimación de costos con un grado de precisión suficiente para construir una curva de inversión - capacidad. Estas relaciones se pueden presentar como porcentaje de la inversión de capital fijo. A continuación se muestran las variaciones típicas entre los diferentes factores de costo y una explicación de cada uno de estos.

**Tabla 7**  
**Porcentajes típicos de los factores de costo respecto al total de la inversión de capital fijo**

<b>COSTOS DIRECTOS</b>	<b>%</b>
Equipo comprado	10-40
Instalación del equipo comprado	6-14
Instrumentación y controles (instalados)	2-8
Tubería (instalada)	3-20
Instalación eléctrica (instalada)	2-10
Edificios (con servicios)	3-18
Adaptación del terreno	2-5
Area de servicios (instalados)	8-20
Terreno	1-2

Tabla 7 (continuación)

COSTOS INDIRECTOS	%
Ingeniería y supervisión	4-21
Gastos de construcción	4-16
Contratistas	2-6
Contingencias	5-15

Fuente: Peters & Timmerhaus  
Plant Design & Economics for Chemical Engineers

#### Equipo comprado

Este es el primero de los costos directos que forman parte de la inversión de capital fijo. El equipo comprado se puede dividir en equipo de proceso, equipo de manejo y almacenamiento de materias primas y equipo de manejo y almacenamiento de producto terminado. El costo del equipo comprado es la base de algunos métodos de prediseño con los que se puede estimar la inversión de capital, por lo que las fuentes de donde se obtenga esta información deben ser confiables para poder hacer una buena estimación de capital. La fuente más confiable de información es la que se obtiene directamente de los proveedores que comercializan estos equipos; en otros casos, se puede obtener a partir de información de experiencias pasadas o bien de información publicada. No se debe olvidar que los costos del equipo comprado deben ser ajustados con los índices de costos y con escalaciones para poder contar con información que sea lo más precisa posible.

#### Instalación del equipo comprado

Incluye todos los factores relacionados con la instalación del equipo comprado, como son los costos de mano de obra, cimentaciones, plataformas, estructuras para soporte, gastos de construcción, etc. No existe una regla general para conocer este costo pero se

sabe que representa aproximadamente del 20 al 60% del costo de equipo comprado, dependiendo, por supuesto, del tipo de equipo.

### **Instrumentación y controles**

Este factor involucra los costos de los instrumentos requeridos para el control del proceso y los gastos para su instalación. La cantidad puede variar de acuerdo con el grado de automatización y complejidad del proceso. En la actualidad cada vez se utiliza con más frecuencia el control por computadoras, con lo cual este factor se hace considerable dentro de la inversión de capital.

### **Tubería**

Incluye los costos de mano de obra, válvulas, empaques, y tubería relacionados directamente con el proceso, ya sea en el manejo de materias primas, producto en proceso, producto terminado, vapor, agua, aire o drenaje. Este factor es uno de los más variables ya que su determinación requiere de un cierto grado de avance de ingeniería de detalle, además, depende en gran parte del tipo de proceso considerado pues no es lo mismo la tubería necesaria para un proceso de materiales sólidos que para uno de materiales fluidos. Por esto, la estimación de este factor tiene que ser basada principalmente en información de experiencias pasadas.

### **Instalación eléctrica**

Consiste en los componentes eléctricos que se encuentran dentro de los límites de batería, como son líneas de transmisión, subestaciones, interruptores, centros de control, planta de emergencia, cables, conductos e iluminación.

### Edificios (con servicios)

Las plantas químicas modernas son, por lo general, estructuras abiertas, principalmente por los tamaños de los equipos y porque se disminuye el riesgo de contaminación por materiales peligrosos. Así, esta categoría consiste en construcciones que acompañan a los equipos de proceso para su limpieza, control y mantenimiento y otros edificios auxiliares. Ejemplos de esto son torres, chimeneas, plataformas de concreto, escaleras, pasillos, cuartos de control y otras construcciones dentro de límites de batería como son vestidores, baños, comedor, oficinas y bodegas. Se deben incluir los costos de los servicios para estos edificios como son plomería, ventilación, drenaje, extinguidores de incendio, regaderas de seguridad, comunicaciones, etc.

### Adaptación del terreno

Contempla todos los costos desde la limpieza del terreno previa a la construcción de la planta y otros costos para bardas, caminos, vías de tren, hidrantes, estacionamientos y jardines. El terreno como tal debe ser incluido en otra categoría.

### Area de servicios

Esta categoría es probablemente la más compleja de estimar debido a las variaciones tan grandes que presenta. Involucra los costos de adquisición e instalación de los equipos de servicios auxiliares como son generación de vapor, sistemas de calentamiento y de refrigeración, torres de enfriamiento, aire comprimido, agua de proceso, gas, tratamiento de desechos, equipo para transporte de materias primas y producto terminado, redes contra incendio y otras instalaciones de seguridad. En el caso de plantas nuevas, el costo del área de servicios puede ser bastante grande, no así para las expansiones de plantas existentes donde los servicios puedan ser compartidos; en cualquier caso, los servicios forman parte

importante en el costo de un proceso y eso explica la necesidad de estimar su costo con precisión.

### Terreno

El costo del terreno y el pago de todas las licencias y cargos depende mucho de la localización de la propiedad, dependiendo si se encuentra en una zona rural o industrial. Este costo es recuperable, por lo cual aunque se debe de considerar en la estimación de la inversión de capital, no debe ser incluido en otras estimaciones de costos como la depreciación.

### Ingeniería y Supervisión

Esta categoría y las que le siguen son considerados como costos indirectos en la determinación de la inversión de capital fijo. Los costos de ingeniería y supervisión se consideran siempre juntos pues las actividades que involucran están muy ligadas y por lo general son realizadas por el mismo organismo. Se incluyen costos de definición, diseño, ingeniería, dibujo, procura, contabilidad, ingeniería de costos y de construcción, viáticos, comunicaciones y otros gastos administrativos.

### Gastos de construcción

En esta categoría se contemplan gastos de construcción y operación temporal, herramientas, maquinaria rentada, personal de confianza localizado en la obra y algunos seguros. Estos costos son diferentes a los considerados dentro de la categoría de instalación del equipo comprado, ya que estos últimos están relacionados directamente con el equipo.

### Contratistas

Incluye los honorarios de los contratistas de construcción, eléctricos y mecánicos que tengan que ver con el proyecto. En ocasiones suele incluirse dentro de la categoría de gastos de construcción.

### Contingencias

En cualquier estimado de inversión de capital suele incluirse un factor de contingencia donde se puedan absorber gastos de eventos impredecibles como son huelgas, terremotos, inundaciones, cambios bruscos en precios, cambios pequeños de diseño y otros factores que fueran pasados por alto o bien que no estuvieran anticipados. Las contingencias sirven, de alguna manera, para compensar los elementos que no hayan sido incluidos en la estimación original.

Los gastos de arranque pueden, o no, ser considerados como un factor de costo dentro de la inversión de capital fijo. En este caso no serán considerados ya que en un análisis de costos global será un gasto que se realiza una sola vez en el primer año de operación y que puede ser cargado en el estado de resultados mas que como una inversión.

### Capital de trabajo

Los anteriores son los factores de costo que deben ser considerados al hacer un estimado de la inversión de capital fijo. Al resultado de la suma de todos estos factores se le debe aumentar el capital de trabajo, el cual se debe considerar entre el 10 y el 20% de la inversión de capital total. La inversión en capital de trabajo incluye todo lo referente al capital invertido en inventarios de materia prima, inventarios de producto terminado, cuentas por cobrar, efectivo en caja e impuestos por pagar.

## **METODOS PARA ESTIMAR LA INVERSION DE CAPITAL**

La estimación de la inversión de capital puede ser realizada con diversos métodos y el uso de cada uno de estos dependerá en la precisión necesaria y de la cantidad de información disponible. A continuación se mencionan algunos de los métodos que pueden ser utilizados:

- 1) Estimado de factores detallados.- Es el método más preciso pero requiere de una determinación detallada de cada uno de los factores de costo considerados en la tabla 7. Es necesario haber completado la ingeniería de detalle y se debe tener información real y actualizada de cada una de las categorías así como de mano de obra, características del terreno, especificaciones del proceso y de proveedores y vendedores. La desventaja de este método es que requiere de mucho tiempo e información.
- 2) Estimado de costo por unidad.- Este método consiste en determinar el costo de cada unidad de elemento necesario en el proyecto, de manera que los costos sean comparables para cada categoría. Así, por ejemplo, se determina un costo por cada hora/hombre de ingeniería y supervisión y esa unidad se multiplica por el total de horas/hombre requeridas según estimaciones o experiencias pasadas. Esto se aplica a todas las categorías y la suma final será igual a la inversión de capital estimada.
- 3) Porcentaje del costo de equipo entregado.- Para este método se requiere de la estimación del costo del equipo entregado y a partir de éste se determinan el resto de los elementos de la inversión de capital como porcentajes relacionados con el costo del equipo. Los porcentajes utilizados dependen del tipo de proceso, de la complejidad del diseño, de los materiales de construcción, de la localización del proyecto y de experiencias pasadas.
- 4) Factores "Lang".- Este método se usa para obtener estimados de orden de magnitud y se basa en el costo del equipo básico del proceso multiplicado por un factor de manera que se aproxime la inversión de capital. Se puede utilizar más de un factor y estos dependen

del tipo de proceso del que se trate. Estos factores se pueden encontrar en la literatura.

5) **Factores de potencia**- Este método se aplica de manera semejante al de la escalación de costos de equipo, sólo que se hace para una planta completa a partir de información conocida sobre una cierta planta con una determinada capacidad. Para utilizar este método se requiere de la siguiente ecuación:

$$\text{Costos directos A} = \text{Costos directos B} (\text{Capacidad A/Capacidad B})^{0.7}$$

El factor de 0.7 es un promedio general para cualquier proceso, sin embargo, existen factores específicos para muchos procesos, los cuales se pueden encontrar en la literatura. Este método se debe limitar a escalaciones no mayores de cuatro veces ni menores de una cuarta parte de la capacidad original de la que se está partiendo, para así evitar tener un error asociado muy grande.

6) **Costo por unidad de capacidad**- Se basa en información publicada sobre inversión de capital por unidad de capacidad para un determinado proceso. Se pueden obtener estimados de orden de magnitud al multiplicar el costo por unidad de capacidad por la capacidad de la planta propuesta.

7) **Razón de recuperación de la inversión**- Se puede conocer la inversión de capital necesaria para un proyecto al tener un estimado del precio de venta por unidad del producto multiplicado por la capacidad de la planta propuesta y dividido entre la razón de recuperación de la inversión, la cual se puede encontrar publicada o bien se puede usar un promedio de 1.75 para la industria química. La precisión de este método es bastante cuestionable.

8) **Estimados por departamentalización**- La finalidad de este método es la de realizar estimados de inversión de capital con cualquiera de los métodos anteriores, pero aplicándolos al proyecto por partes de manera que con la suma de estas se determine la

inversión total. Teniendo en cuenta esto, la partición del proyecto puede ser de cuatro tipos diferentes:

- a) Modular.- Considera elementos semejantes entre sí en cada una de las partes, por ejemplo: una parte individual para todos los intercambiadores de calor, otra para los tanques, etc.
- b) Operación unitaria.- Hace las particiones del proyecto por cada una de las operaciones unitarias principales.
- c) Unidad funcional.- Se divide al proyecto en sus partes funcionales más importantes aunque estas incluyan más de una operación unitaria.
- d) Costo unitario promedio.- Este costo se define como el costo total de los equipos dividido entre el número de equipos, y ese promedio debe ser ponderado tomando en cuenta los tamaños de los equipos, los materiales de construcción y las características del proceso. Una vez obtenido ese costo se hace un ajuste con un factor para poder obtener la inversión de capital.

El método de estimación por departamentalización tiene una precisión mayor que algunos de los métodos mencionados anteriormente, sin embargo, pierde confiabilidad en estimados que no sean de prediseño.

## CAPITULO 5

### **CONSTRUCCION DE LA CURVA DE INVERSION - CAPACIDAD DEL PROCESO MONSANTO PARA PRODUCCION DE POLIESTIRENO**

#### **METODOLOGIA**

Los conceptos explicados en el capítulo anterior se utilizarán en la práctica para construir una curva de inversión - capacidad de una planta de poliestireno usando el proceso Monsanto.

Para la construcción de esta curva se necesitará estimar la inversión de capital requerida para diferentes capacidades instaladas, de manera que al relacionar esos puntos continuamente, se obtenga la curva con las características deseadas.

Considerando lo anterior, se seguirán los pasos que se muestran a continuación:

- 1) Inicialmente se deberá obtener información original para cierta capacidad instalada, que después será ajustada y actualizada por medio de los índices de costos.
- 2) Posteriormente se planteará un caso base que muestre, a partir de la información original, la inversión de capital necesaria para una planta de poliestireno de esa capacidad en específico.
- 3) Una vez que se cuente con el caso base se hará una escalación de los costos de la inversión de capital de la capacidad base hacia capacidades mayores y menores.
- 4) Al momento de trazarse en una gráfica la capacidad de la planta y los datos de inversión calculados por la escalación, se obtendrá finalmente la curva de inversión - capacidad.

La metodología particular de los pasos descritos anteriormente se irá aclarando conforme se vayan realizando cada uno de ellos.

**INFORMACION CONSIDERADA**

El Process Economics Project (PEP) es una publicación norteamericana editada por el Stanford Research Institute (SRI) International, y ahí se pueden encontrar algunos costos de inversión de capital para diferentes productos y procesos. En el reporte PEP número 176 de noviembre de 1984 se encuentran los siguientes costos de equipo para una planta de 30 mil TPA de poliestireno usando el proceso Monsanto:

Tabla 8  
Costo de equipo para una planta de poliestireno  
de 30 mil TPA (Datos de 1984)

Equipo comprado (F.O.B.)	Costo (USD)
Reactores	234,000
Columnas	25,900
Tanques y recipientes	377,700
Intercambiadores	152,800
Calderas	25,200
Compresores	7,800
Equipo misceláneo	852,200
Bombas	56,400
<b>Total del equipo comprado</b>	<b>1,732,000</b>

Fuente: PEP Report 176

La información editada por el PEP Report es producto de la investigación realizada por expertos directamente con los fabricantes de equipo y con los productores de poliestireno, por lo que se considera bastante confiable. En la literatura se cita al PEP Report como una de las fuentes más sobresalientes para obtener información de este tipo.

Una vez que se cuenta con la información del costo de los equipos para el proceso, es necesario realizar ajustes con el fin de actualizar la información, para después plantear el caso base y hacer la escalación de costos.

## TRATAMIENTO DE LA INFORMACION

### Actualización usando índices de costos

Cuanto más actualizada sea una información, mayor será su utilidad pues se disminuirá el error asociado con los cambios de los precios y costos, alterados por todas las condiciones económicas en general.

Así, la información obtenida del PEP Report que se muestra en la Tabla 8 tiene fecha de noviembre de 1984, y para que esta información sea más actual y tenga mayor utilidad será referida a la fecha del segundo trimestre de 1991, es decir, precios de la mitad de ese año. Para realizar esto se requiere de la información de la Tabla 6 del Capítulo 4, donde se muestran los diferentes índices de costos Marshall & Swift Industriales, de los cuales se utilizarán los siguientes:

Tabla 9  
Índices de costos Marshall & Swift Industrial

Índice de 1984	780.4
Índice de 1991 (II Trim.)	928.6

Fuente: Chemical Engineering

A continuación se aplicarán estos índices a la información de la Tabla 8, multiplicándose por el índice de 1991 y dividiéndose entre el índice de 1984 para obtener la información actualizada. Los nuevos datos se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 10**  
**Costo de equipo para una planta de poliestireno**  
**de 30 mil TPA (Datos de 1991/II)**

Equipo comprado (F.O.B.)	Costo (USD)
Reactores	278,437
Columnas	30,818
Tanques y recipientes	449,426
Intercambiadores	181,817
Calderas	29,986
Compresores	9,281
Equipo misceláneo	1,014,035
Bombas	67,111
<b>Total de equipo comprado</b>	<b>2,060,911</b>

Los costos del equipo comprado reportados por el PEP Report son costos llamados "libres en puerto" (del inglés "Free On Board" o F.O.B.), lo que significa que cuando se compra un equipo, el vendedor es responsable de entregarlo en el puerto convenido, pero después ese equipo debe ser llevado, a expensas del comprador, hasta la localidad donde se vaya a construir la planta. Por esto es necesario considerar un costo adicional de fletes y seguros para transportar el equipo. De manera práctica, ese costo puede ser estimado como el 10% del costo del equipo comprado (3), por lo que los costos totales del equipo entregado en los límites de batería de la planta se incrementan como se muestra en la siguiente tabla:

(3) Frank Valle-Riestra, Project Evaluation in the Chemical Process Industry, pág. 229.

Tabla 11  
Costo de equipo para una planta de poliestireno  
de 30 mil TPA (Datos de 1991/II)

Equipo comprado (Entregado)	Costo (USD)
Reactores	306,281
Columnas	33,900
Tanques y recipientes	494,369
Intercambiadores	200,000
Calderas	32,985
Compresores	10,209
Equipo misceláneo	1,115,439
Bombas	73,822
Total de equipo comprado	<u>2,267,005</u>

La información mostrada en la Tabla 11 se puede considerar como actualizada y ajustada, de manera que se tengan datos prácticos, confiables y consistentes en la curva de inversión-capacidad. Esta información será la que se utilizará para hacer la estimación de la inversión de capital para un caso base de 30 mil toneladas por año (TPA) de poliestireno usando el Proceso Monsanto.

#### Estimación del caso base

Una vez que se cuenta con la información del costo del equipo comprado, se puede hacer la estimación de la inversión de capital necesaria para el proyecto usando el método de estimación del porcentaje del equipo comprado, el cual fue explicado en el Capítulo 4. Para esto se pueden utilizar los porcentajes típicos de los factores de costo que componen la inversión de capital fijo que se encuentran en la Tabla 7 del Capítulo 4. En el caso de este

proceso se considerarán porcentajes congruentes con los de la Tabla 7.

**Tabla 12**  
**Porcentajes aproximados que se utilizarán en cada factor de costo**  
**para determinar la inversión fija del proyecto**

<b>COSTOS DIRECTOS</b>	<b>%</b>
Equipo comprado	12
Instalación del equipo comprado	10
Instrumentación y controles (instalados)	5
Tubería (instalada)	9
Instalación eléctrica	4
Edificios	10
Adaptación del terreno	4
Area de servicios	11
Terreno	3
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>	
Ingeniería y supervisión	10
Gastos de construcción	9
Contratistas	4
Contingencias	9
<b>Total de la inversión fija</b>	<b>100</b>

Los porcentajes asignados a cada uno de los factores de costo son representativos de todos los conceptos que influyen en el mismo, según fue explicado en el Capítulo 4.

Puesto que la inversión total del proyecto consiste en la suma de la inversión fija más el

capital de trabajo, se tiene que hacer la estimación de este último a partir de la inversión fija calculada. Para un proyecto de esta naturaleza el capital de trabajo se considera entre el 10 y el 20% de la inversión total, por lo que en este caso será tomado como el 15% de esa inversión, de manera que la inversión fija contribuya con el 85% restante.

A continuación se aplicarán los porcentajes de la Tabla 12 a los costos de equipo comprado (entregado) obtenidos en la tabla 11, con lo que se obtendrá un caso base donde se pueda conocer la inversión de capital aproximada para una planta de poliestireno de 30 mil TPA en una sola línea de producción.

**Tabla 13**  
**Caso base: inversión de capital necesaria para**  
**una capacidad de 30 mil TPA**

Precios del 2o. trimestre de 1991

	<b>COSTO (USD)</b>
<b>COSTOS DIRECTOS</b>	
Reactores	306,281
Columnas	33,900
Tanques y recipientes	494,369
Intercambiadores	200,000
Calderas	32,985
Compresores	10,209
Equipo misceláneo	1,115,439
Bombas	73,822
Equipo comprado	<u>2,267,005</u>
Instalación del equipo comprado	1,949,624
Instrumentación y controles (instalados)	906,802
Tubería (instalada)	1,632,244
Instalación eléctrica	816,122
Edificios	1,904,284
Adaptación del terreno	725,442
Area de servicios	2,040,305
Terreno	544,081
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS</b>	<u><b>12,785,908</b></u>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>	
Ingeniería y supervisión	1,904,284
Gastos de construcción	1,632,244
<b>TOTAL COSTOS INDIRECTOS</b>	<u><b>3,536,528</b></u>
<b>COSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS</b>	<u><b>16,322,436</b></u>
Contratistas	816,122
Contingencias	1,632,244
<b>INVERSION FIJA TOTAL</b>	<u><b>18,770,801</b></u>
<b>CAPITAL DE TRABAJO</b>	<u><b>3,312,494</b></u>
<b>INVERSION TOTAL</b>	<u><u><b>22,083,296</b></u></u>

#### Escalación de costos para diferentes capacidades

Una vez que se cuenta con una estimación de la inversión de capital, como la que se determinó en el caso base, mostrado en la Tabla 13, se puede realizar una escalación de costos para calcular la inversión de capital necesaria para una capacidad instalada diferente de 30 mil TPA. Para esto se recurrirá al método conocido como la "regla del factor de seis décimos" que se explicó en el Capítulo 4. Al aplicar este método se debe multiplicar el costo o la inversión requerida, para cada factor de costo del caso base, por el cociente que resulte de la nueva capacidad entre la capacidad base elevado a un exponente promedio que debe ser igual a 0.6 cuando no se cuente con otro valor; este concepto se muestra, de nuevo, en la siguiente ecuación:

$$\text{Costo de A} = \text{Costo de B} (\text{Capacidad A} / \text{Capacidad B})^{0.6}$$

Sin embargo, en este caso sí se conocen los exponentes de escalación que corresponden a cada uno de los equipos y a algunos de los demás factores de costo, por lo que no es necesario utilizar el valor promedio de 0.6, lo cual permitirá tener una mayor precisión en la escalación.

Hay algunos factores de costo que no se pueden escalar con algún exponente particular ya que su escalación con este método carece de sentido; tal es el caso del terreno o de los gastos de ingeniería y supervisión, para los cuales se asignará un porcentaje del costo del equipo comprado, cuyo valor será igual al que se utilizó en la estimación del caso base.

Los valores de los exponentes pueden ser diferentes para un mismo factor de costo dependiendo si la escalación sea realizada hacia una capacidad mayor o menor, lo cual depende primordialmente de la naturaleza del factor de costo. Un ejemplo de esto se puede ver en el caso de los intercambiadores de calor, cuyo costo cambia en mayor proporción cuando se hace la escalación hacia arriba que hacia abajo.

Los exponentes de escalación para cada factor de costo se encuentran reportados en la siguiente tabla:

Tabla 14  
Exponentes de escalación

	EXPONENTES	
	HACIA ABAJO	HACIA ARRIBA
<b>COSTOS DIRECTOS</b>		
Reactores	0.60	0.60
Columnas	0.51	0.53
Tanques y recipientes	0.57	0.59
Intercambiadores	0.60	0.80
Calderas	0.79	0.79
Compresores	0.60	0.60
Equipo misceláneo	0.61	0.61
Bombas	0.22	0.27
Instalación del equipo comprado	0.51	0.52
Instrumentación y controles (instalados)	0.51	0.52
Tubería (instalada)	0.51	0.52
Instalación eléctrica	0.51	0.52
Edificios	10% del EC (4)	
Adaptación del terreno	4% del EC	
Area de servicios	0.46	0.49
Terreno	3% del EC	

Tabla 14 (continuación)

**COSTOS INDIRECTOS**

Ingeniería y supervisión	10% del EC
Gastos de construcción	9% del EC
Contratistas	4% del EC
Contingencias	9% del EC

(4) EC: Equipo comprado  
Fuente: PEP Report 176

Se debe recordar que en este proceso no se pueden tener capacidades mayores a 60 mil TPA en una sola línea debido a las limitaciones en el tamaño de los equipos. Por otro lado, las líneas de capacidad menor a 15 mil TPA son poco costeables en la actualidad y casi no se utilizan. Es por esto que la escalación de costos partirá del caso base de una línea 30 mil TPA y no será menor de 15 mil TPA ni mayor de 60 mil TPA, y se hará en intervalos de 5 mil TPA.

La escalación de costos a partir del caso base se muestra a continuación.

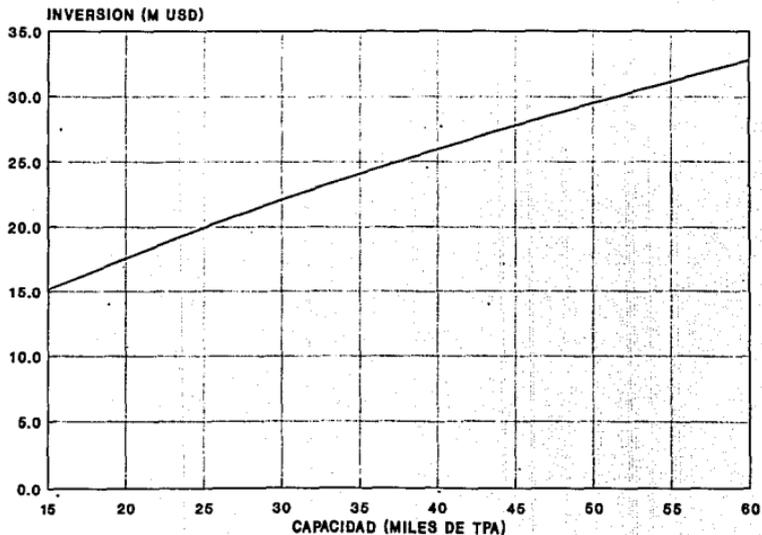
Tabla 15  
Escala de costos para diferentes capacidades  
(USD)

	CAPACIDAD (mln TPA)									
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
<b>COSTOS DIRECTOS</b>										
Reactores	202,070	240,140	274,544	306,281	335,960	363,985	390,638	416,130	440,621	464,235
Columnas	23,805	27,567	30,890	33,900	36,786	39,484	42,027	44,441	46,743	48,949
Tanques y recipientes	333,015	392,355	445,572	494,369	541,439	585,821	627,979	668,255	706,909	744,147
Intercambiadores	131,951	156,811	179,276	200,000	226,249	251,757	276,632	300,960	324,805	348,220
Calders	19,077	23,944	28,560	32,983	37,257	41,402	45,439	49,383	53,245	57,034
Compresores	6,735	8,004	9,151	10,209	11,198	12,132	13,021	13,871	14,687	15,474
Equipo misceláneo	730,832	871,024	998,034	1,115,439	1,225,415	1,329,409	1,428,438	1,523,258	1,614,444	1,702,449
Bombas	63,581	67,522	70,920	73,822	76,959	79,785	82,363	84,739	86,948	89,015
Equipo comprado	1,510,867	1,787,368	2,036,946	2,267,005	2,491,265	2,703,774	2,906,537	3,101,097	3,288,403	3,469,574
Instalación del equipo comprado	1,369,070	1,585,420	1,776,513	1,949,624	2,112,337	2,264,222	2,407,234	2,542,800	2,672,000	2,795,674
Instrumentación y controles (tañ)	636,777	737,405	826,285	906,802	982,482	1,053,127	1,119,644	1,182,698	1,242,791	1,300,313
Tubería (instalada)	1,146,198	1,327,329	1,487,314	1,632,244	1,768,468	1,895,628	2,015,359	2,128,856	2,237,023	2,340,564
Instalación eléctrica	573,099	663,664	743,657	816,122	884,234	947,814	1,007,680	1,064,428	1,118,512	1,170,282
Edificios	1,269,128	1,501,389	1,711,035	1,904,284	2,092,663	2,271,170	2,441,491	2,604,871	2,762,258	2,914,400
Adaptación del terreno	483,477	571,958	651,823	725,442	797,205	865,208	930,972	992,332	1,052,289	1,110,248
Área de servicios	1,483,273	1,693,141	1,876,168	2,040,305	2,206,386	2,349,173	2,488,741	2,625,601	2,745,891	2,865,495
Terrazo	362,608	428,968	488,867	544,081	597,904	648,906	697,569	744,249	789,217	832,686
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS</b>	<b>8,834,497</b>	<b>10,296,642</b>	<b>11,598,607</b>	<b>12,785,908</b>	<b>13,924,944</b>	<b>14,999,020</b>	<b>16,014,348</b>	<b>16,981,872</b>	<b>17,908,384</b>	<b>18,799,186</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>										
Ingeniería y supervisión	1,269,128	1,501,389	1,711,035	1,904,284	2,092,663	2,271,170	2,441,491	2,604,871	2,762,258	2,914,400
Gastos de construcción	1,087,824	1,286,905	1,466,601	1,632,244	1,793,711	1,946,717	2,092,707	2,232,746	2,367,590	2,498,057
<b>TOTAL COSTOS INDIRECTOS</b>	<b>2,356,952</b>	<b>2,788,294</b>	<b>3,177,636</b>	<b>3,536,528</b>	<b>3,886,373</b>	<b>4,217,887</b>	<b>4,534,198</b>	<b>4,837,617</b>	<b>5,129,908</b>	<b>5,412,457</b>
<b>COSTOS DIR. E INDIR.</b>	<b>11,191,449</b>	<b>13,084,936</b>	<b>14,776,243</b>	<b>16,322,436</b>	<b>17,813,318</b>	<b>19,216,907</b>	<b>20,548,546</b>	<b>21,819,489</b>	<b>23,038,292</b>	<b>24,211,643</b>
Contratar	559,572	654,247	738,812	816,122	890,666	960,845	1,027,427	1,090,974	1,151,915	1,210,582
Contingencias	1,119,145	1,308,494	1,477,624	1,632,244	1,781,332	1,921,691	2,054,855	2,181,949	2,309,829	2,421,164
<b>INVERSION FIJA TOTAL</b>	<b>12,870,166</b>	<b>15,047,677</b>	<b>16,992,679</b>	<b>18,770,801</b>	<b>20,485,315</b>	<b>22,099,443</b>	<b>23,630,828</b>	<b>25,092,412</b>	<b>26,494,036</b>	<b>27,843,389</b>
<b>CAPITAL DE TRABAJO</b>	<b>2,271,206</b>	<b>2,655,472</b>	<b>2,998,708</b>	<b>3,312,494</b>	<b>3,615,056</b>	<b>3,899,902</b>	<b>4,170,146</b>	<b>4,428,073</b>	<b>4,675,418</b>	<b>4,913,539</b>
<b>INVERSION TOTAL</b>	<b>15,141,372</b>	<b>17,703,149</b>	<b>19,991,387</b>	<b>22,083,296</b>	<b>24,100,371</b>	<b>25,999,345</b>	<b>27,800,974</b>	<b>29,520,485</b>	<b>31,169,454</b>	<b>32,756,928</b>

Una vez realizada la escalación de costos se pueden obtener los datos necesarios para construir finalmente la curva de inversión-capacidad. Para dicha construcción se deben trazar en una gráfica, en el eje de las abscisas, los datos de las capacidades instaladas, y en el eje de las ordenadas, los datos de la inversión total correspondientes a cada capacidad según fueron calculados y mostrados en la Tabla 15.

Cuando ya se tienen los puntos en la gráfica, es posible trazar una línea que los conecte a cada uno de ellos, de manera que se obtenga una relación continua entre la capacidad instalada de la planta y la inversión de capital necesaria para construirla. La curva resultante será la curva de inversión - capacidad del proceso Monsanto para producción de poliestireno, la cual se muestra en la siguiente figura.

**FIGURA 10. CURVA DE INVERSION-CAPACIDAD  
DEL POLIESTIRENO CON EL PROCESO MONSANTO**



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

### DATOS ESTADÍSTICOS DE LA CURVA

Los resultados obtenidos a partir del análisis estadístico de la curva de inversión - capacidad mostrada anteriormente son:

Tabla 16  
Resultados estadísticos de la curva

Pendiente (m)	0.386596
Ordenada al origen (b)	10.137329 (en millones)
Coefficiente de correlación (r)	0.997414

### ANÁLISIS DE LA CURVA DE INVERSIÓN - CAPACIDAD

El análisis de la curva de inversión - capacidad arroja algunas conclusiones interesantes. En primer término, se puede observar la relación existente entre la capacidad instalada de una planta y la inversión de capital necesaria para construirla y ponerla en funcionamiento, demostrándose que esta relación, ejemplificada en la curva, presenta una ligera curvatura (casi es lineal) y tiene una pendiente menor a 0.5. Además, se puede notar que la curvatura es un poco distinta entre las partes superior e inferior de la curva, lo cual es producto de los diferentes exponentes de escalación utilizados en cada factor de costo, influido también por la diferente contribución de cada uno de estos factores en la inversión total.

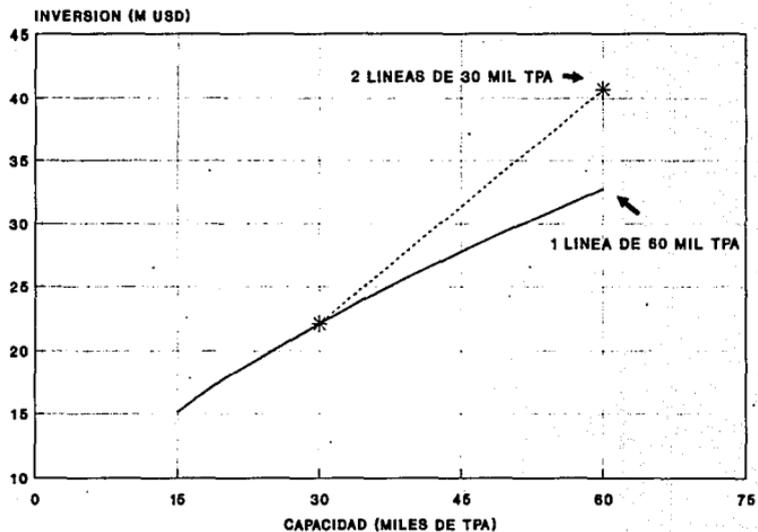
Se debe considerar que a pesar de que la curva muestra una serie de inversiones para un cierto intervalo de capacidades, no todas estas se manejan de manera comercial; es decir, no es válido realizar una evaluación, por ejemplo, para 42 mil TPA, sino que se debe evaluar una capacidad nominal de 40 mil o de 45 mil TPA, que es la manera como lo ofrecen los licenciadore de tecnología. El proceso Monsanto se puede encontrar de manera general en capacidades nominales desde 15 mil hasta 60 mil TPA, con intervalos de 15 mil TPA, sin excluir la posibilidad de negociar una capacidad instalada diferente. Sin embargo, no se debe olvidar que a pesar de que una planta tenga una cierta capacidad

nominal, sus rangos de operación estarán, en la práctica, en valores ligeramente inferiores a los de la capacidad instalada (promedio de 85-90%) o bien en valores superiores (si se opera a sobrecapacidad), por lo que es necesario considerar que la capacidad nominal de una planta es un valor relativo que, aunque se tiene que tomar en cuenta para la definición y evaluación del proyecto, no implica que no se pueda operar a otras capacidades.

Otra conclusión que se puede obtener de este análisis es la importancia del número de líneas de producción que se utilicen, pues no es lo mismo tener una cierta capacidad instalada con una o con dos líneas de producción.

Un ejemplo de esto se muestra en la Figura 11, donde se comparan las inversiones necesarias para dos plantas de 60 mil TPA, pero una de ellas con una línea de 60 mil y la otra con dos líneas de 30 mil. Aunque la capacidad instalada total sea la misma, las inversiones requeridas son muy distintas, ya que para el caso de la planta con dos líneas de 30 mil TPA, el costo global del equipo será prácticamente del doble que el que se habría estimado para una sola línea de 30 mil TPA, además, los requerimientos de espacio y de mano de obra serían diferentes. La figura mencionada se encuentra en la siguiente página.

**FIGURA 11. COMPARACION DE INVERSIONES  
PARA UNA / DOS LINEAS DE PRODUCCION**



En la Figura 11, mostrada anteriormente, se presenta un estimado para la inversión de la planta con dos líneas de 30 mil TPA, que es casi 80% mayor que la inversión para una sola línea de 30 mil TPA, por otro lado, se puede observar de la curva de inversión - capacidad que la inversión necesaria para una línea de 60 mil TPA no es mayor al 50% de la inversión para una línea de 30 mil TPA. La comparación entre las dos inversiones indica una diferencia cercana al 25%, por lo que se puede concluir que es conveniente evaluar alternativas que involucren una sola línea de producción.

Sin embargo, también se debe considerar una de las ventajas de tener dos líneas de producción, como el hecho de que, en los paros de planta por mantenimiento, una de las líneas podrá permanecer en operación mientras se haga mantenimiento de la otra, de manera que no se suspenda completamente la producción.

Para concluir este capítulo y antes de analizar las conclusiones finales de esta tesis, se puede decir que la curva de inversión - capacidad obtenida anteriormente es muy representativa de la realidad, pues está basada en datos bastante confiables y además coincide, con cierta precisión, con datos de experiencias que se han llevado a cabo en la práctica o con información reportada en otras referencias.

## CAPITULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### **PRIMERA. RELACION CON LAS ECONOMIAS DE ESCALA**

En primer lugar, se debe hacer hincapié en la importancia de las economías de escala relacionadas con los procesos industriales. En la actualidad, la tendencia de la economía mundial está llevando a muchos países a la formación de bloques comerciales y a una "globalización" de la economía. Esto implica, entre otras cosas, una mayor competencia entre productores de cualquier parte del mundo, ya que podrán buscar participación de sus productos en mercados de lugares muy distantes. Para poder lograr esto se requiere tener precios de venta y costos de producción competitivos que permitan a los productos participar en el vasto mercado internacional.

Las economías de escala, por su parte, se pueden traducir en un incremento de producción que lleve a una disminución de costos unitarios, ya que aunque los costos fijos crecen conforme aumenta el tamaño de una planta, estos se pueden diluir entre una mayor cantidad de producto, de manera que exista un abatimiento de costos que haga menor el costo de cada unidad de producto fabricado.

Es posible relacionar los conceptos anteriores al considerar que una planta con una alta capacidad instalada que esté bien aprovechada, requerirá de una inversión inicial más elevada pero tendrá unos costos unitarios menores que una planta con una capacidad más pequeña, y además venderá una mayor cantidad de producto. En consecuencia, el producto proveniente de la planta grande será más competitivo, ya que se podrá ofrecer a un precio de venta más atractivo y mantendrá un margen de utilidad mayor que el producto de la planta menor.

Como se mencionó anteriormente, las economías de escala no sólo afectan a los costos

de producción sino también a las inversiones de capital, ya que se puede observar que dobles capacidad no implica doble inversión. Este concepto es congruente con los resultados de la curva de inversión - capacidad obtenida en el capítulo anterior, donde se puede conocer la inversión necesaria para una planta de poliestireno, notando el efecto de las economías de escala en la inversión requerida para plantas de diferentes capacidades.

## **SEGUNDA. RELACION CON LA DEFINICION DE PROYECTOS**

Es conveniente considerar la importancia de las curvas de inversión - capacidad en la definición de proyectos, pues ayudan a determinar los recursos que serán destinados a esa definición. Esto es porque generalmente los gastos de definición son presupuestados a partir de una inversión estimada inicial, que es la que proporciona una curva como la que se obtuvo en este trabajo.

La definición de un proyecto es una de las partes más importantes del mismo, pues a partir de ésta se obtiene un estimado de inversión suficientemente preciso y se pueden asignar al proyecto los recursos adecuados. La mayoría de los sobregiros en los presupuestos de inversión se deben a una deficiencia en la definición del proyecto, y estas deficiencias, que tienen que ser minimizadas, son producto de estimados incompletos o equivocados, premisas confusas y consideraciones erróneas.

Un factor que también influye en la definición de proyectos es la inflación, por lo que los estimados deben estar proyectados en una base de moneda constante para eliminar este efecto, de manera que sean actualizados cuando sea necesario por medio de índices de precios.

Por último, es necesario tener en cuenta las variaciones de costos de las diferentes zonas geográficas cuando aun no se tenga bien definida la localización, pues en ocasiones se hacen estimaciones con cierto grado de detalle asumiendo que no habrá demasiada

diferencia entre una zona geográfica y otra, lo cual es un error porque pueden surgir costos adicionales por leyes locales o cuestiones de logística que deben ser considerados conforme se defina el proyecto.

### **TERCERA. UTILIDAD DE LA CURVA DE INVERSION - CAPACIDAD**

La curva de inversión - capacidad es una herramienta de mucha utilidad para evaluar un proyecto de inversión de capital. Desde que se concibe la idea del proyecto, se puede recurrir a esta curva con la finalidad de obtener un estimado de orden de magnitud que permita decidir si se seguirá considerando el proyecto de inversión.

La curva de inversión - capacidad tiene utilidad en los siguientes puntos:

- 1) Se puede obtener un estimado de orden de magnitud que permitirá conocer, a primera mano, cual será la inversión total aproximada con una precisión de +/- 30%.
- 2) Tiene utilidad para decidir si se llevará a cabo el proyecto o no, desde una etapa temprana del mismo y previo a la erogación de capital en gastos de definición.
- 3) Si se decide seguir adelante con el proyecto, se deberán utilizar recursos para definirlo. Conforme se haga esta definición se irán obteniendo estimados cada vez más precisos que se podrán comparar con la información de la curva de inversión - capacidad, la cual ayudará a corroborar la información y a detectar estimaciones inciertas o dudosas.

### **RECOMENDACIONES**

La curva de inversión - capacidad para el proceso de poliestireno que se obtuvo en el presente trabajo representa un paso inicial en la definición de un proyecto de inversión que considere la construcción de una planta para fabricar este producto, ya que proporciona un estimado de las inversiones necesarias para diferentes capacidades de una planta. Se puede decir entonces que para construir una planta de poliestireno de 30 mil toneladas por año se

requieren aproximadamente 22 millones de dólares, a precios del segundo trimestre de 1991, con una precisión de +/- 30%, lo cual es un estimado de mucha utilidad.

Finalmente, por todo lo expuesto en este trabajo, se puede decir que es conveniente tener en cuenta las curvas de inversión - capacidad, por los conceptos tan importantes que se deben considerar para construirla y por la información tan valiosa que puede proporcionar su análisis en las fases iniciales de planeación y definición de un proyecto de inversión.

**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- 1) ANIQ: Anuario Estadístico de la Industria Química Mexicana. Edición 1990, p. 187.
- 2) ANIQ: Memorias de Sesiones Simultáneas, XXII Foro Nacional de la Industria Química, 18 y 19 de octubre de 1990, p. 66-73.
- 3) Benzene & Derivatives: Economics of the Petrochemical Industry, Dewitt & Company Inc., Octubre 1985, Vol. 7, No. 1, p. 77.
- 4) CEH Marketing Research Report: Polystyrene, SRI International, Diciembre 1988, p. 580.1501A-580.1502V.
- 5) Chemical Engineering, octubre 1991.
- 6) Ferguson C.E. y Gould, J.P.: Teoría Microeconómica, 2a. ed. en español, México, Fondo de Cultura Económica, 1975, p. 204-218.
- 7) Henderson James M. y Quandt Richard E.: Teoría Microeconómica (Una Aproximación Matemática), 2a. ed., Ariel, 1972, p. 80-89.
- 8) Intriligator Michael D.: Optimización Matemática y Teoría Económica. Prentice/Hall, 1973, p. 180-193.
- 9) Kirk-Othmer: Encyclopedia of Chemical Technology, 3a. ed., Wiley Interscience, Vol. 21, p. 801-847.
- 10) Mark, Bikales, Overberger y Menges: Encyclopedia of Polymer Science & Engineering, 2a. ed., Vol. 16, p. 46-52, 225-232, 242-246.
- 11) Modern Plastics Encyclopedia '92, McGraw Hill, Mid October 1991, p. 89-93.
- 12) Montaña Aubert E.: Industrias y Tecnologías Químicas. Primera parte: Conceptos Básicos y Evolución. México, Facultad de Química UNAM, Cuadernos de Posgrado, No. 28, 1990, p. 17-29, 55-76.
- 13) Pace Petrochemical Service: Long Range Petrochemical Forecast Update, 1991. The Pace Consultants Inc., 1991, p. 1-7, 45-46, 96-98.
- 14) Pace Petrochemical Service: October 1991 Monthly. The Pace Consultants Inc.
- 15) Pace Petrochemical Service: 1988 Annual Issue. The Pace Consultants Inc., 1988, p. 258.

- 16) Process Economics International: Process Plant Capital Costs, con datos de Chem Systems, Chemecon Publishing Ltd.
- 17) Process Economics Project (PEP) Report 176: Styrene and P-Methylstyrene and Polymers, SRI International, USA, Noviembre 1984, p. 3-37, 101-127.
- 18) PEP Yearbook 1990, SRI International.
- 19) Peters Max S. y Timmerhaus Klaus D.: Plant Design and Economics for Chemical Engineers, 4a. ed., McGraw Hill, 1991, p. 150-192.
- 20) Peterson Willis E.: Principios de Economía Micro, 1a. ed., México, CECSA, p. 157-160.
- 21) Petrochemical Handbook 79, en Hydrocarbon Processing, noviembre 1979, p. 234.
- 22) Petrochemical Handbook 81, en Hydrocarbon Processing, noviembre 1981, p. 217.
- 23) Petrochemical Handbook 85, en Hydrocarbon Processing, noviembre 1985, p. 163.
- 24) Petrochemical Handbook 89, en Hydrocarbon Processing, noviembre 1989, p. 110.
- 25) Sources & Production Economics for Chemical Products, compilado por Chemical Engineering, McGraw Hill, 1979-1980, p. 1-12, 260-263.
- 26) Valle-Riestra J. Frank: Project Evaluation in the Chemical Process Industries, McGraw Hill, 1983, p. 229, 256-314.
- 27) Waslas Stanley M.: Plant Investment Costs by the Factor Method, en Chemical Engineering Progress, Vol. 57, No. 6, 1961, p. 68-69.
- 28) World Petrochemicals Program: Polystyrene, SRI International, 1991.