

35
2
199



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

FACULTAD DE QUIMICA

**ANALISIS DE LA CURVA DE INVERSION-
CAPACIDAD PARA EL OXIDO
DE PROPILENO**

T E S I S

**Que para obtener el Título de
INGENIERO QUIMICO
p r e s e n t a**

ABRAHAM RODRIGUEZ AMADOR



México, D. F.

1994

**TESIS CON
FALLA 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

CAPITULO:	PAG.
I. INTRODUCCION	2
II. EL OXIDO DE PROPILENO Y SUS USOS	
A) Descripción	6
B) Propiedades	7
C) Fuentes de obtención	18
D) Mercado	19
E) Usos	27
F) Precio	29
G) Principales Compañías Productoras	31
H) Transformación posterior del óxido de propileno	34
III. PROCESO DE FABRICACION DEL OXIDO DE PROPILENO	
A) Oxidación del propileno	38
B) Métodos de oxidación	44
C) Procesos de fabricación comerciales	45
D) Elección del proceso	67

IV.	CONCEPTOS PARA LA ELABORACION DE LAS CURVAS DE INVERSION-CAPACIDAD.	
	A) Economías de escalas	72
	B) Estimación de costos	78
	C) Indices de costos y escalación	79
	D) Factores de costo en la inversión de capital	91
	E) Métodos para estimar la inversión de capital	106
V.	CONSTRUCCION DE LA CURVA DE INVERSION-CAPACIDAD PARA EL PROCESO DE LA CLOROHIDRINA PARA PRODUCIR OXIDO DE PROPILENO	
	A) Metodología para la elaboración de la curva	112
	B) Información considerada	117
	C) Tratamiento de la información	119
	D) Datos estadísticos de la curva	127
	F) Análisis de la curva inversión-capacidad	127
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	132
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	136

C A P I T U L O I

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

El propileno es un petroquímico de gran importancia debido a la amplia gama de derivados obtenidos, siendo éstos a su vez materia prima de una infinidad de productos. Actualmente se importan una gran cantidad de estos derivados y en algunos casos la totalidad del consumo nacional como es el caso del ácido metacrílico, ácido acrílico y óxido de propileno entre otros; siendo éste último del que más cantidad se importa (40,000 Toneladas en 1991), por lo que se considera una materia prima atractiva para la realización de este estudio sobre la elaboración de una curva de Inversión-Capacidad.

Una curva de Inversión-Capacidad, es la representación gráfica de la inversión requerida para una planta química en función de la capacidad instalada de la planta en cuestión.

La curva de Inversión-Capacidad se utiliza en las etapas tempranas de la vida de un proyecto, es decir, en el estudio de costos preliminares, donde se considera el aspecto económico de los diferentes procesos; esta estimación se basa únicamente en la información disponible, antes del diseño real del equipo de la planta, por lo que esta estimación es de una valiosa ayuda, para la elección del proceso más redituable. A partir de la curva de Inversión-Capacidad se puede emitir un estimado del orden de magnitud de la inversión capacidad, referida al rango de capacidades para el cual se elaboró.

El óxido de propileno fué considerado hasta 1992 como un petroquímico secundario, pero ahora con la política actual se han liberado un gran número de productos petroquímicos y en consecuencia ya no se requiere de permiso de la Secretaría de Energía Minas e Industria Paraestatal para fabricarlo.

El óxido de propileno ($\text{CH}_2\text{CHOCH}_2$) es un epóxido u oxirano que no se produce en México, más sin embargo, tiene una alta demanda en el mercado nacional y la tendencia del consumo aparente es aumentar.

Este producto encuentra su mayor aplicación como materia prima para poliésteres, de los que se obtienen espumas suaves y rígidas de uretano cuyo uso final es en los automóviles, muebles y recubrimientos protectores. Otro producto importante es el propilenglicol utilizado en la producción de resina poliéster insaturada, humectante para tabaco y productos alimenticios, así como solvente en la industria alimenticia.

En los últimos años la demanda nacional del óxido de propileno ha venido aumentando, de 1986 a 1991 fué aproximadamente de un 68%, así mismo el consumo aparente del poliuretano (que es su principal consumidor) aumentó para el mismo periodo un 112%, por lo que es probable se continúe por esta misma línea. En lo que respecta a la capacidad instalada de propileno (materia prima principal para

la fabricación del óxido de propileno) para 1990 aumentará a más del doble.

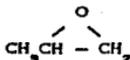
Objetivos:

- Ilustrar los usos, mercado y expectativas futuras del óxido de propileno.
- Comentar las propiedades, principios químicos básicos, fuentes de obtención y transformaciones posteriores del óxido de propileno.
- Explicar los diferentes procesos de fabricación comerciales del óxido de propileno y seleccionar uno de ellos.
- El principal objetivo es proponer un método corto y de bajo costo, para estimar el orden de magnitud de la inversión de capital requerida para diferentes capacidades de una planta química.
- Elaborar la curva de Inversión-Capacidad para el óxido de propileno.

C A P I T U L O I I

AD DESCRIPCION

El óxido de propileno también conocido como: metil oxirano ó 1,2-epoxi-propano:



Fué preparado por primera vez en el año de 1880 por Oser, através del método clásico de la clorohidrina. Este producto fué un petroquímico secundario hasta 1992, actualmente no se produce en nuestro país, por lo que se tiene que importar un gran volumen, principalmente de Estados Unidos. Se obtiene actualmente mediante la oxidación del propileno, siendo éste actualmente un petroquímico secundario que se obtiene através del cracking catalítico y térmico de hidrocarburos apartir de la nafta y por deshidrogenación catalítica del propano. Se estima que en los Estados Unidos un 11 % de la producción de propileno se destina a su transformación a óxido de propileno y la mayor parte de esta producción se destina a su transformación en polioles para la fabricación de uretanos.

B) PROPIEDADES

1.-PROPIEDADES FISICAS

El óxido de propileno es un líquido incoloro de bajo punto de ebullición, es miscible en la mayoría de los solventes orgánicos y forma un sistema de dos fases con el agua. El óxido de propileno forma dos isómeros ópticos pero el producto comercial es la mezcla racémica; adicionalmente forma azeótropos con el cloruro de metileno, éter y varios hidrocarburos más. En la TABLA 1 se dan las constantes físicas más importantes del óxido de propileno y en la FIGURA 1 se muestra un diagrama de fases del sistema óxido de propileno-agua.

2.- PROPIEDADES QUÍMICAS

El óxido de propileno presenta un alto grado de reactividad, como resultado de la presencia tan estrecha de tres miembros en un anillo de oxirano. Estas reacciones se dan como tal con amonio e hidrógeno a una velocidad de reacción satisfactoria, sin la necesidad de utilizar algún catalizador. No obstante, para la mayoría de las reacciones se requiere de agregar un catalizador ácido o básico; en ambos casos la reacción procede mediante el mecanismo de sustitución nucleofílica (S_N2). En las reacciones que requieren de un catalizador básico, el reactivo nucleofílico ataca al carbón del oxirano menos

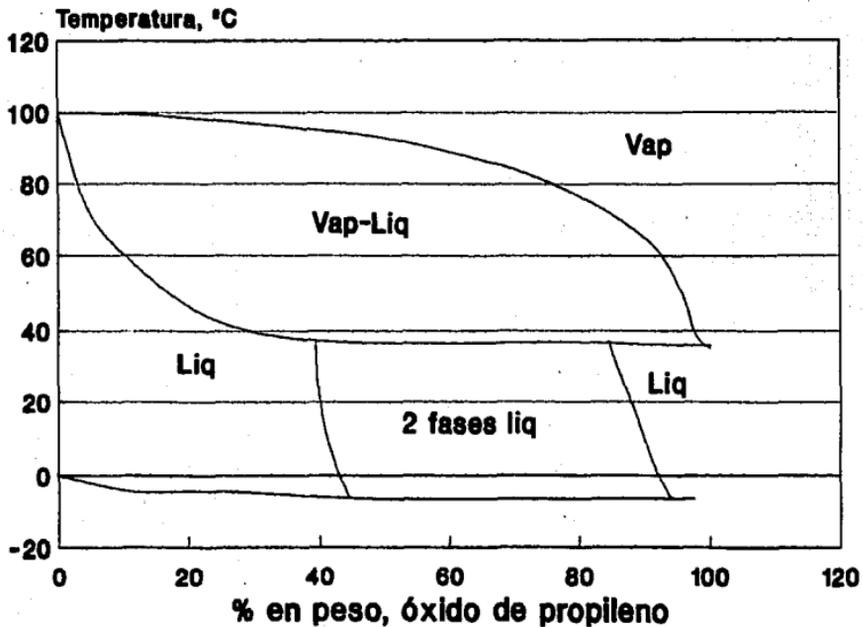
TABLA 1

CONSTANTES FISICAS DEL OXIDO DE PROPILENO*

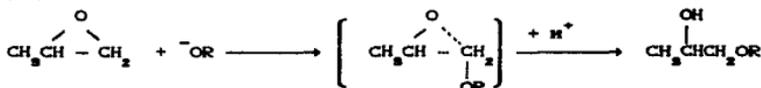
PROPIEDAD	VALOR
peso molecular	58.08
punto de ebullición a 101.3 KPa, °C	34.2
punto de fusión, °C	-112
coef.cubico de exp.termico a 20°C, por °C	0.00151
presión crítica, Mpa	4.92
temperatura crítica, °C	209.15
densidad critica, g/cc	0.312
factor de compresibilidad crítica	0.2284
momento dipolar, C.m	6.61 E-30
límite de explosividad en el aire, %vol	
superior	37
inferior	2.3
punto de inflamación, calculado, °C	<-20
calor de fusión, kJ/mol	6.54

* Kirk.Othmer. *Encyclopedia Of Chemical Technology*. 3a.ed.,1980. Interscience.vol 21. p.265.

**FIGURA 1. DIAGRAMA DE FASES
OXIDO DE PROPILENO-AGUA**

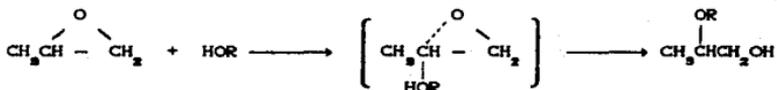


sustituido, y el producto primario es un alcohol secundario.



1

En el estado de transición de una reacción catalizada mediante un ácido el protón se une al oxígeno del oxirano, el rompimiento de uniones es más completo que la formación de éstos, las uniones parciales son más largas de lo usual y se produce una carga formal positiva en el carbono central. El grupo metilo estabiliza la carga parcial positiva al liberar al electrón, sin embargo este mecanismo esta sujeto a un impedimento estérico por parte del grupo metilo. De este modo se obtiene una mezcla de productos.



1

2.1 POLIMERIZACION

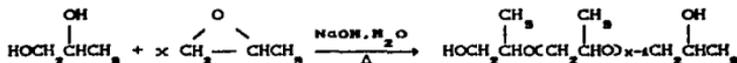
2.1.1 POLIOLES.

Esta es económicamente la más importante de las reacciones del óxido de propileno. Un poliol es el producto obtenido de la

1.-Kirk-Othmer. Encyclopedia of Chemical technology.1990 (3a.ed.), Wiley Interscience, vol.21,p.248

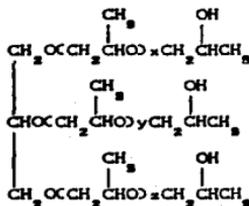
2. id.

reacción entre un epóxido y compuestos iniciadores como pueden ser: polioles, glicoles, aminas, ácidos y agua; los cuales contienen hidrógenos activos. El polipropilenglicol se prepara mediante una polimerización catalizada, utilizando una base de óxido de propileno con propilenglicol como iniciador.



3

El poliol anterior es comunmente conocido como un poliol-diol; Un poliol-triol resulta de la polimerización del óxido de propileno con glicerol:



4

Otros polioles trioles se pueden obtener utilizando como iniciadores de reacción: trimetilpropano, trietanolamina, ó hexanotrioles.

1. Kirk-Othmer, *id. cit.*, p. 249

2. *id.*

Se obtienen polioles con un gran número de grupos terminales hidroxilo, cuando para la reacción se usan iniciadores como pentaeritritol o productos naturales como la sucrosa, también se utilizan aminas como la etilendiamina, dietilentriamina y 2,4-diaminotolueno los cuales se utilizan como el iniciador que contiene el hidrógeno activo.

El óxido de propileno también reacciona con el hidrógeno activo proveniente del oxhidrilo derivado de la apertura del anillo de otros compuestos, como el óxido de etileno y el tetrahidrofurano; de este modo, se obtiene un poliol co-polímero.

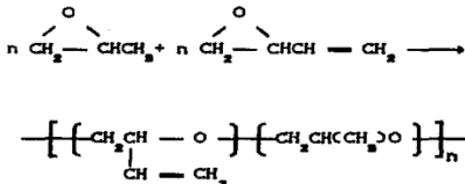
Normalmente los polioles se obtienen de reacciones catalizadas por bases, como hidróxido de amonio, de sodio ó potasio; así como con aminas alquílicas terciarias como la trimetil y trietanolamina.

Los pesos moleculares de los polioles preparados de acuerdo a las reacciones mencionadas anteriormente, van de 200 a 7000 g/mol.

2.1.2 POLIMEROS DE ALTO PESO MOLECULAR.

Estos polímeros de óxido de propileno tienen pesos moleculares de 100,000 o más, se pueden preparar con un catalizador que consiste en $FeCl_3$. La adición de pequeñas cantidades de 2,6-disocianato aumenta significativamente el peso de los polímeros obtenidos. Los homopolímeros de óxido de propileno pueden prepararse con un catalizador como el etilzinc y compuestos de trialquilaluminio.

El óxido de propileno es copolimerizado con CO_2 y anhídridos para formar el policarbonato y poliéster respectivamente. Cuando los epóxidos como el monóxido de butadieno, el cual tiene un doble enlace C-C son copolimerizados con el óxido de propileno, da como resultado un producto con cadenas laterales insaturadas y reactivas.



5

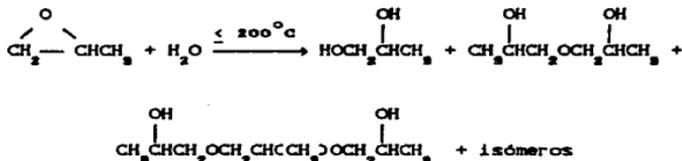
Estas cadenas laterales reactivas pueden ser usadas para unir o vulcanizar el copolímero.

2.2 REACCIONES

2.2.1 AGUA

La reacción de hidratación del óxido de propileno con el agua para producir propilenglicol se utiliza comercialmente. Ocasionalmente también se puede obtener dipropilenglicol, tripropilenglicol y propilenglicol de orden superior. Si se aumenta la proporción molar del óxido de propileno en agua, se aumenta la proporción de

glicoles de alto peso molecular. Normalmente se utiliza entre 15 y 20 moles de agua por mol de epóxido en la producción de propilenglicol, esta reacción se cataliza por ácidos y bases; aunque en el proceso comercial se utiliza presión y temperatura sin catalizador.



El dióxido de carbono mezclado con compuestos como: hidróxido de potasio, bromuro de tetraetilamonio, carbonato de potasio se han reportado como catalizadores efectivos para la hidrólisis del óxido de propileno.

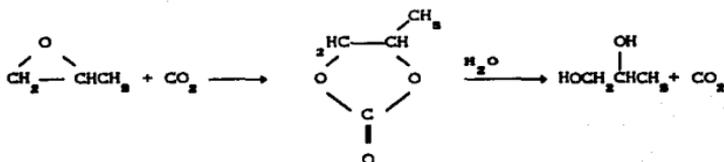
2.2.2 AMONIO Y AMINAS

La reacción que se da entre el amoníaco y el óxido de propileno con un poco de agua produce isopropanolamina. Así también la reacción da como productos la di- y trisopropanolamina. La proporción obtenida de las aminas primaria, secundaria y terciaria depende de la relación molar de los reactivos.

Las aminas arílicas o alquílicas primarias o secundarias producen las correspondientes N- ó N,N-isopropanolaminas disustituídas.

2.2.3 DIOXIDO DE CARBONO Y DISULFURO DE CARBONO

El óxido de propileno reacciona con el dióxido de carbono para producir carbonato de propileno, el cuál puede ser hidrolizado para dar como producto propilenglicol. La reacción puede ser catalizada por ioduro de potasio, bromuro de calcio ó bromuro de manganeso.



7

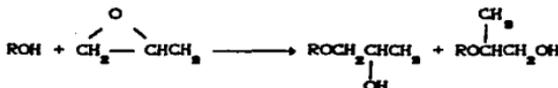
2.2.4 ACIDOS ORGANICOS Y ANHIDRIDOS

Al reaccionar los ácidos carboxílicos y el óxido de propileno dan como producto una mezcla que contiene monoésteres de los grupos alcohol primarios y secundarios del propilenglicol. Entonces el monoéster puede reaccionar con el ácido adicional para formar el diésterglicol. Si se tiene la suficiente concentración de epóxido el monoéster se adiciona al óxido de propileno para obtener el éster de dipropilenglicol o alguno de los glicoles de orden superior.

7. Kirk-Othmer, *op.cit.*, p.281.

2.2.5 ALCOHOLES Y FENOLES

La reacción del óxido de propileno con alcoholes o fenoles da monoésteres del propilenglicol. Estos ésteres del glicol pueden reaccionar además para formar di-, tri- y poliésteres de propilenglicol, ya que la relación alcohol-epóxido en la mezcla de reacción ha aumentado, el peso molecular de los productos tiende a disminuir y la producción del éster del propilenglicol aumenta en relación al di-, tri- y los poliésteres de polipropilenglicol. El uso de un catalizador básico favorece la formación de alcoholes secundarios, puesto que un catalizador ácido conduciría a la reacción a formar una mezcla de alcoholes primarios y secundarios.



8

2.2.6 ACIDO SULFIDRICO Y MERCAPTANOS

El óxido de propileno con el ácido sulfídrico forman el 1-mercapto-2-propanol, el cual puede reaccionar después para formar el tio-diglicol, bis(2-hidroxipropil) sulfuro. La reacción del epóxido con un mercaptano arílico o alquílico en un medio básico produce el 1-alkil-tio- ó el 1-aril-tio-2-propanol respectivamente. Para catalizar la reacción se utiliza hidróxido de sodio ó de litio, ó la sal de sodio del mercaptano.

2.2.7 REACTIVO DE GRIGNARD

La reacción con los reactivos de Grignard RMgX , produce un alcohol secundario, $\text{RCH}_2\text{CHOHCH}_3$, como su producto principal; comunmente se tiene como subproducto a la halohidrina $\text{CH}_2\text{CHOHCH}_2\text{X}$.

2.2.8 COMPUESTOS CARBONILICOS

Cetonas y aldehidos dan acetales cíclicos y acetales respectivamente. La reacción se cataliza con cloruro estánico y sales cuaternarias de amonio. Los solventes alcalinos estables y los grupos protectores para síntesis orgánicas se preparan de esta manera.

CO FUENTES DE OBTENCION DEL OXIDO DE PROPILENO

El óxido de propileno se obtiene apartir de la oxidación del propileno, y éste a su vez se obtiene por cracking catalítico y térmico de hidrocarburos, apartir de la nafta y por deshidrogenación catalítica del propano. En 1962 la producción mundial de propileno se obtuvo en un 71.4 % de craking térmico, 20.2% de refinarias, 7.7% es el que se genera en las refinarias y se consume como grado refinería para la manufactura química y un 0.7% por medio de deshidrogenación. El propileno se obtiene como: propileno grado químico, propileno grado refinería y propileno grado polimero.

En Estados Unidos el 34% de la producción de propileno que se transforma se utiliza para obtener polipropileno, 17% para acrilonitrilo, 11% óxido de propileno, 9% cumeno, 8% 2-etilhexanol, 6% isopropanol, 5% ácido acrílico y ésteres y un 10% para usos diversos.

En Estados Unidos más del 95% de la producción de óxido de propileno se transforma en sus derivados, siendo los más importantes los polioles para la fabricación de uretanos, destinándose para ello un 65% de su producción, así mismo se destina un 25% para elaboración de propilenglicol, el 5% para glicolésteres, y el 5% para otros usos^o.

9. Susan J. Ainswort. Propylene Oxide Producers Look For Ways To Counter Sluggish Market. Chemical And Engineering News, Marzo 2, 1962. p.10.

D) MERCADO

El óxido de propileno no se produce en nuestro país, se obtiene de la oxidación del propileno. El propileno actualmente es un petroquímico secundario únicamente lo fabrica PEMEX, éste consume el 100% de su producción. Se construye una nueva planta con una capacidad de 350,000 toneladas por año (siendo ésta aproximadamente la capacidad instalada actual que es de 387,200 ton/año) en el complejo Morelos localizado en Veracruz. Esta planta se espera que inicie su operación en 1990.

En las TABLAS 2 y 3 se muestra la situación económica actual en México del propileno y óxido de propileno respectivamente, de los años de 1986 a 1991; así mismo en la FIGURA 2 se grafica el consumo aparente del propileno y su capacidad instalada para los últimos años y en la FIGURA 3 las importaciones del óxido de propileno en el periodo comprendido entre 1986 y 1991.

La capacidad de producción mundial del óxido de propileno depende de su antecesor que es el propileno; la capacidad mundial del propileno para consumo en petroquímicos en 1992, fué de aproximadamente 40 millones de toneladas, se espera que la capacidad aumente en 1994 a 44.4 millones de toneladas y para 1997 a 49.5 millones de toneladas¹⁰, lo que representa un incremento en la producción de un 25% en un periodo de cinco años.

10. Gary K. Adams. propylene-Waiting on Growth. Selected Petrochemicals Statistics, Dic.1992, pp. 95-112.

TABLA 2. SITUACION ECONOMICA DEL PROPILENO EN MEXICO*

TONELADAS	1986	1987	1988	1989	1990	1991
PRODUCCION	231709	256709	281276	244897	362665	364833
IMPORTACION	26060	21918	19683	78508	1	23924
EXPORTACION	0	0	0	0	0	3141
CONSUMO.AP.	257769	278754	300959	373480	362666	385616
INCTO.C.A.%	10.7	8.1	8.0	24.1	(2.9)	6.3
CAP.INST.	360300	360300	360300	387200	387200	387200
CONS./CAP.%	71.5	77.4	83.5	96.5	93.7	99.6

FIGURA 2. CONSUMO APARENTE Y PRODUCCION DE PROPILENO EN MEXICO.*

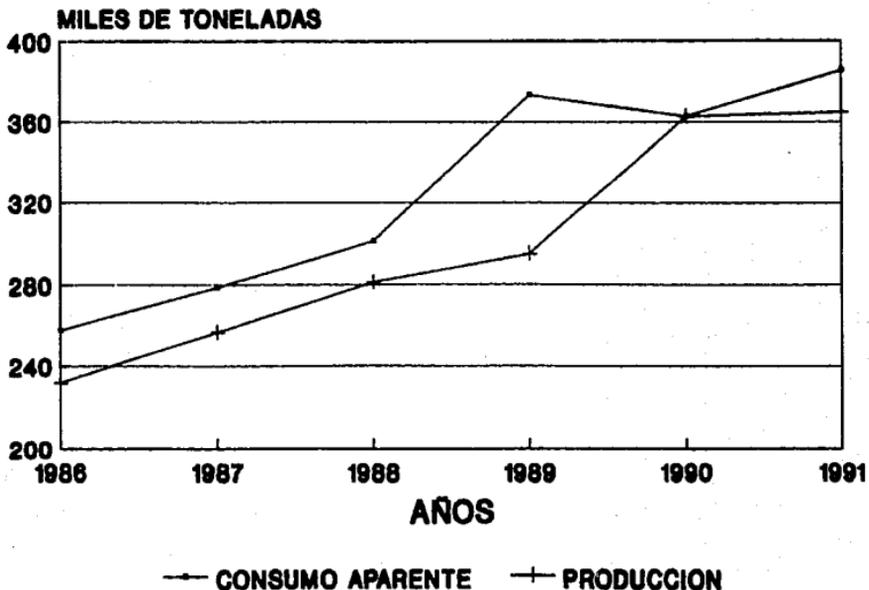


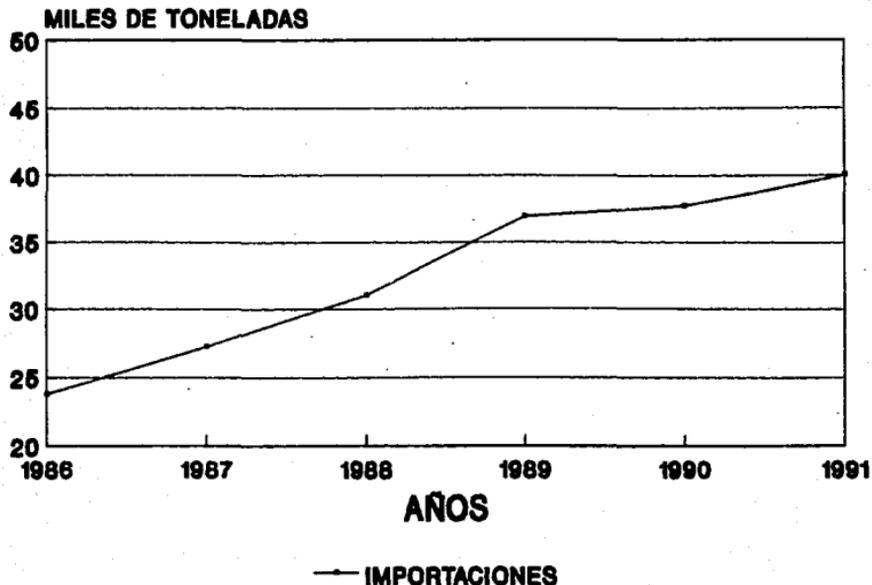
TABLA 3. SITUACION ECONOMICA DEL OXIDO DE PROPILENO EN MEXICO.*

TONELADAS	1986	1987	1988	1989	1990	1991
IMPORTACION	23,776	27,730	31,091	36,969	37,811	40,064
INCTO.IMP.% ^a (25.5)		14.5	14.2	18.9	2.3	6.0

^a - Anuario Estadístico De La ANIC, México, D.F., 1992. p.177.

* Incremento porcentual en las importaciones.

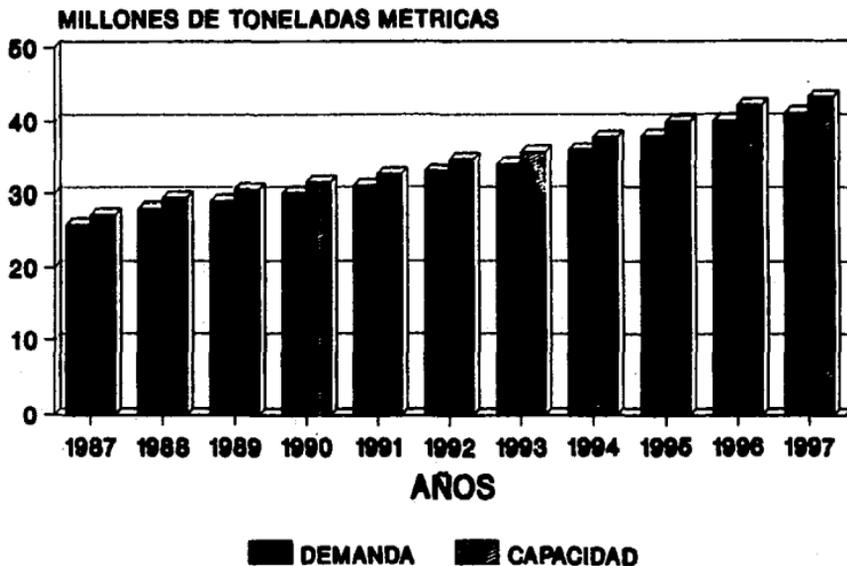
FIGURA 3. IMPORTACION DE OXIDO DE PROPILENO EN MEXICO.*



La producción mundial de propileno se ha incrementado de 27.1 millones de toneladas métricas en 1987 a 30.8 toneladas métricas en 1991 como se observa en la FIGURA 4.

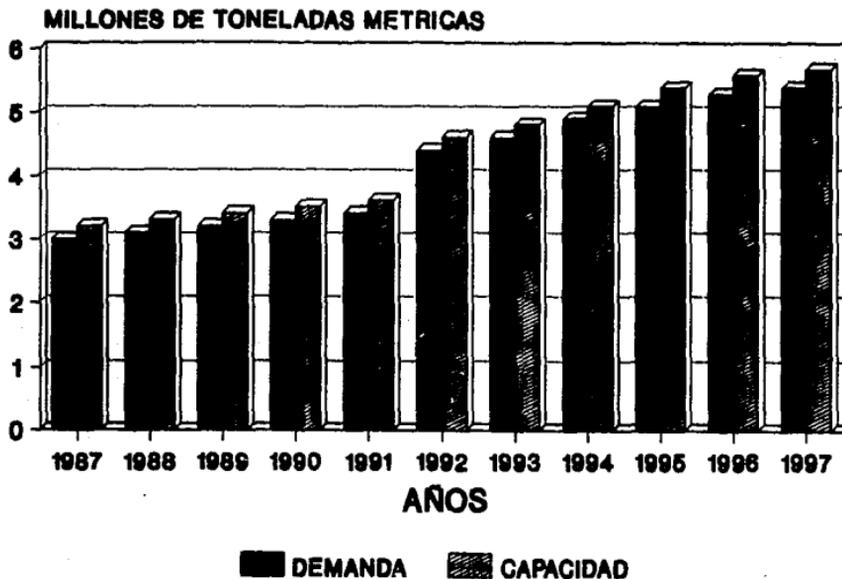
Para el óxido de propileno se tuvo en 1987 una capacidad mundial de 3 millones de toneladas métricas, para 1992 se tenía una capacidad de 4 millones de toneladas y se espera para 1997 una capacidad de 4.9 millones de toneladas métricas anuales como se observa en la FIGURA 5.

FIGURA 4. DEMANDA-CAPACIDAD MUNDIAL DEL PROPILENO.*



* Selected Petrochemical Statistics. March, 1998.

**FIGURA 5. DEMANDA-CAPACIDAD MUNDIAL
PARA EL OXIDO DE PROPILENO.***



* Selected Petrochemical Statistics, Marzo, 1992.

ED USOS

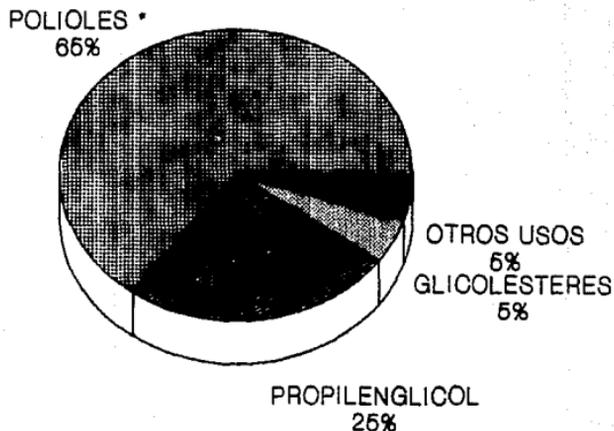
Los usos mas comunes para el óxido de propileno se ilustran en la FIGURA 6, el más importante es como intermediario para obtener:

-Policies: se utiliza para fabricar espumas de uretano rígidas y suaves las cuales se utilizan para los automóviles, muebles y productos de protección contra impactos.

-Propilen glicol el cual se utiliza para la producción de resinas poliéster insaturadas, para fabricar plásticos estructurales, humectantes para tabaco y productos alimenticios, y para solventes que se utilizan en la industria de los cosméticos.

El óxido de propileno esta certificado para usarse como fumigante de paquete para frutas secas y como fumigante de bulto para viveres y comestibles como: la cocoa, especias, condimentos, y almidón; también se puede usar mezclado con dióxido de carbono. El óxido de propileno se puede adicionar a una gran variedad de elementos: con los hidrocarburos clorinados actúa como estabilizador de color y de pH, la madera se hace resistente al ataque de las termitas, las fibras de algodón tratadas con óxido de propileno muestran una mejora en la absorción de humedad y asimilación del teñido, la mezcla de óxido de propileno con óxido de etileno es un combustible explosivo al aire utilizado en municiones.

FIGURA 6. USOS DEL OXIDO DE PROPILENO.■



■Susan J. Alnoworth. Propylene Producers Look For Ways To Counter Sluggish Market. *Chemical And Engineering News*, Marzo 2, 1992. p.10.

• Se utilizan para la fabricación de espumas de Uretano.

FD PRECIOS

En las TABLAS 4 Y 5 se indican los precios de exportación e importación en Estados Unidos del óxido de propileno, así como del propileno y el polipropileno para poder compararlos entre sí. Se proporcionan los precios en Estados Unidos, debido a que la mayor parte de las importaciones de propileno y óxido de propileno provienen de ese país.

Para formarse una idea del valor del mercado de óxido de propileno en México, en la tabla siguiente se muestran las operaciones comerciales realizadas por México en el período de 1991 a 1992.

TABLA 6

ESTADOS UNIDOS MEXICANOS COMERCIO EXTERIOR DE OXIDO DE PROPILENO*.

IMPORTACIONES CTONELADAS			IMPORTACIONES (MILLONES DE PESOS)		
1990	1991	1992	1990	1991	1992
37,811	40,064	40,059	117,288	129,184	128,608

* Elaborado por la Comisión Petroquímica Mexicana en base a cifras proporcionadas por la Secretaría De Comercio Y Fomento Industrial, 1993, p. 1V.2.10.

TABLA 4. IMPORTACION A LOS E.U.A. DE LOS DERIVADOS MAS IMPORTANTES DEL PROPILENO*

ENERO A DICIEMBRE DE 1992

PRODUCTO	UNIDAD	CANTIDAD (•1000)	\$/UNIDAD (DOLARES)	VALOR DEL MERCADO (•1000)
PROPILENO	Kg	141,525	0.254	36,610.25
O.PROPILENO	Kg	24,977	0.932	23,279.70
POLIPROPILENO	Kg	60,701	0.777	47,191.23

* Selected Petrochemical Statistics, Marzo 1993.

TABLA 5. EXPORTACION DE E.U.A. DE LOS DERIVADOS MAS IMPORTANTES DEL PROPILENO*

ENERO A DICIEMBRE DE 1992

PRODUCTO	UNIDAD	CANTIDAD (•1000)	\$/UNIDAD (DOLARES)	VALOR DEL MERCADO (•1000)
PROPILENO	Kg	487,167	0.312	152,082.66
O.PROPILENO	Kg	148,266	0.735	111,281.58
POLIPROPILENO	Kg	612,553	0.699	427,911.07

* Selected Petrochemicals Statistics. Marzo 1993.

A continuación en la TABLA 8 se proporcionan los precios del óxido de propileno (F.O.B)¹¹ para el periodo de 1989 a 1993, éstos fueron obtenidos del CHEMICAL MARKETING REPORTER que es una publicación semanal en los Estados Unidos, los precios reportados son un promedio obtenido a partir de los precios de lista de los diversos proveedores que existen en ese país, generalmente este precio es mayor del que se obtiene en realidad, ya que sobre este se otorgan descuentos, que dependen de diversos factores como el volumen comprado, la frecuencia con la que se compra, la cantidad de negocios que se realicen entre ambas compañías ó el caso común de que exista una integración vertical como es el caso de DOW CHEMICAL, que utiliza internamente casi la totalidad de su producción de óxido de propileno.

T A B L A 7.
PRECIOS PARA EL OXIDO DE PROPILENO (F.O.B)

AÑO	PRECIO (DOLARES/Kg)
DIC 29, 1989	1.201
DIC 28, 1990	1.287
DIC 27, 1991	1.201
DIC 25, 1992	1.287
JUL 30, 1993	1.287

¹¹ CHEMICAL MARKETING REPORTER

G) PRINCIPALES COMPAÑIAS PRODUCTORAS

A continuación se mencionan las principales compañías productoras de óxido de propileno en:

ESTADOS UNIDOS*:

	LOCALIZACION	CAPACIDAD ANUAL EN MILES DE TONELADAS	PROCESO
ARCO CHEMICAL	Bayport, Tex.	550	Peroxidación (isobutano)
	Channelview, Tex	499	Peroxidación (etilbenceno)
DOW CHEMICAL	Freeport, Tex	499	Clorohidrina
	Plaquemine, La.	204	Clorohidrina
TEXACO CHEMICAL	Port Neches, Tex.	181	Peroxidación (isobutano)

otros países*:

ARGENTINA
Dow/Química

Bahía Blanca

BRAZIL
Dow/Piramides

Santos

* Susan J. Ainsworth. op.cit., p.10.

+ Robert B. Stobaugh, Vincent A. Calarco. Propylene Oxide How, Where, Who-Future. Hydrocarbon Processing, enero de 1973, p.101.

CANADA
 Chemcell
 Dow Canada

Edmonton
 Sarnia

VENEZUELA
 IVP

El Tablazo

BELGICA
 BASF
 Carbochimique
 Maries-Kuhlmann-Wyandotte

Antwerp
 Terte
 Reims-Zelzaete

FRANCIA
 Maries-Kuhlman
 Naphachimie
 Progil Electrochimie
 Ugine-Kuhlman

Gonfreville
 Lavera
 Pont-de-Claix
 Pas-de-Calais

ALEMANIA

BAYER
 BASF
 DEGUSSA
 DOW
 ERDOLCHEMIE
 HULS

Ludwigshaven
 Stade
 Dormagen
 Marl

ITALIA
 Montedison

Priolo, Sicily

PAISES BAJOS
 Dow
 Odrane

Terneuzen
 Rotterdam

POLONIA
 Polimex

Brzeg Dolny

ESPAÑA

Ocirane/Alculdia

Puerto Llano

REINO UNIDO

BP Chemicals

Baglan Bay, Wales

ICI

Wilton, Inglaterra

JAPON

Asachi Electrochemical
Asachi Glass
Mitsui Toatsu
Nippon Soda
Shunan Petrochemical
Daicel Chemical Industries

Ogu, Tokio
Yodogawa, Osaka
Nagoya, Aichi
Goi, Chiba
Tokuyama
Otake

Las Compañías que comercializan el óxido de propileno en México son:

BASF MEXICANA, S. A.

DOW QUIMICA MEXICANA, S. A. DE C. V

PRODUCTOS TEXACO, S. A DE C. V

HD TRANSFORMACIONES POSTERIORES DEL OXIDO DE PROPILENO

1. -DERIVADOS

1.1 POLIOLES

Los polioles para la fabricación de uretanos se fundamentan en los alcoholes tri- y polihídricos. Los polioles con pesos moleculares cercanos a 3000 o más, se usan para producir poliuretanos flexibles, y los polioles de pesos moleculares de 300 a 1200 se utilizan para poliuretanos rígidos.

1.2 PROPILENGLICOL

El propilenglicol es usado principalmente en la producción de resinas poliéster insaturadas de termofraguado. El propilenglicol no es tóxico como el etilenglicol y se utiliza como solvente para alimentos, medicinas y para preparaciones de cosméticos. Este está incluido en la lista GRAS publicada por el FDA y es considerada una sustancia de usos múltiples para los alimentos. El propilenglicol es también usado como antifriccionante y como fluido hidráulico.

1.3 DI- Y TRIPROPILENGLICOL

El dipropilenglicol comercial es una mezcla de tres isómeros obtenidos en el proceso de producción del propilenglicol; el tripropilenglicol es también una mezcla de isómeros. El dipropilenglicol se usa en fluidos hidráulicos, lubricantes

textiles, jabones industriales, como solvente y como un aditivo indirecto para alimentos. El tripropilenglicol es usado para cremas limpiadoras, jabones textiles y lubricantes.

1.4 POLIPROPILEN GLICOLES

Los polipropilén glicoles son líquidos de bajo peso molecular, los cuales se obtienen del óxido de propileno y agua o del propilén glicol; su peso molecular se haya en un rango de 400 a 4000 g/mol; su viscosidad aumenta con el peso molecular y con pesos moleculares entre 500 y 1000 no son misibles en agua. Los anteriores se usan como lubricantes para hule; lubricantes para el rolado y estiramiento de metales; como agente antiespumante; en fluidos hidráulicos; y en formulaciones para anticongelante de las gasolinas.

1.5 ÉTERGLICOLES

Los éteres alquílicos: mono-, di-, y tripropilenglicoles son obtenidos de la reacción de un epóxido y un alcohol. Usualmente el alcohol es metanol o etanol. Estos compuestos se utiliza como solventes para pinturas, resinas, y tintas. Debido a su miscibilidad en agua, pueden ser usados en sistemas de solventes acuosos. También son usados en fluidos de transferencia de calor y como intermediarios químicos.

1.6 ISOPROPANOLAMINA

Las mono-, di- y triisopropanolaminas se forman de la reacción del amoníaco con el óxido de propileno. Los isómeros son solubles en agua, pero se comienzan a hacer insolubles al aumentar el peso molecular. La isopropanolamina se usa en combinación con ácidos grasos como emulsificante en cosméticos y como detergente en jabones. En la industria del plástico se utiliza como acelerador secundario para la vulcanización.

1.7 OTROS DERIVADOS

El óxido de propileno se polimeriza para obtener hules de alto peso molecular, los cuales son resistentes al petróleo, hidrocarburos y degradación por oxígeno. El grupo de copolímeros de bajo peso molecular que forma el óxido de propileno y el óxido de etileno sirve como plastificante para elastómeros.

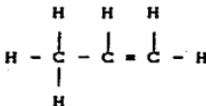
El carbonato de propileno es un solvente para compuestos orgánicos e inorgánicos y suele ser utilizado en acondicionamiento de gases para eliminar H_2S , CO_2 , COS y mercaptanos, los aductos de óxido de propileno y ácido bórico se utilizan como preservativos para madera.

C A P I T U L O I I I

AD OXIDACION DEL PROPILENO

Aunque la principal aplicación de los hidrocarburos es como combustibles, numerosos productos secundarios derivados del craqueo del petróleo se utilizan como materias primas en la industria petroquímica. Las principales materias primas empleadas en la fabricación de productos químicos, medicamentos y polímeros son el etileno C_2H_4 y el propileno C_3H_6 . La rentabilidad de la conversión del crudo en productos petroquímicos es mucho mayor que la de su uso como combustible.

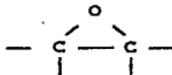
El propileno se obtiene mediante el cracking de los alcanos, ya que los alcanos no superiores a cuatro carbonos se pueden obtener puros de la industria petrolera. Los alquenos son muy reactivos debido a su doble enlace, el propileno pertenece a la familia de los alquenos (hidrocarburos no saturados), es el segundo miembro de la familia el cual tiene la siguiente estructura:



Los alquenos tienen como propiedades físicas más importantes el ser insolubles en agua, pero bastante solubles en líquidos no

polares como: benceno, éter y cloroformo y son menos densos que el agua. El punto de ebullición aumenta con el número creciente de carbonos. Las ramificaciones bajan el punto de ebullición, y son debilmente polares.

El óxido de propileno es un éter. Los éteres pueden ser de cadena abierta o cíclicos. Los epóxidos (denominados oxiranos en la nomenclatura IUPAC) tienen la función éter formando un anillo de tres miembros son más reactivos que otros éteres a causa de la tensión en el anillo.



1.-ESTRUCTURA DE LOS EPOXIDOS

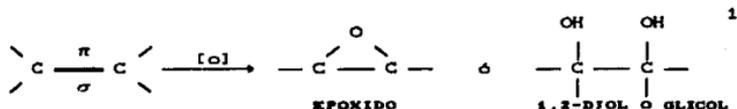
Un anillo de epóxido semejante a un anillo de ciclopropano, no puede tener ángulos de enlace normal Sp^3 , de 109° , en este caso los ángulos internucleares son de 60° , requisito geométrico de anillo de tres miembros.

Los orbitales que forman los enlaces del anillo son incapaces de una superposición completa; por consiguiente, los anillos de los epóxidos están tensionados. La polaridad de los enlaces C-O sumada a la tensión del anillo contribuye a la alta reactividad de los epóxidos comparada con otros éteres.

Un epóxido sustituido puede ser capaz de isomería geométrica, debido a que es cíclico.

2.-OXIDACION DE ALQUENOS

Los alquenos pueden oxidarse dando, lugar a varios productos dependiendo del reactivo que se use. En el caso específico del propileno; para obtener el óxido de propileno, la reacción de oxidación en el doble enlace carbono-carbono se oxida el enlace π , sin la ruptura del enlace σ y los productos de oxidación son 1,2-dioles o epóxidos.



Los reactivos comunes para la oxidación de alquenos sin ruptura de enlace sigma pueden ser:

Reactivo	Productos
KMnO_4 con OH^- frío	1,2-dioles
OsO_4 seguido de Na_2SO_3	1,2-dioles
$\text{C}_6\text{H}_5\text{CO}_3\text{H}$	Epóxidos

2

1. Ralph J.Fessenden, Joan S.F. Química Orgánica. 1983.México: Editorial Iberoamérica, p.423.

2. ibid. , p.423.

El óxido de propileno se forma mediante una sustitución nucleofílica, la cual puede ser también un proceso intramolecular cuando el nucleófilo y el grupo saliente forman parte de la misma molécula. Muchos compuestos cíclicos se preparan de esta manera.

Los procesos intramoleculares poseen una entropía más favorable que reacciones análogas intermoleculares. Se estima que cuando se forma un anillo de cinco ó seis miembros, la reacción es $10^4 - 10^6$ veces más rápida que las sustituciones intermoleculares correspondientes.

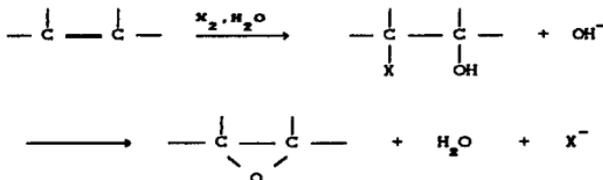
Incluso la formación de un anillo de tres miembros tiene lugar entre $10^2 - 10^3$ veces más deprisa que una reacción no cíclica comparable.

Los dos átomos que reaccionan pueden adquirir una conformación, en la que sólo están separados unos 2.5 Å (250 pm). La formación del enlace requiere que los átomos se aproximen cerca de 1 Å (100 pm). La tensión del anillo de tres miembros se ve compensada por esta contribución relativamente favorable de la entropía a la energía de activación, una interesante consecuencia de la sustitución nucleofílica intramolecular puede verse en las velocidades de reacción para algunos procesos intermoleculares

3.-METODOS DE PREPARACION DE EPOXIDOS

3.1 METODO DE LA HALOHIDRINA

Si un halógeno reacciona con un alqueno en presencia de agua, un átomo de halógeno puede adicionarse a un extremo del doble enlace mientras el grupo hidroxilo se adiciona al otro extremo. El producto es conocido como halogenohidrina. La adición de los componentes de un ácido hipohalogenoso (HOX) es regioespecífica y sigue el mecanismo esperado para una adición electrofílica inicial de X^+ .



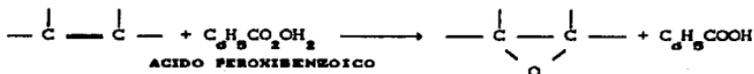
3

La conversión de halohidrinás en epóxidos por la acción de una base, es una adaptación de la síntesis de Williamson; ya que se obtiene un compuesto cíclico pues el alcohol y el halogenuro forman parte de la misma molécula. En presencia del hidróxido existe una pequeña proporción del alcohol como alcóddo, que desplaza al ion halogenuro de otra parte de la misma molécula para generar el éter cíclico. Las halogenohidrinás son intermediarios industriales importantes que se utilizan en la preparación de epóxidos.

3. Robert T. Morrison, Robert N. Boyd. Química Orgánica. 2a.ed. en Español, 1987. México: Editorial Iberoamericana.p.329.

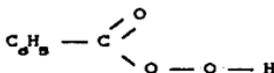
3.2 METODO DEL PERACIDO

También se puede preparar utilizando un perácido (peroxídico) o peróxido de hidrógeno. La epoxidación efectúa una adición sin de un átomo de oxígeno al doble enlace. La estereoespecificidad de la reacción indica que la formación del anillo ocurre esencialmente en un paso ó, como mínimo, que no implica un carbocation libre.



4

También puede oxidarse el doble enlace directamente a epóxido mediante el ácido peroxibenzoico.



4. Robert T. Morrison. loc. cit. p.544.

B) METODOS DE OXIDACION

El óxido de propileno se puede obtener mediante el proceso de la clorohidrina o del Hidroperóxido.

El proceso de la clorohidrina involucra la reacción del propileno con cloro y agua para producir clorohidrina propilénica. Seguida de una deshidrocloración con cal ó sosa cáustica para dar óxido de propileno y una sal, este proceso se utilizó por primera vez en Alemania durante la Segunda Guerra Mundial por BASF y otros.

Actualmente sólo Dow Chemical Company tiene plantas en operación con este proceso, una en Freeport, Texas y la otra en Plaquemine, Louisiana, éstas son las únicas con las que se cuenta en los Estados Unidos.

Para el proceso del Hidroperóxido se utiliza un hidropoeróxido orgánico para epoxidizar al propileno, se obtiene un alcohol orgánico como co-producto. Normalmente se produce alcohol terbutílico y alcohol α -metil-bencílico.

El alcohol terbutílico es utilizado para aumentar el octanaje de la gasolina, ó puede ser deshidratado a isobutileno. Mientras que el alcohol α -metil-bencílico se convierte a estireno.

El alcohol terbutílico se obtiene como co-producto en Oxdrane, la cual, es una división de Arco Chemicals que se ubica en Bayport, Texas y en el Channelview, Texas, se obtiene el estireno como co-producto.

CO PROCESOS DE FABRICACION COMERCIALES

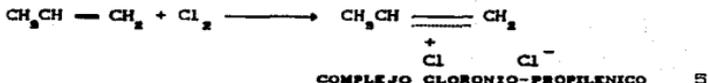
1.- PROCESO DE LA CLOROHIDRINA

El proceso comercial de la clorohidrina se basa en la mezcla de propileno y clorohidrina en cantidades equimolares con un exceso de agua para formar la solución diluida de clorohidrina propilénica con pequeñas cantidades de hidrocarburos como subproductos. Esta solución es tratada con una base: cal ó hidróxido de sodio, para formar un óxido de propileno bruto y se obtiene como efluente una corriente de agua con cloruro de sodio ó de calcio.

Los principales pasos del proceso son:

Formación de la clorohidrina, epoxidación, tratamiento de aguas de desecho y la purificación del óxido de propileno.

El mecanismo propuesto más aceptado para la formación de la clorohidrina es como sigue:



Este ion complejo reacciona con el agua para formar los isómeros de la clorohidrina propilénica, los cuales son: 1-cloro-2-propanol y el 2-cloro-1-propanol más el ácido clorhídrico.

formación del éter, se agrega agua para mantener la clorohidrina propilénica entre 4 y 4.5 % en peso en los productos de reacción.

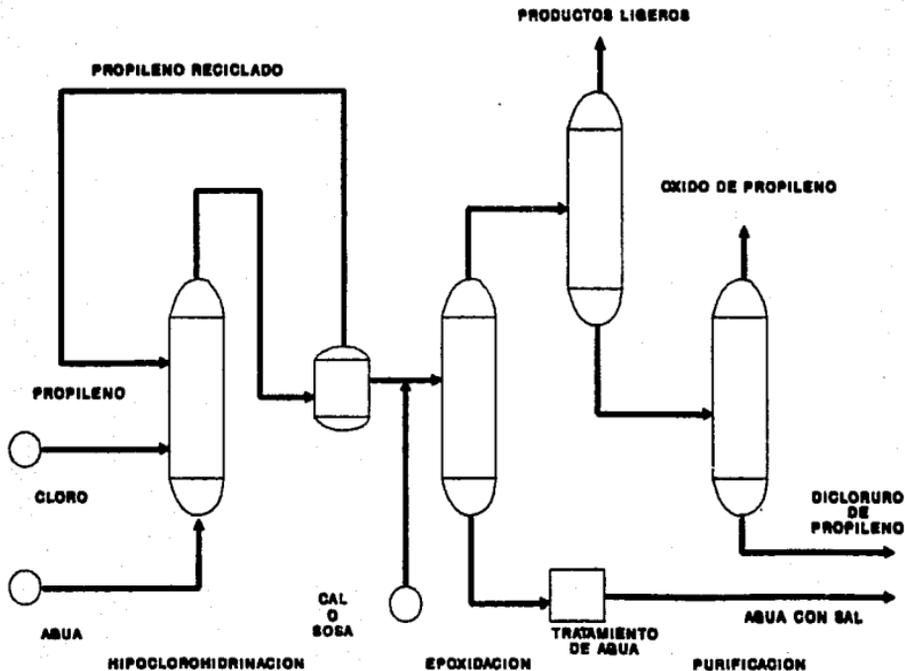
1.1 FORMACION DE LA CLOROHIDRINA.

Este proceso se ilustra en la FIGURA 7. Se mezcla el cloro y el propileno en cantidades equimolares con un exceso de agua, 4.8-7.3 mol de agua por Kg de propileno. El exceso de agua reduce la concentración de clorohidrina propilénica y del ion cloruro en el reactor, de este modo se minimiza la formación de dicloruro de propileno y de éter como subproductos.

El exceso de agua también permite la formación de una fase orgánica de dicloruro de propileno, en la cual el propileno y el cloro pueden reaccionar rápidamente. La fase orgánica puede ser evitada con la remoción del dicloruro de propileno de la mezcla de reacción mediante calor ó exceso de propileno; el propileno que no reaccionó es lavado con agua y reciclado.

La reacción de la clorohidrina debe de ser controlada, a fin de que se minimice la formación de subproductos y mantenga una operación segura. La reacción cloro-propileno debe de ser controlada de cerca para mantener la adecuada cantidad de reciclado y evitar una reacción explosiva entre el cloro y los hidrocarburos en el sistema de venteo. Debido a la naturaleza corrosiva de la mezcla de reacción, siendo una mezcla acuosa de compuestos orgánicos y ácido clorhídrico, los materiales óptimos

FIGURA 7. PROCESO BASF DE LA CLOROHIDRINA •



Un buen mezclado de la solución de clorohidrina y la base, reduce por mucho la reacción del óxido de propileno a propilenglicol. Después del proceso de mezclado el óxido de propileno es separado de la solución alcalina mediante una columna de separación. El óxido de propileno es alimentado a la sección de purificación y el efluente de agua a tratamiento.

1.3. TRATAMIENTO DE EL EFLUENTE DE AGUA

Aunque no es un paso del proceso, el tratamiento y disposición de el gran efluente de agua de la sección de epoxidación contribuye al éxito comercial del proceso de la clorohidrina.

La corriente contiene 5-6% en peso de cloruro de calcio ó 8-10% en peso de cloruro de sodio, algunos cientos de ppm de propilenglicol y trazas de algunos otros compuestos orgánicos a un pH cercano a 11.

Los costos asociados con esta corriente son un serio inconveniente para el proceso convencional de la clorohidrina, se han propuesto varios métodos para remover los contaminantes orgánicos. La oxidación biológica reduce satisfactoriamente la carga orgánica a concentraciones aceptables para su descarga. La disposición que se hará con el cloruro de sodio ó de calcio presenta un problema, el cual es la principal causá de que no se pueda instalar una planta productora de óxido de propileno que utilice el proceso de la clorohidrina cuando ésta tenga que tirar sus descargas tierra adentro, es decir debe de estar cerca del mar.

La concentración de cloruro de sodio para reciclarlo a una planta de cloro ó vender el cloruro de calcio es posible, pero los costos de la energía para su recuperación son altos. También se ha propuesto la posibilidad de instalar una planta para producir solventes clorados para eliminar el problema del tratamiento del efluente. Por ello se debe buscar localizar la planta en sitios donde se pueda descargar al ambiente la salmuera tratada.

1.4. PURIFICACION

Se requiere de varios pasos para obtener el óxido de propileno con la suficiente pureza para poder ser usado para la producción de polioles para la fabricación de uretanos.

El producto que se obtiene del domo de la torre separadora en la sección de epoxidación contiene aproximadamente 70% de agua, 28% de óxido de propileno, 3% de dicloruro de propileno y 4% de otros compuestos.

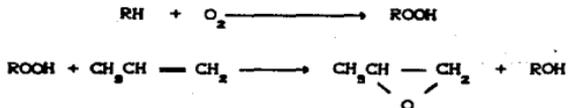
Después de la condensación, el óxido de propileno crudo es mandado a una torre de destilación donde el propileno, los componentes inertes y los compuestos orgánicos de bajo punto de ebullición son eliminados. Los fondos de esta torre son mandados a la columna de agotamiento donde se obtiene el óxido de propileno como producto por el domo de la torre.

El dicloruro de propileno, agua y otros son removidos de los fondos por vapor. El dicloruro de propileno puede ser recuperado de los fondos, al ser alimentado a una planta de solventes

clorados para reducir la hidrólisis del óxido de propileno a propilenglicol, la destilación se lleva a cabo a vacío.

2. - PROCESO DEL HIDROPEROXIDO

Este proceso se basa en el uso de un hidroperóxido orgánico, como el portador del oxígeno para epoxidizar al propileno. Este proceso fué desarrollado por Halcon International y The Atlantic Richfield Corporation. Ellos formaron una tercera compañía, Odrane, la cuál se encargaría del desarrollo comercial de este proceso. Shell Chemicals ha desarrollado un proceso similar, el cuál se sabe que se encuentra en operación en los Países Bajos. Las síntesis orgánicas con peróxidos orgánicos no son nuevos. La epoxidación del propileno usando un peróxido orgánico se basa en la siguiente reacción.



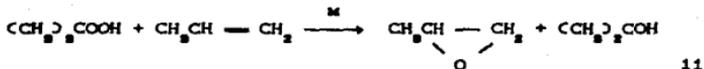
Actualmente se utiliza industrialmente el estilbenceno y el isobutano como los compuestos de los cuales se parte; de esta manera, el isobutano es oxidado a ter-butil hidroperóxido



9. Kirk-Othmer, *op.cit.*, p.257

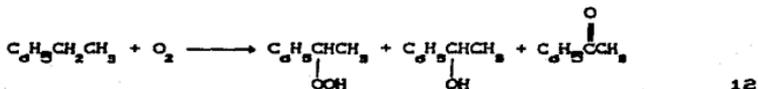
10. *id.*

También se llega a formar algo de alcohol terbutílico, el paso siguiente es la epoxidación del propileno en presencia de un catalizador metálico.

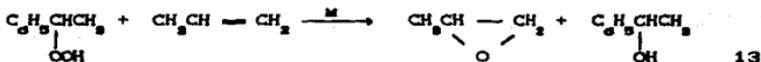


El alcohol terbutílico se puede utilizar como tal ó puede ser deshidratado para obtener isobutileno.

Si se usa etilbenceno se obtiene como co-producto el estireno. El etilbenceno primeramente se óxida a un hidroperóxido de etilbenceno como el 1-feniletano y 1-hidroperóxido.



Durante la etapa de la oxidación, se pueden formar algunos subproductos como: alcohol α -metil-bencílico y acetofenona. Se procede a la epoxidación del propileno con el hidroperóxido en presencia de un catalizador metálico.

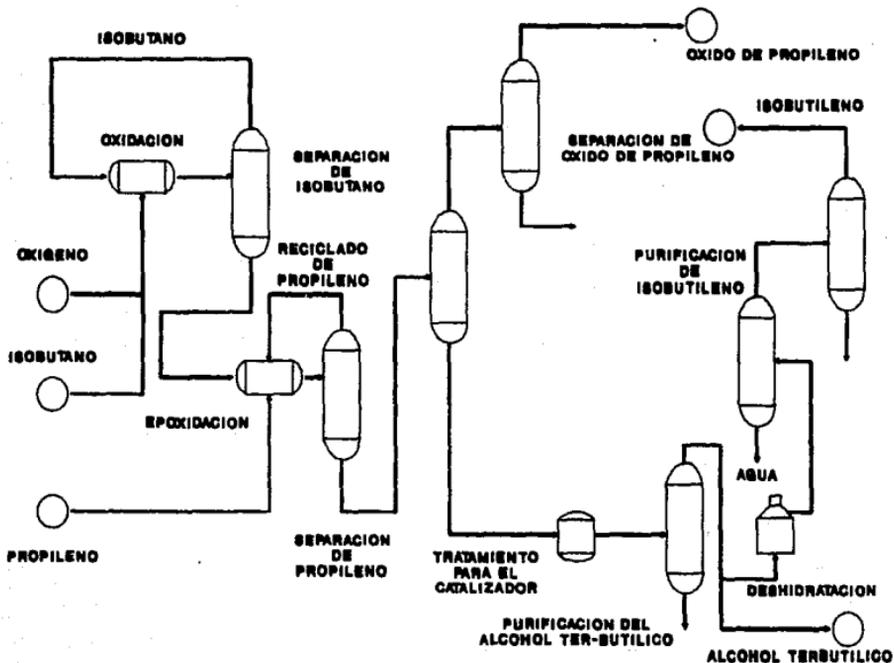


11. Kirk-Othmer, *op.cit.*, p.257.

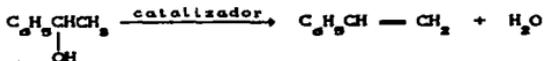
12. *ibid.*, p.258.

13. *id.*

**FIGURA 8. PROCESO OXIRANE DEL HIDROPEROXIDO
OXIDO DE PROPILENO-ALCOHOL TER-BUTILICO •**



El α -metilbencil alcohol es deshidratado a estireno:



14

Se obtiene como subproducto la acetofenona, la cual es hidrogenada para obtener α -metilbencil alcohol el cual es reciclado.

Teóricamente, un mol de co-producto se produce por cada mol de óxido de propileno. En la práctica, se producen cerca de tres kilogramos de ter-butil alcohol por kilogramo de óxido de propileno cuando se parte de isobutano, así mismo se obtienen 2.5 kilogramos de estireno cuando se parte de etil benceno. El terbutil alcohol y el estireno pueden ser convertidos a los compuestos de los cuales se partió. Esto es económicamente atractivo, sólo cuando el valor del óxido de propileno menos el costo del reciclado es mayor que los valores obtenidos por las vías alternas de obtención de isobutileno y estireno.

2.1 ALCOHOL TERBUTILICO COMO CO-PRODUCTO

Se proporciona un diagrama de flujo del proceso óxido de propileno-alcohol terbutilico en la FIGURA 8. Se tiene como primera etapa en la fase líquida, la oxidación mediante aire del isobutano, esta se lleva a cabo entre 2.2 y 5.6 MPa (300-800 psig) y entre 110-150°C. La oxidación se puede llevar a cabo usando

14. Kirk-Othmer, *op.cit.*, p.256.

oxígeno o aire, en ambos casos se requiere de una corriente de reciclado inerte para mantener las condiciones de no explosividad en el espacio de vapor dentro del reactor. Las patentes sugieren tiempos de reacción entre 4 y 8 horas. Se puede asumir que con la apropiada combinación de temperatura, presión y concentración de oxígeno, el tiempo de reacción se puede mantener en un rango de 0.3-2 horas. La conversión de isobutano se mantiene moderadamente baja de un 10-25% para mejorar la selectividad del ter-butil hidroperóxido, produciendo alcohol terbutílico a altas conversiones. El isobutano que proviene de los productos de reacción es recuperado mediante una destilación y reciclado. Los productos de fondos que son una mezcla de ter-butil hidroperóxido y alcohol ter-butílico, son alimentados al reactor de epoxidación.

La epoxidación del propileno se lleva a cabo en una mezcla en fase líquida, la cual contiene ter-butil hidroperóxido, alcohol terbutílico, propileno y óxido de propileno sobre un catalizador soluble metálico como: molibdeno, titanio, vanadio y otros. Las condiciones de reacción pueden variar dentro de un amplio rango de temperaturas que va de 80 a 130°C; tiempo de residencia de 0.3 a 2 horas; presión 1.8-7 MPa (250-1000 psig); y concentración de catalizador 0.001-0.005 moles por mol de hidroperóxido. La corriente que forman el propileno alimentado del tanque de almacenamiento y el propileno reciclado del proceso, es alimentado con una relación de 2-6 moles por mol de hidroperóxido; esencialmente se convierte el 100% del hidroperóxido.

El propileno que no ha reaccionado, primeramente se separa por destilación y luego es recirculado.

El producto que es óxido de propileno y el alcohol ter-butílico con materiales de alto peso molecular y catalizador, van a un tren de separación y purificación. En las corrientes superiores de las últimas torres se obtiene óxido de propileno, el que cumple con las especificaciones comerciales y alcohol ter-butílico grado gasolina.

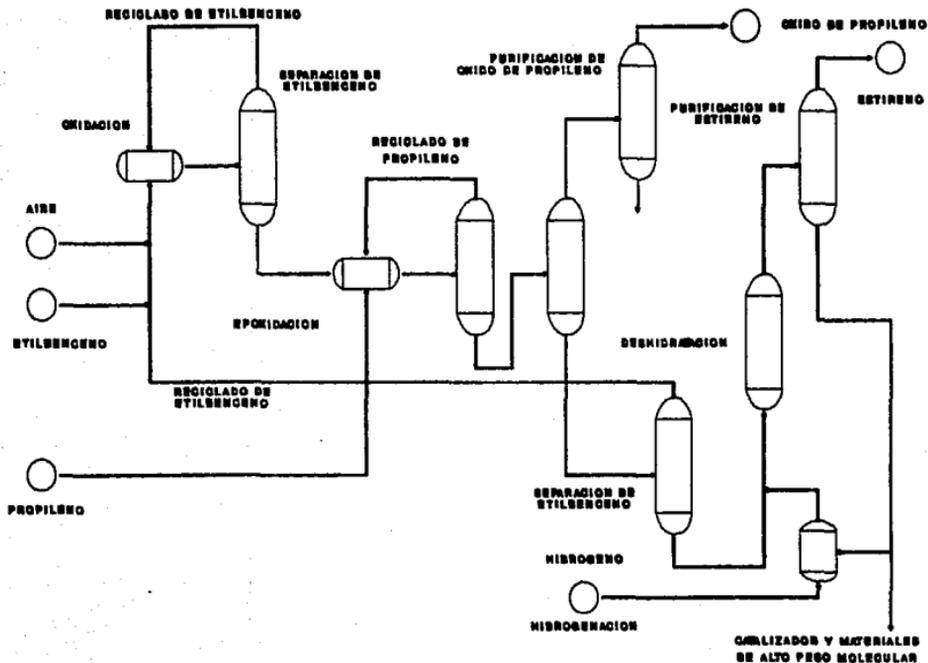
El alcohol ter-butílico puede ser deshidratado para producir iso-butileno, el cual tiene un mercado sustancioso. La hidrogenación del isobutileno da la sustancia inicial, isobutano. Tanto el catalizador metálico proveniente de la epoxidación como todos los compuestos de alto peso molecular que se hayan producido se encuentran en los fondos de la torre purificadora de alcohol ter-butílico. El molibdeno contenido en esta corriente representa la mayor parte del costo del catalizador y su recuperación es una parte necesaria del proceso.

2.2 ESTIRENO COMO CO-PRODUCTO

En la FIGURA 9 se muestra un diagrama de flujo del proceso óxido de propileno-estireno. La oxidación del etilbenceno es similar a la oxidación del iso-butano/propileno.

El etilbenceno y el oxígeno son alimentados a un reactor presurizado donde existe fase líquida y vapor, se convierte de un 15 a 25% de etilbenceno por paso. Se obtienen altos rendimientos del hidroperóxido si se mantiene baja la conversión de

**FIGURA 9. PROCESO OXIRANE DEL HIDROPEROXIDO
OXIDO DE PROPILENO-ESTIRENO .**



etilbenceno. La temperatura es controlada por la evaporación del etilbenceno y la condensación de éste en el cambiador de calor externo al reactor de oxidación. Se puede utilizar oxígeno puro o aire, en cualquier caso se mantendrá la condición de no explosividad, y la concentración de oxígeno en el reactor es controlada a un nivel para maximizar el rendimiento del hidroperóxido. El etilbenceno es destilado del producto obtenido del reactor y reciclado. La concentración del hidroperóxido de etilbenceno en la torre de destilación es controlada muy de cerca ya que este compuesto es altamente reactivo a concentraciones arriba de 30% en peso.

Después del proceso de concentración del hidroperóxido de etilbenceno, la mezcla cruda es alimentada junto con el propileno al reactor de epoxidación. Para este paso se proponen una gran variedad de catalizadores como pueden ser: compuestos de molibdeno, titanio, tungsteno y materiales similares. Los ejemplos de patentes sugieren como preferidos al molibdeno y el titanio. La forma del catalizador es la principal diferencia entre el proceso de Oxirane y el de Shell. El primero utiliza un catalizador soluble por lo que, se tiene un sistema en fase líquida, Shell tiene numerosas patentes que usan catalizadores sólidos por tanto se tienen sistemas heterogéneos. Ambos sistemas operan con condiciones de reacción similares y se obtienen resultados semejantes.

El producto obtenido de la epoxidación en el reactor, el cual, contiene óxido de propileno, etilbenceno, alcohol α -metilbencénico, acetofenona y varios subproductos más, son separados en un tren de separación. El propileno es reciclado sin la necesidad de purificación alguna, siguiendo la purificación del óxido de propileno. Se forman pequeñas cantidades de acetaldehído y propionaldehído las cuales se encuentran concentradas en la corriente de óxido de propileno crudo. Para el óxido de propileno que se va a utilizar para la producción de poliuretano se requiere de un contenido total de 20 ppm ó menos de contenido total de aldehído. Para obtener una alta pureza se requiere de una secuencia de destilación por múltiples torres.

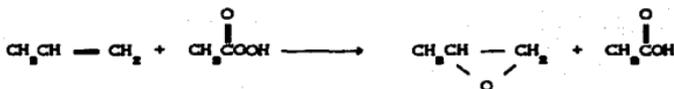
En el proceso Odrano, el catalizador permanece mezclado con el etilbenceno y debe de ser desactivado antes de continuar con el proceso, su naturaleza ácida causa deshidratación del alcohol α -metilbencílico a estireno, seguido de una polimerización. Se sugiere la hidrogenación y el tratamiento orgánicos o inorgánicos para esta corriente que puede ser con una base acuosa, para reducir las pérdidas de alcohol α -metilbencílico. Una solución básica acuosa de un hidróxido, carbonato, bicarbonato ó un óxido de un metal alcalino ó alcalinoterrec. El usar hidróxido de sodio parece ser el método preferido. Después de eliminar el catalizador el etilbenceno es eliminado y reciclado, entonces la mezcla de alcohol α -metilbencílico - acetofenona, es deshidratado a estireno en la fase vapor sobre un catalizador de silicagel ó

dioxido de titanio empacado en tubos a una temperatura de 180 a 400 grados Centigrados. El estireno es recuperado de la acetofenona y del alcohol α -metilbencílico que no reaccionó por destilación. La acetofenona es hidrogenada y reciclada, con condiciones de reacción de 80 - 130°C a una presión de 8.4 MPa (1200psig) usando un catalizador que contiene cobre se obtiene un rendimiento de más de 95% y una conversión de acetofenona a alcohol α -metilbencílico.

Para ambos procesos del hidroperóxido de Shell y Odrane, se reporta que producen 2.8 Kg de estireno por Kg. de óxido de propileno con rendimientos que fluctúan de un 88 a 95%.

2.3 OTROS PROCESOS

La reacción del ácido peracético es:



15

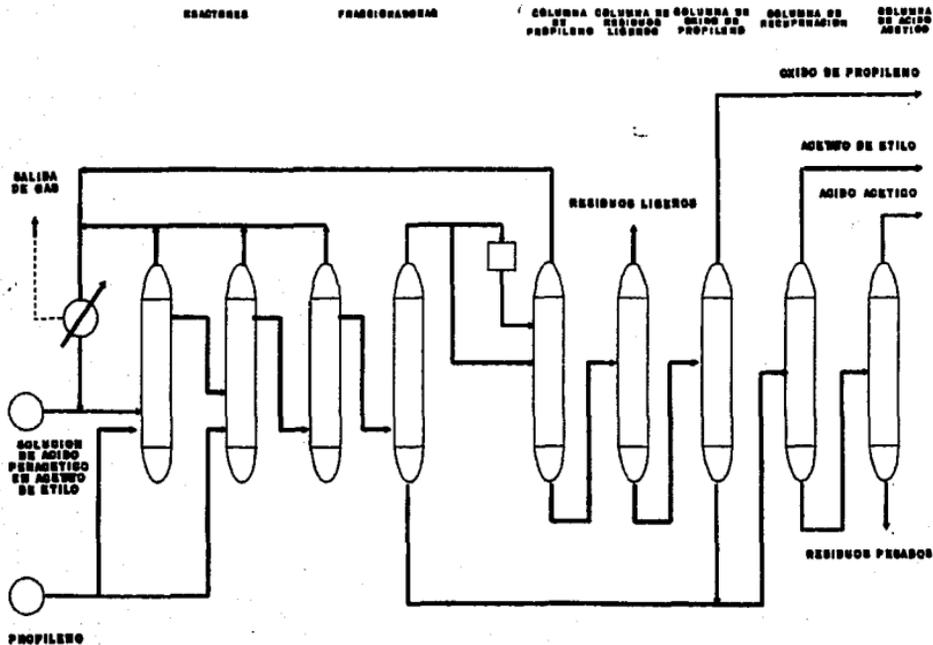
Se alimenta propileno y una solución al 30% de ácido peracético y una solución que contiene de 10-15% de ácido acético en etil acetato conteniendo un estabilizador, es alimentado continuamente a una serie de tres reactores especialmente diseñados para la epoxidación, la cual se lleva a cabo a una temperatura de 50-80°C

15. Petrochemical Handbook '83. Hydrocarbon Processing, Noviembre de 1983. p.146.

con una presión de 8 a 12 atm. De aproximadamente 2 a 3 horas, del 97-98% del ácido peracético ha reaccionado para dar óxido de propileno con un rendimiento del 82-90%. Posteriormente los productos de reacción son alimentados a una torre de fraccionamiento y destilados a razón de 1.3-5.0 Kg/cm². Del domo de la torre se obtiene una mezcla de propileno y óxido de propileno, y por el fondo se descarga una mezcla de etil acetato y ácido acético.

La primera mezcla se licúa mediante enfriamiento y compresión y después se alimenta a una columna de fraccionamiento que opera de 12-15 atm., donde el óxido de propileno se recupera y recicla al primer reactor. El óxido de propileno crudo se descarga del fondo de la columna de propileno a una columna de productos ligeros y de ahí a una columna para el refinamiento del óxido de propileno. La segunda mezcla y los productos de alto punto de ebullición obtenidos del fondo de la columna de óxido de propileno, son alimentados a las columnas de recuperación, donde se recupera al etil acetato y éste es reciclado al reactor de ácido peracético. El ácido acético es también recuperado y usado así ó refinado para múltiples aplicaciones, el diagrama de flujo se ilustra en la FIGURA 10.

**FIGURA 10. PROCESO DAIGEL
OXIDO DE PROPILENO-ACIDO ACETICO -**



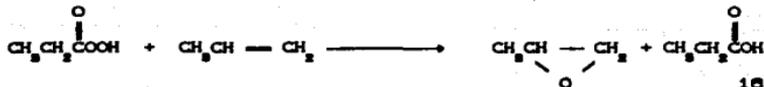
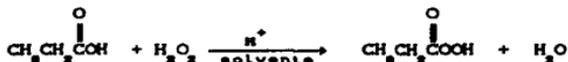
2.3.2 PEROXIDO DE HIDROGENO

La oxidación de propileno a peróxido de hidrógeno ha sido estudiada por varios años. Este proceso ha sido desarrollado por Degussa y Bayer.



15

Las principales reacciones de formación del perácido seguidas de la epoxidación del propileno.



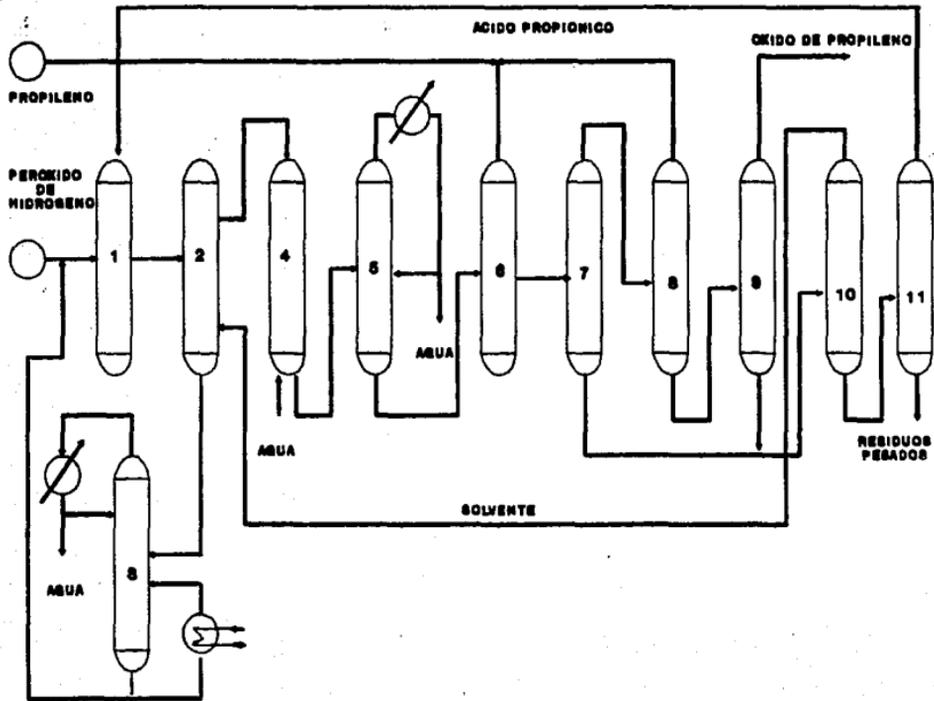
16

Se proporciona un diagrama de flujo para el proceso en la FIGURA 11. Ácido perpropiónico: con una solución acuosa de peróxido de hidrógeno reacciona con ácido propiónico en presencia de ácido sulfúrico (1). El ácido perpropiónico es recuperado de la mezcla de reacción por extracción (2) con un solvente inerte orgánico.

15. Kirk-Othmer, op.cit., p. 261.

16. ibid., p. 262.

FIGURA 11. PROCESO DEGUSSA/BAYER *



* Petrochemical Handbook '88. Industriales. Noviembre, 1988. p.108.

La fase acuosa de la extracción contiene principalmente ácido sulfúrico y exceso de peróxido de hidrógeno que es concentrado en la columna (3) y reciclado a (1). El extracto orgánico es lavado con agua (4) y secado por destilación azeotrópica.

Oxido de propileno y recuperación: La solución de ácido perpropiónico es hecha reaccionar con propileno (5). El óxido de propileno es recuperado de la mezcla de reacción por fraccionamiento en los pasos siguientes: predestilación (7); exceso de propileno para reciclado (8); óxido de propileno (9); solvente para reciclado (10); ácido propionico también para reciclado (11). Este proceso aún no se utiliza comercialmente.

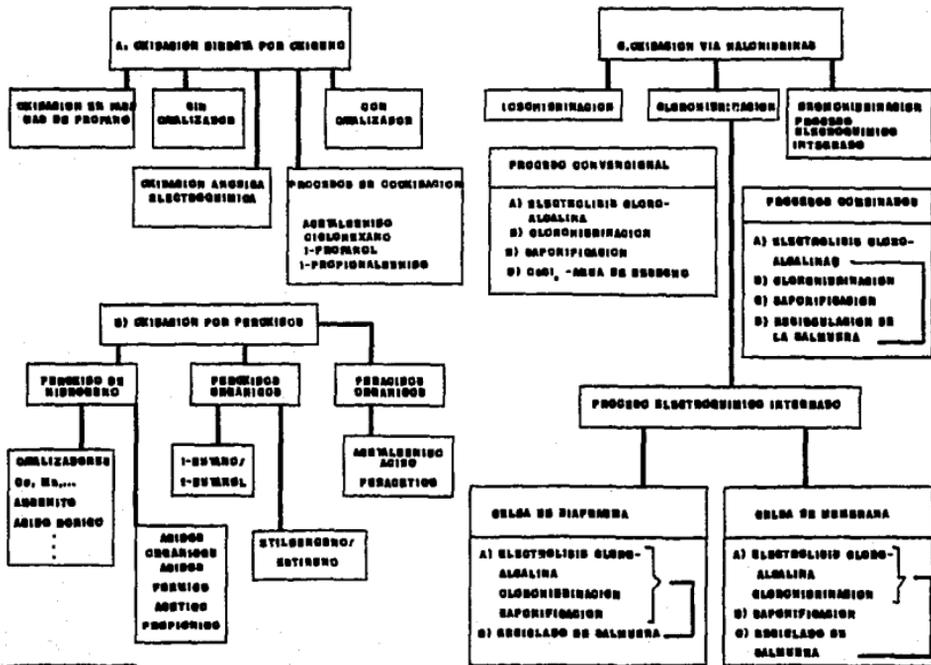
DD ELECCION DE EL PROCESO

En la FIGURA 12 se ilustran las rutas más importantes para la obtención del óxido de propileno sin embargo de todas ellas sólo se utilizan comercialmente el proceso de la halohidrina, el proceso del hidroperóxido y el proceso Daicel (ruta del ácido peracético).

Como ya se ha mencionado el proceso de la clorohidrina fué el primer proceso comercial utilizado para la obtención del óxido de propileno, mediante el cual también se obtenía el óxido de etileno y éste fué el primero en ser obtenido mediante una oxidación directa, por lo cual las plantas en las que se obtenía el óxido de etileno se convirtieron a óxido de propileno siendo en ese momento cuando se comenzó la búsqueda de un proceso directo para el óxido de propileno y de ahí surgió el proceso del hidroperóxido desarrollado por ARCO Chemical.

El proceso de la clorohidrina es un proceso en el cual se pueden llegar a suscitar situaciones o condiciones de explosividad por lo que no es muy conveniente, pero la principal inconveniencia es que se obtiene como residuos una salmuera que se forma como resultado de la neutralización al utilizar un compuesto básico, ya que como se menciona en el proceso se agrega un exceso de CaCl_2 ó $\text{Ca}(\text{Cl})_2$ el cual la mitad de la cantidad agregada neutraliza el ácido clorhídrico que se encuentra en la mezcla. Debido a esta alta alcalinidad producida por la presencia de un exceso de sales

FIGURA 12. RUTAS PARA LA OBTENCION DE OXIDO DE PROPILENO *



* H.E. Gilman, *Compara Propylene Oxide Reactions*, *Industrial Processing*, Nov. 1978, p. 166.

el tratamiento de agua requerido es excesivamente caro, por ello este tipo de plantas se localizan principalmente cerca de los océanos para poder descargar estos residuos sin la necesidad de someterlos a un tratamiento muy costoso.

Por lo que respecta al proceso del ácido peracético de Daicel, los reactores son especialmente diseñados para este uso por ello se tiene una alta conversión y una baja formación de sub-productos. Este proceso es de bajo costo y se dan condiciones de operación seguras.

Finalizando el proceso del hidropéroxido orgánico en presencia de catalizadores es el más utilizado mundialmente con variaciones en la forma de operación y en los co-productos obtenidos siendo los más importantes dos, uno cuando se parte de isobutano del cual se obtiene el óxido de propileno y alcohol ter-butílico pero éste se puede deshidratar para obtener isobutileno, el cual tiene un amplio mercado.

El otro proceso es cuando se parte de estilbeneno y se obtiene como coproducto el estireno.

Los procesos del hidropéroxido son muy similares entre sí en la forma de operación y costo de la planta, si los comparamos con el proceso de la Clorohidrina el del hidropéroxido ofrece una operación más segura, es un proceso más moderno y se obtienen como

co-productos el estireno y el alcohol ter-butílico contando ambos con una buena demanda.

Ahora al comparar las ventajas que ofrece el proceso de la Clorohidrina en relación al del Hidroperóxido se tiene que la inversión necesaria para una planta que utilice el proceso de la Clorohidrina, es menor, ya que el equipo que se requiere es más barato. Si se está interesado únicamente en el mercado del óxido de propileno, éste es el proceso ideal ya que no se obtienen los grandes volúmenes de co-producto que se obtienen con el proceso del Hidroperóxido, tal es el caso del estireno, del que se obtienen 2.8 Kg por Kg de óxido de propileno, siendo ésta una de las causas de que sea más alta la inversión para el proceso del hidroperóxido, ya que se tiene que llevar a cabo adicionalmente los procesos necesarios para la obtención del co-producto y todos los gastos adicionales que genera la comercialización de un producto adicional.

Debido a que el objetivo de este estudio es el óxido de propileno, se elegirá para la elaboración de la curva de Inversión-Capacidad el proceso de la Clorohidrina.

C A P I T U L O I V

AD ECONOMIAS DE ESCALA

Las economías de escala las manejamos cotidianamente, se pueden ilustrar como las ofertas tan conocidas por nosotros al recorrer las calles del centro histórico de la ciudad de México ó los grandes centros comerciales de cualquier lugar del mundo, en los cuales podemos observar los llamativos anuncios que versan algo similar a: "En la compra de 2 camisas llevese 3", "En la compra de 6 pantalones 10% de descuento"; es decir entre mayor sea el número de productos que se adquieran el precio unitario del producto tiende a disminuir; algo así como entre más compres menos pagas.

Desde el punto de vista de producción, a mayor volumen de producción menores serán los costos unitarios de producción, lo cual implica que se puede ofertar a un precio menor. Históricamente las economías de escala desde el punto de vista de producción, tienen su origen en el siglo XIX con la revolución industrial que es cuando se originan las primeras industrias, las cuales se localizaban cerca de las minas de hierro y de carbón; fúé entonces cuando las fábricas comenzaron a utilizar máquinas movidas por el vapor que les permitía crear un mayor número de artefactos en menor número de horas y con un gasto limitado de energía humana. En la rama automotriz el desarrollo de la producción en serie inventada por Henry Ford logró disminuir sustancialmente el precio de los antes costosísimos automóviles

con lo cual se hicieron accesibles a un mayor número de personas, tal es el caso de los famosos "Comodities"; los cuales son productos que se caracterizan por sus altos volúmenes de producción en plantas de gran capacidad y alto costo, pero sus precios de venta son bajos. Así se pueden citar multitud de ejemplos de como se abate el costo unitario de los productos cuando se aumenta el volumen de producción.

Se puede concluir de los hechos anteriormente expuestos, que en el caso de tener que escoger entre dos alternativas de planta de producción teniendo como primera alternativa una planta con una capacidad Y y un costo X y como segunda alternativa otra planta con una capacidad del doble de la anterior $2Y$ pero con un costo Z el cual es menor que el doble del costo de Y ; es decir se duplicó la capacidad pero la inversión de capital no es el doble, sino menor, por consiguiente el costo de producción disminuye.

Lo anterior se debe a muchos factores, uno de ellos y de los más importantes tiene que ver con el equipo. Como ejemplo supongase que se desean fabricar cubetas, para ello se piensa en una máquina que produce 5 000 cubetas/día, pero en el mercado existe otra con el doble de capacidad y se puede usar con la mismas instalaciones y personal con los que trabaja la anterior de menor capacidad; con la única diferencia de que su costo no es el doble al calcular el

costo de producción por cubeta en ambos casos se ve que en la segunda alternativa los costos de producción son menores, pero hay que tomar en cuenta que este comportamiento es factible hasta cierto punto, en el cuál ya no sería conveniente o posible. Para ilustrar lo anterior retomaremos nuestro ejemplo de las cubetas.

Si en lugar de considerar la máquina del doble de capacidad se propusiera una de cinco veces la capacidad, quizás ocurriría que esta máquina requeriría de otro tipo de instalación mas costosa, más operadores ó con diferente especialización u otro tamaño de planta, sin mencionar que posiblemente no exista mercado para un volumen cinco veces mayor de cubetas; en este caso ya no disminuyen los costos de producción sino al contrario. Por ello hay que considerar todos los factores importantes que afecten el costo del producto y tomar en cuenta las necesidades del mercado.

Al construir plantas grandes se aprovechan las economías de escala, ya que el costo unitario de inversión es menor, por ello se tienen costos de producción menores así que disminuye el precio de venta del producto, traduciéndose finalmente en un mayor nivel de competitividad para la empresa y con ello mayores ganancias.

BO METODOS DE ESTIMACION DE COSTOS

La estimación de los costos que involucra la inversión de capital necesaria para llevar a cabo el proyecto es de vital importancia para la aceptación o rechazo del mismo, por lo anterior se requiere de una buena estimación de la inversión total y el costo de producción, lograndose así evaluar la comercialidad futura y los beneficios de la inversión, ya que cualquier inversionista buscará un buen margen de rendimiento por su inversión, y éste debe de ser superior al que le ofrecería el banco y multitud de inversiones menos riesgosas pues entre mayor es el riesgo de la inversión se esperará una utilidad mayor. Para la industria química básica se estima entre un 7-10% de utilidad neta, la cual es muy alta y sus grandes ganancias se deben a sus altos volúmenes de ventas.

Los inversionistas a los que se les presente el proyecto básicamente buscarán respuesta a dos aspectos importantes:

1.- ¿Cual será la cantidad de capital a invertir antes de que se obtengan beneficios del nuevo proyecto?

2.- ¿Cual será el costo de producir el nuevo producto en la nueva planta?.. Esto tiene que ver con la capacidad de competencia que tendrá el nuevo producto, es decir en nuestro caso del óxido de propileno, si el precio de venta es de menos de 30 centavos por

libra puede muy bien competir en un mercado de muchos millones de libras al año y se justificaría una inversión de varios millones de dólares, por el contrario si fuera el precio de venta mayor a 35 centavos por libra no habría manera de realizar el proyecto.

Durante la vida de un proyecto la estimación de costos juega un papel de suma importancia desde lo que es el estimado de prediseño el cual se basa en muy poca información hasta el estimado detallado, el que para elaborarlo ya se cuenta con los dibujos y las especificaciones completas.

El costo estimado de prediseño es el documento que determina la factibilidad del proyecto, para este estudio de estima un error de +/- 30% al +/-40%. Para llevar a cabo esta estimación del orden de magnitud nos es muy útil la curva de inversión-capacidad, ya que ésta se basa en experiencias de inversión pasadas del mismo tipo de planta industrial, actualizando el costo mediante el uso de los índices más adecuados y llevando a cabo una escalación para adecuar la capacidad reportada con la que se requiere para el estudio.

Los diferentes tipos de estimación de costos y sus respectivos rangos de precisión se presentan a continuación:

1.- Estimado de orden de magnitud ó también llamado estimado muy preliminar, éste generalmente se basa en tablas ó diagramas de

estimación, basándose en información de costos previos y usualmente son elaborados por un solo ingeniero; el costo del estudio es bajo, la exactitud se puede englobar dentro de un rango de +/- 30 a +/-40%.

La importancia fundamental de este estimado es el de la decisión de si se acepta o no el proyecto, es decir si hay posibilidades de sufragar los gastos mediante fondos propios de los accionistas u obtener créditos y otras formas de financiar el proyecto. Al conocer aproximadamente el orden de magnitud se puede evaluar la magnitud del riesgo, es decir cuanto puede afectar a los socios o a la empresa que desea hacer éste (entre mayor sea el orden de magnitud ó se ponga en peligro la seguridad financiera de la empresa será más difícil la aceptación del proyecto) debido al gran riesgo que ofrece.

2.- Estimado de estudio, ó también conocido como estudio preliminar detallado, para este estudio se requiere el conocimiento de la mayoría de los equipos, algunas cotizaciones de vendedores, tablas de estimación, etc. Usualmente este estudio lo elabora un grupo de proyecto, el resultado de este estimado da la pauta para realizar un estudio más costoso; la precisión de este estudio se estima en +/- 30%.

3.- Estimado preliminar, también conocido como presupuesto inicial ó estimado de alcance se basa en datos suficientes, los cuales

permiten que el estimado sea presupuestado mediante cotizaciones de los proveedores para la mayoría de los equipos. Usualmente este tipo de estimados son elaborados por firmas de ingeniería, el resultado de esta etapa da lugar a la elaboración de un diseño detallado y un estudio más elaborado del mercado. La precisión del estudio se estima en un 20%.

4.- Estimado definitivo, también conocido como estimado de control del proyecto, éste se basa en casi todos los datos completos y estimados detallados acerca de cotizaciones, materiales, mano de obra; pero antes de que se tengan concluidos los dibujos y las especificaciones. Al aprobarse este estudio se procede a la construcción de la planta, la precisión del estudio se estima en un +/- 10%.

5.- Estimado detallado. Se le puede llamar también estimado de firma ó estimado del contratista, este documento se basa en todos los dibujos de ingeniería, especificaciones y la distribución final del terreno al ser aprobado este documento se compra casi la totalidad del equipo. El error atribuido es aproximadamente +/- 5%.

C) INDICES DE COSTOS Y ESCALACION

1. -INDICES DE COSTOS

Para elaborar el estimado de orden de magnitud y el estimado de estudio se requiere de información económica tal como son precios de equipos, construcción, terrenos, tecnologías, etc. y todos aquellos gastos que se requieren para una nueva planta química; pero como es de suponerse los costos de los equipos e instalaciones químicas no permanecen constantes, sino que cambian con el tiempo y tienen la tendencia general de aumentar con el mismo. Por ello se hace necesario actualizar estos precios a la fecha a la cual se realiza el estudio, para este efecto se utilizan los índices que se publican periódicamente en revistas tales como Engineering News Record, la cual publica el Engineering News Record Index que se utiliza para la industria de la construcción. Es un índice medio ponderado de los costos del acero, madera, cemento y mano de obra.

Un índice de costo no es otra cosa sino un valor índice para un punto dado en el tiempo, el cual indica el costo en ese tiempo y relativo a un tiempo base conocido. Si se conoce el costo en alguna fecha pasada el costo equivalente a la fecha actual puede ser determinado al multiplicar el costo original por el cociente del valor del índice en la fecha actual y el valor del índice aplicable a la fecha cuando fué obtenido el costo original.

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

$$\text{Costo actual} = \text{Costo actual} * \left[\frac{\text{Valor actual del indice}}{\text{Valor original del indice}} \right]_1$$

Los índices de costos son utilizados para dar un estimado general, los índices comunes permiten un rango aceptable de exactitud pero los mejores resultados se obtienen entre más recientes sean los valores, por ello se recomienda que no se utilicen para periodos mayores de diez años.

Cuando se utilizan índices para actualizar costos se debe de elegir el tipo de índice adecuado, ya que no todos los índices aumentan a la misma velocidad como se puede apreciar en la TABLA 9 se incluyen los valores de algunos de estos índices de los últimos años. Si el costo que se va a actualizar es de equipo de proceso no sería correcto utilizar el índice del Engineering News Record, ya que los costos de construcción han crecido más rápidamente que los de los equipos de proceso, debido a esto los costos de las plantas químicas están creciendo rápidamente.

1. Max S. Peters, Klaus D. Timmerhaus. Plant Design And Economics For Chemical Engineers. 1980. (3a. Ed.) Mc Graw Hill. p.160.

TABLA 9. INDICES MAS UTILIZADOS PARA ACTUALIZAR COSTOS DE PLANTAS QUIMICAS.■

<u>FECHA</u>	<u>MARSHAL AND SWIFT **</u>	<u>CHEMICAL ENGINEERING*</u>
1978	545.3	218.8
1979	599.4	238.7
1980	659.6	261.2
1981	721.3	297.0
1982	745.6	314.0
1983	760.8	316.9
1984	780.4	322.7
1985	789.6	325.3
1986	797.6	318.4
1987	813.6	323.8
1988	852.0	342.5
1989	895.1	355.4
1990	915.1	357.6
1991	935.1	354.1

* El indice del Chemical Engineering se refiere al Costo de la Planta.

** El indice Marshal And Swift se refiere al costo del equipo.

■ Chemical Engineering.

Los índices más importantes que se utilizan normalmente son los siguientes:

1.1 Marshall and Stevens index², ahora conocido como Marshall and Swift, generalmente se divide en dos categorías:

1.1.1 El índice industrial de equipo para industrias en general, el cual es simplemente el promedio aritmético de índices individuales para 47 diferentes tipos de equipo comercial, industrial y de almacenaje.

1.1.2 El índice de equipo industrial de proceso es un promedio ponderado del costo de los equipos en ocho diferentes industrias de proceso y los porcentajes utilizados para la ponderación en un año típico son:

- Cemento 2%
- Productos de arcilla 2%
- Químicos 48%
- Vidrio 3%
- Pintura 5%
- Papel 10%
- Petróleo 22%
- Caucho 8%

2. El índice Marshall and Swift se publica mensualmente en la sección Economic Indicators del Chemical Engineering.

El índice Marshall and Swift tiene su valor de 100 en el año de 1926. Este índice toma en consideración los costos involucrados con la maquinaria y la mayoría de los equipos aunados los costos de instalación, mobiliario de oficina, herramientas y otros equipos menores.

1.2 Índice de costos de construcción Engineering News-Record³. Mediante este índice se pueden estimar los costos relativos de construcción referidos a distintas fechas. Muestra la variación de las tarifas de construcción y de los costos de materiales para construcciones industriales. Este índice emplea costos compuestos por: 2500 lb de acero estructural, 1088 fbn de maderaje, 8 bbl de cemento y 200 h de labores comunes. Normalmente se reporta como la base 100 en los años de 1913, 1949 y 1967.

1.3 Índice Nelson⁴ de construcción de refinerías. Los costos de construcción relativos a la industria del petróleo son en los cuales se basa el índice Nelson, los porcentajes totales con los que se pondera este índice son los siguientes:

- Mano de obra calificada 30%
- Mano de obra común 30%
- Fierro y acero 24%
- Materiales de construcción 8%
- Equipo misceláneo 8%

El valor de 100 se asigna al año base 1948.

3. El índice de construcción del Engineering News Record aparece publicado semanalmente en el Chemical News-Record.

4. El índice Nelson para la construcción de refinerías se publica la primera semana de cada mes en The Oil And Gas Journal.

1.4 Índice de costos de planta del Chemical Engineering⁵. Este índice se basa en los costos de construcción para plantas químicas, son cuatro los componentes más importantes los que se toman en cuenta para llevar a cabo la ponderación:

- Equipo, maquinaria y soportes 51%
- Labor de montaje e instalación 22%
- Edificios, materiales y mano de obra 7%
- Ingeniería y supervisión 10%

El componente con más peso en lo que se refiere al costo de la planta es el equipo, el cual, es subdividido y ponderado como se muestra a continuación:

- Equipo fabricado 37%
- Maquinaria de proceso 14%
- Tubos, válvulas y conexiones 20%
- Instrumentos de proceso y controles 7%
- Bombas y compresores 7%
- Equipo y material eléctrico 5%
- Soportes estructurales, aislantes y pintura 10%

Todos éstos índices tienen su base = 100 en el periodo de los años de 1957 a 1959.

5. El índice de costos del Chemical Engineering se publica mensualmente en la sección Economic Indicators del Chemical Engineering.

1.5 Índice de precios Industria Química^d. Este índice es manejado en nuestro país, el reporte de índice de precios empezó a ser publicado mensualmente a partir del mes de agosto de 1988.

Para la publicación de este reporte, se recopilaron los precios de varios productos químicos desde el año de 1978, obteniéndose así los índices de crecimiento de éstos y tomando a 1978 como año base.

Actualmente, el índice se obtiene de manejar los precios al cierre de cada mes de un total de 74 productos, los cuales están agrupados en seis grandes segmentos:

- INORGANICOS BASICOS
- PETROQUIMICOS BASICOS
- RESINAS SINTETICAS
- FIBRAS ARTIFICIALES Y SINTETICAS
- HULES SINTETICOS Y NEGRO DE HUMO

6. El índice de precios de la industria Química se publican anualmente los índices registrados para el mes de diciembre en el Anuario Estadístico Del ANIQ., este índice se obtiene mensualmente y se proporciona mediante el sistema Índice de Precios ANIQ.

TABLA 10. INDICE DE PRECIOS INDUSTRIA QUIMICA*

<u>AÑO</u>	<u>VALOR DEL INDICE</u> ■	<u>VARIACION %.</u>
1984	1,135.3	49.3
1985	1,797.1	58.3
1986	3,834.8	113.4
1987	11,382.5	196.3
1988	12,213.1	7.5
1989	14,263.4	16.8
1990	17,542.1	23.0
1991	18,255.4	4.1

*Los índices para cada año se refieren al índice registrado en el mes de diciembre
 • El valor anual del índice se publica anualmente en el Anuario Estadístico ANIQ, p.29.

1.6 Índice de precios de insumos de la industria química.

El índice de precios insumos para la industria química incluye los siguientes productos:

- GAS NATURAL
- COMBUSTOLEO
- DIESEL
- GASOLINA
- ENERGIA ELECTRICA
- SALARIO MINIMO

7. El índice De precios De insumos para la industria Química se publican anualmente los índices registrados para el mes de diciembre en el Anuario Estadístico Del ANIQ., este índice se obtiene mensualmente y se proporciona mediante el sistema Índice de Precios ANIQ.

TABLA 11. INDICE DE PRECIOS DE INSUMOS DE LA INDUSTRIA QUIMICA*

<u>AÑO</u>	<u>VALOR DEL INDICE ■</u>	<u>VARIACION %.</u>
1984	1,267.7	77.7
1985	2,033.3	60.4
1986	4,507.9	121.7
1987	18,579.9	312.3
1988	18,579.9	0.0
1989	24,842.4	33.7
1990	35,222.2	41.8
1991	40,945.89	16.2

*Los índices para cada año se refieren al índice registrado en el mes de diciembre

• El valor anual del índice se publica anualmente en el Anuario Estadístico ANID, p.89.

Existen numerosos índices presentados por la literatura, los cuales se utilizan para propósitos especializados, como ejemplo de lo anterior se pueden mencionar los índices de costos de materiales y mano de obra para diversos tipos de industrias que se publican mensualmente en el Montly Labor Review publicado por U.S. Bureau of Labor Statistics. Estos índices pueden resultar útiles para elaborar tipos de estimados especiales que involucren materiales o condiciones laborales especiales.

Se recomienda para estimaciones de inversión en lo que se refiere a los equipos de proceso, el uso del índice de costos de Marshall and Swift y en lo que respecta a estimados de inversión para plantas químicas el uso del Chemical Engineering plant Cost Index, ya que el uso de índices como el Engineering news-Records y Nelson construcción cost index, muestran un rápido aumento en el tiempo respecto a los anteriores.

2. -ESCALACION

Se debe de tomar en consideración un aspecto sumamente importante la escalación, la cual tiene que ver con las economías de escala, como se estudio anteriormente un equipo del doble de capacidad no necesariamente cuesta el doble. Los equipos de proceso al aumentar su tamaño, potencia, peso, etc. aumentarán el costo del equipo así como entre mayor sea la capacidad de algun recipiente el costo aumentará pero no en una proporción directa. Normalmente

se aplica una función tamaño costo de la siguiente forma:

$$\text{Costo} = K(A)^n$$

ó

$$\frac{(\text{Costo})_2}{(\text{Costo})_1} = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^n$$

8

Donde:

A = Alguna característica que define el tamaño como volúmen, área ó potencia.

K = Constante, valor del costo cuando A es la unidad.

1 y 2 = Subíndices que indican tamaño menor y mayor respectivamente.

Se puede considerar que n es una constante para todos los tamaños y tipos de equipo. En la regla de los "Seis décimos" ó de los "Siete décimos", n puede considerarse constante e igual a 0.6 ó 0.7. Este tipo de aproximaciones sólo debe de considerarse cuando no se cuenta con los valores apropiados de n ya que, cada tipo de equipo posee su propio valor de n y este valor puede o no permanecer constante, por ello en la bibliografía aparecen reportados estos valores para los distintos equipos de la industria química.

B. Donald S. Rezer, Laurence H. Chai. Estimate Costs Of Scale-up Process Plants. Chemical Engineering, Abril 1990. p.138.

DD FACTORES DE COSTO EN LA INVERSION DE CAPITAL

Una planta química se compone de una gran variedad de elementos además del equipo de proceso es decir, la planta se tiene que localizar en algún sitio y éste puede ser tanto un terreno como una plataforma. Cada equipo se encuentra soportado mediante cimientos o piezas estructurales, adicionalmente se encuentran interconectados mediante tubos, transportadores, líneas y switch eléctricos, engranajes y mecanismos de transmisión, instrumentos, etc. La planta química cuenta también con edificios para laboratorios, oficinas, almacenes, mantenimiento; Así mismo se incluyen los servicios ó equipos que no son propiamente equipo de proceso como: calentadores, generadores, pasillos, servicios auxiliares y equipo de trasportación. Finalmente para poder construir una planta se requiere de ingeniería, mano de obra para la construcción, honorarios de supervisión contratistas y alguna firma de ingeniería. Para poder arrancar una planta se requieran los llamados gastos de arranque y contar con un capital de trabajo.

Todos los puntos anteriores forman parte de la llamada inversión de capital, la cual, es la requerida para construir una planta química. La inversión de capital se conforma por:

1.- Inversión fija de capital.

1.1 Inversión fija de capital de manufactura. Es el capital requerido para instalar el equipo de proceso con sus respectivos servicios auxiliares que se requieran para su operación, como tubos, instrumentos, cimientos, etc.

1.2 Inversión fija de capital de no-manufactura. Este tipo de inversión se relaciona con todos aquellos costos que son necesarios pero no se vinculan directamente con la producción como son los costos generales de construcción y de todos los componentes de la planta que no se vinculan directamente con la manufactura, así como los gastos generales. Los conceptos anteriores incluyen:

Los componentes de la planta: El terreno, nave industrial, edificios administrativos y otros, oficinas, almacenes, laboratorios, servicios de transporte de carga y descarga, servicios y tratamientos de residuos y emisiones.

Los gastos generales los cuales son: alquiler, alumbrado, calefacción, seguros, impuestos, etc.

Los costos generales de construcción incluyen los gastos de las oficinas generales y la de las sucursales, gastos de ingeniería, costos varios de construcción, honorarios de los contratistas y contingencias.

2.- Capital de trabajo.

El capital de trabajo de una planta química consiste en la cantidad total de dinero invertido en materias primas, materiales en proceso, almacén de producto terminado, cuentas por cobrar, efectivo disponible (caja y bancos) para pagos mensuales de operación como salarios, y compras de materias primas, cuentas por pagar e impuestos.

El capital de trabajo inicial para una planta química generalmente se encuentra en un rango de 10 a 20% de la inversión total de capital para México, este porcentaje puede aumentar a lo mucho en un 50% para otros países.

Se puede obtener el capital de trabajo de las siguientes formas:

1. Costo de materias primas para 30 días + gastos de producción en efectivo para 30 días+ valor de producto almacenado equivalente a 30 días de producción + cuentas de clientes a 30 días.
2. 25% de los gastos totales anuales.
3. 10% de la inversión total.

La suma de la inversión fija de capital más el capital de trabajo da la inversión total de capital, a continuación en la TABLA 12 se hace un desglose de los factores que constituyen la inversión fija de capital.

TABLA 12

FACTORES QUE CONSTITUYEN A LA INVERSION FIJA DE CAPITAL.

COSTOS DIRECTOS

- 1.- **Equipo.**
 Todo el equipo listado en un diagrama de flujo completo.
 Partes de repuesto y equipo de repuesto no instalado.
 Equipo excedente, suministros, refacciones de los equipos.
 Costos de inflación.
 Gastos de fletes.
 Impuestos, seguros y derechos.
 Refacciones para las modificaciones durante el arranque.
- 2.- **Instalación del equipo.**
 Instalación de todo el equipo listado en el diagrama de flujo de todo el proceso.
 Soportes estructurales, aislantes y pintura.
- 3.- **Instrumentación y controles.**
 Compra, instalación, calibración e integración a la computadora.
- 4.- **Tubería.**
 Tubería de proceso de: acero al carbón, acero inoxidable, cobre, aluminio, cerámica, concreto, caucho y plástico.
 Soportes, válvulas, uniones y conexiones.
 Aislante para tubos y equipo.
- 5.- **Equipo y material eléctrico**
 Equipo eléctrico: interruptores, motores, conductores, cables, uniones, alimentadores, tierras, cableado para instrumentos así como controles, iluminación y paneles.
 Material eléctrico y mano de obra.

* Max S. Peters, Klaus D. Timmerhaus. Plant Design And Economics For Chemical Engineers. 1980. (3a. Ed.). Mc Graw Hill. p.156-157.

6.- Edificios (incluye servicios)

Edificio de proceso o nave industrial: cimentaciones, superestructura ó la parte superior de la construcción, plataformas, soportes, escaleras, vías de acceso, monorrieles, elevadores, etc.

Edificios auxiliares: Administración y oficinas, servicios médicos, cafetería, garages, almacenes, guardia y seguridad, estación de bomberos, laboratorios de desarrollo y control, etc.

Estaciones de mantenimiento de : Tubería, piezas metálicas, equipos eléctricos, instrumentos y carpintería.

Servicios de los edificios: Bombeo, calefacción, ventilación, colector de polvos, aire acondicionado, alumbrado, elevadores, teléfonos, sistema de intercomunicadores, pintura, sistema sprinkler, alarmas de incendio.

7.- Adecuación del terreno.

Limpieza, nivelación, calles, pasillos, vías, enrejado, áreas de estacionamiento, isletas y puertos, espacios de esparcimiento, jardines.

8.- Area de servicios (instalados)

Servicios: Agua, vapor, potencia, refrigeración, aire comprimido, combustible.

Incineradores, tratamiento de aguas, pozos, cuenca de río, torres de enfriamiento, subestación eléctrica, planta de refrigeración, aire de planta, almacenamiento de combustible, planta de aguas aceitosas, controles ambientales, protección contra fuego.

Equipo de no-proceso: Equipo y muebles de oficina, equipo de cafetería, equipo médico y de salvamento, equipo del garage, extintores.

Distribución y empaque: Almacenamiento de materias primas y de producto terminado así como equipo de manejo del mismo, equipo de empaque del producto, estaciones de carga y descarga.

9.- Terreno.

Medidas, deslindes y honorarios.
Costo de la propiedad.

COSTOS INDIRECTOS**1.- Ingeniería y supervisión.**

Costos de ingeniería: Administrativos, de proceso, de diseño, dibujos, procura, comunicaciones, modelos a escala, honorarios, viáticos y consultas.
Ingeniería, supervisión e inspección.

2.- Gastos de construcción.

Construcción, operación, mantenimiento, oficinas, caminos, lotes de estacionamiento, vías, tuberías, electricidad y comunicaciones.
Herramientas y equipos de construcción.
Supervisión de construcción, contabilidad, compras.
Personal, gastos de almacenes y vigilancia.
Seguridad y servicios médicos.
Permisos, pruebas especiales y licencias.
Impuestos, seguros e intereses.

3.- Honorarios de los contratistas**4.- Contingencias.**

Ahora, considerando los costos más importantes de la inversión de capital se le asignará a cada uno un porcentaje promedio para plantas químicas, estos porcentajes se han obtenido de experiencias en la construcción de plantas químicas. Los porcentajes ó mejor dicho rangos de porcentajes, ya que éstos varían dependiendo del tipo de industria de que se trate, han sido estudiados y propuestos mediante un estudio detallado por Bauman y asociados^o. Estos porcentajes se proporcionan en la TABLA 13.

G. H. C. Bauman. *Fundamentals Of Cost Engineering In The Chemical Industry*. Reinhold Publishing Corporation. New York, 1964.

TABLA 13. PORCENTAJES TÍPICOS DE LA INVERSIÓN FIJA DE CAPITAL PARA PLANTAS QUÍMICAS EN GENERAL*

<u>COMPONENTE</u>	<u>RANGO, %</u>
<i>COSTOS DIRECTOS</i>	
EQUIPO	15 - 40
INSTALACION DEL EQUIPO	6 - 14
INSTRUMENTACION Y CONTROLES (INSTALADO)	2 - 8
TUBERIA (INSTALADO)	3 - 20
ELECTRICO (INSTALADO)	2 - 10
EDIFICIOS (INCLUYE SERVICIOS)	3 - 18
ADECUACION DEL TERRENO	2 - 5
AREA DE SERVICIOS (INSTALADOS)	8 - 20
TERRENO	1 - 2
<i>COSTOS INDIRECTOS</i>	
INGENIERIA Y SUPERVICION	4 - 21
GASTOS DE CONSTRUCCION	4 - 16
HONORARIOS DE CONTRATISTAS	2 - 6
CONTINGENCIAS	5 - 15

* M.S.Peters, K.D.Timmerhaus, *Plant Design And Economics for Chemical Engineers*, 1990. (2a.ed.). Mc Graw Hill, p.160.

Por lo anterior se da una breve explicación de los puntos señalados en la TABLA 13.

1.- EQUIPO.

El costo del equipo comprado es la base de varios métodos de prediseño para estimar costos de capital. Los costos de equipo se pueden obtener por varias fuentes la primera y más confiable sería la proporcionada por los fabricantes y proveedores del equipo; otra forma sería mediante la experiencia de compras anteriores (el precio obtenido en el pasado se actualiza mediante índices). Si se cuenta con el precio actual o actualizado del equipo pero de diferente capacidad éste se puede adecuar mediante escalamiento como ya se mencionó anteriormente.

Existen varios tipos de equipo, los cuales se dividen en:

1.1 Equipo de proceso.

1.2 Equipo para el manejo y almacenamiento de las materias primas.

1.3 Equipo para el manejo y almacenamiento del producto terminado.

2.- INSTALACION DEL EQUIPO COMPRADO.

Consta del costo de mano de obra, cimentaciones, soportes, plataformas, gastos de construcción y otros factores directamente relacionados con la instalación de los equipos.

El costo de la mano de obra está en función del tamaño del equipo y puede presentar variaciones, es por ello que ya existen exponentes disponibles en la literatura para escalación de los diferentes tipos de equipo.

Al analizar los costos del equipo totalmente instalado de un gran número de plantas químicas se observa que, para la gran mayoría de ellas el costo del equipo comprado es del 85 al 88% del costo del equipo totalmente instalado dependiendo de la complejidad del equipo y del tipo de planta, los costos de instalación para equipo se estima que varían de un 25 a un 85% del costo del equipo comprado.

3. - COSTO DE LOS AISLANTES.

El costo de los aislantes se ve directamente relacionado con las condiciones de operación del proceso, es decir, entre más críticas sean éstas el costo del aislante aumentará. Los gastos efectuados para aislar tuberías y equipos se hayan bajo el título de Costos de Instalación de Equipo. El costo total por materiales y mano de obra del aislamiento se estima que es aproximadamente del 8 al 10% del equipo comprado y esto equivale aproximadamente a un 2% de la inversión total de capital.

4.- CONTROLES E INSTRUMENTACION

La mayor parte del capital invertido en controles e instrumentación básicamente es: El costo de los instrumentos, costo de mano de obra de instalación, el gasto en equipos y materiales auxiliares. El costo básicamente se encuentra en función de la cantidad de control y automatización requeridos, y el costo se estima del 6 al 30% del total del costo del equipo comprado.

5.-TUBERIAS

El costo de las tuberías incluye también lo que es mano de obra, soportes, estructuras, uniones, y otros elementos que se utilizan directamente para las tuberías del proceso como es tubería de materia prima, producto en proceso, producto terminado, vapor, agua, aire, y otras tuberías de proceso. El costo de la tubería puede ser de hasta un 80% del costo del equipo comprado ó un 20% de la inversión total de capital. El estimar el costo de la tubería es una tarea difícil ya que, para obtener un buen estimado se requiere de todos o la mayoría de los dibujos del proceso, de lo contrario se podría dar un estimado aproximado basado en experiencias en el diseño de plantas similares.

Se estima que el costo de la mano de obra de instalación es del 40 al 50% del costo total de toda la tubería instalada, el material y

la mano de obra para el aislamiento de la tubería se estima que varía del 15 al 25% del costo total de la tubería instalada pero depende principalmente de las condiciones de temperatura.

6. -INSTALACIONES ELECTRICAS

Los costos de las instalaciones eléctricas constan básicamente de los materiales y la mano de obra de instalación para generar trabajo e iluminación. El servicio de alumbrado de los edificios generalmente se incluye en los costos de servicios y edificios. Las instalaciones eléctricas constan básicamente de cuatro componentes importantes, los cuales son: generación de poder ó trabajo, cableado, transformación y servicio, así como cableado de instrumentos y controles.

7. - EDIFICIOS INCLUYENDO SERVICIOS

Para una planta química se requieren de varios edificios como son: cuartos de control, oficinas, tiendas, laboratorios, comedores para empleados, vestidores, sanitarios, regaderas, etc. y los costos de estos edificios (incluyendo sus servicios) constan de los gastos de mano de obra, materiales y suministros involucrados en la construcción de edificios vinculados con la planta. Se incluyen los gastos de bombeo, calentamiento, iluminación, ventilación, y servicios similares.

8. - ADECUACION DEL TERRENO

Los costos que se refieren a poner en condiciones de trabajo al terreno son: enrejados, nivelación, caminos, banquetas rieles, jardines, drenajes, estacionamientos, calles pavimentadas, alumbrado, etc.

9. - SERVICIOS

Aquí se incluyen todos los servicios generales para la operación de la planta como lo son: teléfono, agua, gas, otros combustibles, vapor, aire comprimido, gas inerte y electricidad; pero también dentro de los costos de servicios se incluyen la inversión destinada a tratamiento de aguas, sistema contra incendios, y muchos servicios más como lo son las tiendas, equipo de cafetería, etc.

Generalmente los servicios son de 30 al 80% el costo del equipo pero este rango varía dependiendo del tipo de planta, esto es, si es una planta pequeña y con proceso continuo para un solo producto los costos tenderán al límite inferior; pero en el caso contrario para una planta grande, nueva, multiproceso, en una nueva locación los costos tenderán al límite superior. Lo anterior es debido a que si por ejemplo localizamos la planta en una locación donde hay escasez de energía eléctrica, nos provocaría frecuentes faltas de suministro por ello se requerirá de una planta de emergencia calculada para varias horas de operación hasta llegar a la

necesidad de la implantación de un sistema de cogeneración. También se da el caso de que se tenga un gran volumen de desechos, los cuales requieran de tratamiento que puede ser muy costoso ó en el caso de que dónde se localiza la planta no haya agua suficiente, se tendrá que implantar un sistema de tratamiento de agua muy completo hasta llegar al punto de reutilizar toda el agua.

10.- TERRENO

El costo del terreno más los estudios topográficos necesarios y honorarios dependen principalmente de la localización de la propiedad, es decir, si ésta se localiza en una área altamente industrializada o en una zona rural. Ya que el valor del terreno generalmente no disminuye con el tiempo, este costo no se debe de incluir dentro de la inversión fija de capital pues esta se utiliza para cálculos como lo es el de la depreciación (y el terreno no se deprecia).

11.- INGENIERIA Y SUPERVISION

Los gastos de ingeniería y supervisión se consideran como costos indirectos dentro de la inversión fija de capital. Se consideran como tales: costos de construcción, diseño, dibujos, reproducciones, contabilidades, compras, costos de construcción e ingeniería, viáticos, comunicaciones y gastos de oficina.

12. - GASTOS DE CONSTRUCCION

Los gastos de construcción o gastos de campo son los que incluyen: construcciones y operación temporal, compra de herramientas de construcción o rentas de las mismas, pago de viáticos del personal que se requieran en la construcción, nóminas de construcción, impuestos y seguros, y otros gastos de construcción. Estos gastos generalmente se incluyen dentro lo que son los gastos de instalación de los equipos ó mas frecuentemente en lo que son gastos de ingeniería, construcción y supervisión.

13. -CONTRATISTAS

Este costo se integra por los pagos de honorarios de los diferentes contratistas como son: carpinteros, fontaneros, mecánicos, electricistas, etc. directamente relacionados con la construcción, instalación de los equipos e instalaciones.

14. - CONTINGENCIAS

El factor por contingencias generalmente es incluido dentro de lo que es el estimado de inversión de capital, con el fin de compensar eventos no previstos como: tormentas, inundaciones, huelgas, cambios en los precios, pequeños cambios de diseño, errores en la estimación y otros gastos imprevistos. Este factor puede o no incluirse con motivos de escalación.

EL METODOS PARA ESTIMAR LA INVERSION DE CAPITAL

Se pueden emplear varios metodos para estimar la inversión de capital, en esta sección se estudiarán siete de ellos, la elección de alguno de ellos depende principalmente de la cantidad de información y lo detallada que ésta sea, en el orden en el cual aparecen citados va decreciendo la cantidad de información detallada disponible y el tiempo requerido para su elaboración, pero como es de suponer también disminuye la precisión del estimado, el primero de éstos es el estimado de factores detallado y éste tiene un error asociado de aproximadamente +/- 5%; a continuación se ofrece una discusión acerca de los diferentes métodos de estimación.

1. - ESTIMADO DE FACTORES DETALLADO.

Como ya se mencionó anteriormente este estimado es el más exacto pero así también es el que más información requiere para su elaboración, de una cuidadosa determinación de cada uno de los aspectos citados en la TABLA 12. El equipo y los materiales requeridos se determinan mediante todos los dibujos y especificaciones del proceso con los costos actualizados ó preferentemente cotizados por los proveedores de los equipos. En lo que respecta a los estimados de los costos de instalación, éstos se obtienen mediante tarifas exactas de mano de obra, eficiencias y cálculos de las horas-hombre; de la misma manera que

los puntos anteriores se estiman los costos de ingeniería, dibujos, horas-hombre de supervisión, así como información confiable acerca del terreno como son los estudios topográficos y los gastos necesarios para limpiarlo. Este estudio se basa principalmente en cotizaciones ya en firme emitidas por la firma de ingeniería, contratistas, proveedores de equipo y maquinaria, etc.

2. - ESTIMADO DE COSTOS UNITARIOS

El método de estimación de costos unitarios resulta conveniente para la elaboración de los estimados preliminares y definitivos, este método se basa en la obtención de costos unitarios por categorías, estos datos se obtienen de experiencias anteriores o de la literatura, Mediante estos costos unitarios y el conocimiento de la cantidad requerida se obtiene el costo por categoría para finalmente sumar todas las categorías y así obtener el valor de la inversión total; como ejemplo de esto se puede citar el costo de los tubos por unidad, es decir cuanto cuesta un metro de tubo, si se sabe que se requieren 1000 metros de tubería; el producto de estos dos factores nos da el costo de la tubería requerida.

3. - PORCENTAJE DEL COSTO DEL EQUIPO.

Este método se utiliza generalmente para el estimado preliminar y el preliminar de estudio, la mejor exactitud de los resultados se obtiene si se aplican los porcentajes para proyectos de configuración semejantes de plantas recientes. Este método para la estimación de la inversión fija o total de capital requiere de la determinación del costo del equipo entregado. Los demás factores que conforman los costos directos de planta se estiman mediante porcentajes, los cuales se basan en la experiencia de la construcción de plantas similares. Los componentes adicionales de la inversión de capital se basan en porcentajes promedio de los costos totales directos de la planta.

4. - FACTORES DE "LANG"

Este método propuesto por Lang se utiliza frecuentemente para obtener estimaciones de orden de magnitud de costos, se asume que se puede obtener una aproximación del costo de una planta de proceso al multiplicar el costo del equipo básico por algún factor y dicha operación dará por resultado una aproximación de la inversión de capital, estos factores dependen del tipo de planta de proceso en consideración.

5. - EL FACTOR DE LA POTENCIA APLICADO A LA RELACION PLANTA-CAPACIDAD

Este método se utiliza para el estimado de orden de magnitud ó para el estimado de estudio, obtiene la inversión fija de capital de una nueva planta de proceso apartir de la información de la inversión fija de capital de una planta similar construida con anterioridad, multiplicada por un cociente exponencial. Esto es, para dos procesos con configuraciones similares, el costo de la nueva planta C_n es igual al producto del costo de la planta anterior C y el cociente R que se define como la capacidad de la nueva planta y la capacidad de la planta anterior, elevando este cociente a potencia x , como se observa en la ecuacion mostrada acontinuación . Esta potencia se le puede asignar el valor promedio de 0.8 ó 0.7, si no se cuenta con la potencia para el proceso requerido

$$C_n = C (R)^x$$

10

6. -COSTO DE INVERSION POR UNIDAD DE CAPACIDAD

Se han publicado una gran cantidad de datos, los cuales muestran inversión de capital requerida para diferentes procesos por unidad de capacidad de producción anual; por ello el valor de la inversión fija de capital para un determinado proceso puede ser

10. N.S.Peters And K.D.Timmerhaus., op.cit., p.187.

obtenida al efectuar el producto del costo de la inversión de capital por unidad de capacidad con la capacidad de producción anual de la planta propuesta y como ha sido ya mencionado se hace la correspondiente actualización de costos mediante índices.

7.-RELACION VENTAS-INVERSION

El uso de la relación ventas-inversión da una evaluación rápida, la cual solo es recomendable para estimados de orden de magnitud. la relación ventas-inversión se define de la siguiente manera:

$$\text{RELACION VENTAS-INVERSION} = \frac{\text{VENTAS BRUTAS ANUALES}}{\text{INVERSION FIJA DE CAPITAL}}$$

Dónde las ventas brutas anuales se definen como el producto de la velocidad ó cambio de producción anual y el promedio de precio de venta de los commodities. La relación ventas-inversión pueden tomar valores de 5 ó superiores para algunos negocios financieros, pero pueden llegar hasta 0.2. para la industria química se da como regla de dedo el valor de 1.

C A P I T U L O V

AD DESCRIPCION DEL PROCESO DE ELABORACION DE LA CURVA.

La construcción de la curva de Inversión-Capacidad se llevará a cabo basándonos en los conceptos expuestos en el Capítulo IV, utilizando los métodos más adecuados al tipo de información con la cual se cuenta. Algunos de ellos aunque ofrecen la ventaja de ser muy precisos, presentan el inconveniente de requerir información muy específica con la que no se cuenta para la elaboración de este estudio, que como ya se ha manifestado tiene el objetivo de dar un estimado del orden de magnitud de la inversión total de capital con el fin de proporcionar un criterio que indique si el proyecto es viable y si vale la pena continuar realizando estudios más profundos.

A continuación se indican los pasos a seguir para la elaboración de la curva de inversión capacidad.

1.- Como primer paso se requiere obtener información lo más completa y reciente posible, acerca de costos de la inversión total de capital, de costos fijos, precios de equipos, tuberías, terreno, etc. sobre el proceso previamente seleccionado para una planta ya construida con anterioridad.

2.- Una vez que se cuenta con la información del punto anterior se procederá a actualizar los costos mediante el uso de índices, utilizando el índice adecuado dependiendo del tipo de costo que se trate.

3.- Una vez obtenida la información del punto anterior se procederá al desarrollo de un caso base, donde se incluirán los costos más importantes que integran la inversión total de capital para el tipo de proceso y capacidad instalada de la planta en cuestión.

4.- Una vez contando con el caso base actualizado se procederá a una escalación, es decir el obtener los diferentes costos a varias capacidades apartir del caso base.

5.- Obtener la curva de Inversión-Capacidad para el proceso de obtención de Oxido de propileno mediante el proceso de la Clorohidrina graficando diferentes capacidades de plantas en función del costo de las mismas.

Acontinuación se presenta un ejemplo de escalación y actualización de precio mediante el uso de índices.

EJEMPLO :

Se cuenta con la siguiente información⁴

Producto: Oxido de Propileno

Proceso: Clorohidrina

Capacidad de la planta: 100,000 TPA

Inversión : 52 MM DM (1975-1976)

K. H. Simmrock. Hydrocarbon Processing, Compare Propylene Oxide Routes. Nov. 1978. p.100.

Y se requiere saber cuál sería la inversión total de capital que se requerirá para una planta similar pero con una capacidad de 150,000 TPA para 1990.

Para ello se cuenta con la siguiente información:

INDICE DE PRECIOS DEL CHEMICAL ENGINEERING

AÑO	INDICE ANUAL
1976	192.1
1990	357.6

Factor de escalamiento 0.64^{*}.

1. Actualización:

Usando la fórmula siguiente²:

$$C_2/C_1 = (I_2/I_1)$$

Nota: I1 es el promedio del índice del 1975 y 1976.

* Donald S. Remer, Lawrence H. Chai. Estimate Costs Of Scaled Up Process Plants. Chemical Engineering, Abril 1990. p. 181.

2. ibid., p. 138.

Sustituyendo:

$$C2 = \$ 52,000,000 * (357.6/102.1)$$

$$C2 = 96.8 \text{ USDLLS}$$

2. Escalación:

Fórmula:

$$C2/C1 = (S2/S1)^R$$

Sustituyendo:

$$C2 = 96.8 \text{ millones} * (150,000/100,000)^{0.64}$$

$$C2 = \$ 125.5 \text{ millones U.S. DLLS.}$$

Comentario:

Comparando el valor obtenido con el estudio económico pro-forma obtenido del Chemical Data Inc. de 1990 para un proceso similar, reporta un precio de 93.3 millones de dólares, calculando el error se obtiene un 35% de error; como se ha mencionado para un estudio de orden de magnitud que se espera sea de +/- 40 % de error es

correcto, se dice que el rango de error de la curva es +/- 30% de error, pero se debe de tomar en cuenta que en este ejemplo se toma un caso de 1976, es decir, hay 14 años de diferencia y lo recomendable es que sean máximo diez años ya que en periodos muy largos de tiempo entran en juego otros factores como puede ser mejoras al proceso lo cual abate los costos, tomando en cuenta lo anterior se considera un buen estimado.

B) INFORMACION CONSIDERADA

La información económica acerca del Proceso de la Clorohidrina a partir del propileno se obtuvo del:

CHEMICAL DATA INC.

Monthly Petrochemical and Plastics Analysis

Obteniendo un estudio económico pro-forma para una planta de Oxido de Propileno con las siguientes características:

Capacidad instalada de: 330 millones de libras al año (150,000 TPA).

Localización:

U. S. Gulf Coast.

Fecha del estudio: Enero del 1960

Inversión:

de manufactura: 45.7 MMS

de servicios: 33.3 MMS

Fija de capital 80.0 MMS

Capital de trabajo 13.3 MMS (al 98% de capacidad)

TOTAL:

93.3 MMS

A continuación en la TABLA 14. se ilustra el estudio pro-forma para el Oxido de Propileno.

TABLA 14. COSTOS DE PRODUCCION PARA 1 lb de OXIDO DE PROPILENO MEDIANTE EL PROCESO CONVENCIONAL DE LA CLORHIDRINA

	CANTIDAD UTILIZADA	UNIDADES	PRECIO DE LOS MATERIALES	UNIDADES	COSTO A 100% DE CAPACIDAD Cents/Lb	COSTO A 95% DE CAPACIDAD Cents/Lb
MATERIA PRIMA						
PROPILENO	0.07	Lbs	13	Cents/Lb	11.3	11.3
CLORO	1.27	Lbs	5	Cents/Lb	6.4	6.4
NAOH	1.39	Lbs	4	Cents/Lb	5.6	5.6
CREDITO DE SUB-PRODUCTO DICLORO DE PROPILENO	0.06	Lbs	48.0	Cents/Lb	(2.9)	(2.9)
MAT.S.PRIMS.NETAS					(20.4)	(20.4)
COSTOS DE OPERACION						
SERVICIOS						
ELECTRICIDAD	0.125	Mlbs.	3.30	Cents/Mlb	0.4	0.4
VAPOR	0.005		4.03	Cents/Mlb	2.4	2.5
CATALIZADORES Y OXIM.					0.8	0.8
MANO DE OBRA						
SUELDO					0.1	0.1
SALARIO Y BENEFICIOS	12	HOMBRES	16.00	\$/hr	0.1	0.1
MANTENIMIENTO		3.5 XIDE LA INV.FIJA.			0.7	0.8
GASTOS DE PLANTA		1 XIDE LA INV.FIJA.			0.3	0.3
IMP. Y SEGUROS		1.5 XIDE LA INV.FIJA.			0.2	0.5
GTOS. ADM. Y GRNLS.					0.5	0.5
GTOS. DE DIST.					0.2	0.2
COSTOS TOTALES DE OPERACION					5.9	6.2
COSTO TOTAL					26.3	26.6
PRECIO DE VENTA (Precio de exportación)					37.5	37.5
MARGEN ANTES DE IMPUESTOS**					11.2	10.9
RETORNO DE CAPITAL DESPUES DE IMP.**					39%	36%

**El margen antes de impuestos y ROCCI no incluye cargos de depreciación

FUENTE : CHEMICAL DATA INC. Monthly Petrochemical And Plastics Analysis.

ENERO 1998

CO TRATAMIENTO DE LA INFORMACION Y OBTENCION DE LA CURVA

1.- ACTUALIZACION DE LA INFORMACION.

Como primer paso se actualizará la información obtenida del Chemical Data Inc. de enero de 1990 a septiembre de 1991 utilizando el Chemical Engineering Plant Cost Index publicado en el Chemical Engineering. Se utilizará el índice del Chemical Engineering, debido a que el precio que se desea actualizar es el costo de la planta y este índice se refiere a costos de plantas por ello se considera el más apropiado, a continuación se ilustran los valores del índice a utilizar:

TABLA 14.
INDICE DE COSTO DE PLANTA DEL CHEMICAL ENGINEERING. *

SEPTIEMBRE 1990	360.2
SEPTIEMBRE 1991	397.2

Basandose en la tabla anterior y utilizando la fórmula ya antes vista para actualizar costos mediante índices:

$$\text{COSTO ACTUAL} = \text{COSTO ANTERIOR} * \frac{\text{INDICE ACTUAL}}{\text{INDICE ANTERIOR}}$$

2

* Valores obtenidos de la TABLA 9 de esta Tesis.

2. Max S. Peters, K.D. Timmerhaus. Plant Design And Economics for Chemical Engineers, 1980. (3a. Ed.) Mc Graw Hill. p.180.

SUSTITUYENDO:

$$\text{COSTO ACTUAL} = 80,000,000 \times \frac{(361.53)}{(360.2)}$$

QUEDA:

$$\text{COSTO ACTUAL} = \$ 80,288,728.48$$

Lo cual es el costo actualizado a septiembre de 1991 para una planta de óxido de propileno.

2.- ELABORACION DEL CASO BASE.

Para la elaboración del caso base se utilizará la TABLA 15 en la cual se muestran los porcentajes de los factores de costo que conforman la inversión fija de capital, para nuestro proceso en particular. En base a esta información se determinará cada factor del costo en función de la inversión fija de capital ya conocida y actualizada mediante los índices mencionados en el punto 1 del inciso D del capítulo IV y utilizando los porcentajes asignados en la TABLA 15.

En la TABLA 16 se muestran los factores de costo de la inversión fija de capital, también se incluye el capital de trabajo, el cual se puede considerar en un rango de 10-20% de la inversión total de

TABLA 15. PORCENTAJES TÍPICOS DE LA INVERSIÓN FIJA DE CAPITAL PARA UNA PLANTA DE ÓXIDO DE PROPILENO.

<u>COMPONENTE</u>	<u>% INVERSIÓN</u>
<i>COSTOS DIRECTOS</i>	
EQUIPO	15
INSTALACION DEL EQUIPO	10
INSTRUMENTACION Y CONTROLES (INSTALADO)	5
TUBERIA (INSTALADO)	8
ELECTRICO (INSTALADO)	5
EDIFICIOS (INCLUYE SERVICIOS)	9
ADECUACION DEL TERRENO	3
AREA DE SERVICIOS (INSTALADOS)	10
TERRENO	1
<i>COSTOS INDIRECTOS</i>	
INGENIERIA Y SUPERVISION	11
GASTOS DE CONSTRUCCION	10
HONORARIOS DE CONTRATISTAS	4
CONTINGENCIAS	9
TOTAL	100

**TABLA 16. INVERSION DE CAPITAL REQUERIDA PARA UNA
PLANTA CON UNA CAPACIDAD DE 150 MIL TPA.**

<i>COSTOS DIRECTOS</i>	<u><i>COSTO USD</i></u>
EQUIPO	\$ 1,200,000
INSTALACION DEL EQUIPO	\$ 800,000
INSTRUMENTACION Y CONTROLES (INSTALADO)	\$ 400,000
TUBERIA (INSTALADO)	\$ 640,000
ELECTRICO (INSTALADO)	\$ 400,000
EDIFICIOS (INCLUYE SERVICIOS)	\$ 720,000
ADECUACION DEL TERRENO	\$ 240,000
AREA DE SERVICIOS (INSTALADOS)	\$ 800,000
TERRENO	\$ 80,000
TOTAL DE COSTOS DIRECTOS	<u>\$ 5,280,000</u>
<i>COSTOS INDIRECTOS</i>	
INGENIERIA Y SUPERVICION	\$ 880,000
GASTOS DE CONSTRUCCION	\$ 800,000
HONORARIOS DE CONTRATISTAS	\$ 320,000
CONTINGENCIAS	\$ 720,000
TOTAL DE COSTOS INDIRECTOS	<u>\$ 2,720,000</u>
INVERSION FIJA TOTAL	\$ 80,000,000
CAPITAL DE TRABAJO	<u>\$ 13,280,000</u>
INVERSION TOTAL	<u><u>\$ 93,280,000</u></u>

capital, para este estudio se utilizará el 16.6% de la inversión total de capital el cual es el reportado por el Chemical Data Inc. y la suma de ambos es la inversión total de capital ya actualizada para una planta de 150,000 TPA.

3. - ESCALACION DEL CASO BASE A DIFERENTES CAPACIDADES

Una vez que se tiene el caso base ya actualizado se procederá a su escalación a diferentes capacidades, para esto se utilizará el método del factor de la potencia, el cual ya se ha explicado en el Capítulo IV.

$$\text{COSTO 2} = \text{COSTO 1} * \left[\frac{\text{CAPACIDAD 2}}{\text{CAPACIDAD 1}} \right]^X$$

3

Donde X es un exponente en específico para cada tipo de proceso. (se encuentran informados en la literatura). Hay que tomar en cuenta que no todos los factores de costo se pueden escalar mediante el uso de esta regla ya que no tiene sentido, tal es el caso de: edificios, adaptación del terreno, terreno, y todos los costos indirectos, para los cuales se utilizarán los porcentajes en función de la inversión de capital fijo ya utilizada para la elaboración del caso base.

Para nuestro caso se cuenta con el exponente de escalación para una planta de producción de óxido de propileno, la cual se obtuvo del Chemical Engineering Economics y le asigna un valor al exponente de 0.64^* .

A continuación en la TABLA 17 se muestran los resultados de la escalación de costos apartir de una planta de óxido de propileno de 150,000 TPA que utiliza el proceso de la clorohidrina a septiembre de 1991. Se realiza la escalación para plantas con capacidades menores de la reportada (70, 90 y 120 mil TPA) y con capacidades mayores de la reportada (200, 250 y 300 mil TPA).

Apartir de la TABLA 17 donde se cuenta ya con información actualizada y escalada para varias capacidades, se puede elaborar la Curva de Inversión-Capacidad para el óxido de propileno.

4. -ELABORACION DE LA CURVA DE INVERSION-CAPACIDAD

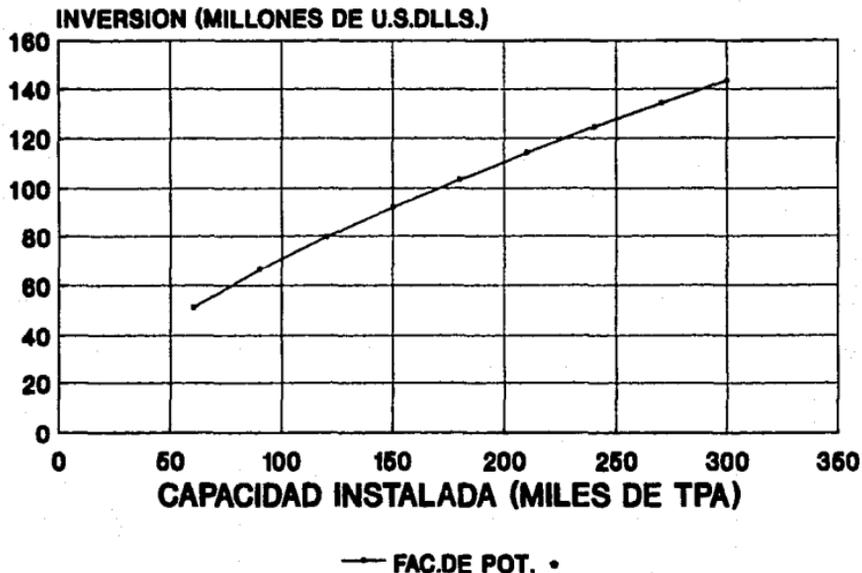
En este momento se cuenta ya con todos los elementos necesarios para la elaboración de la curva de Inversión-Capacidad para el óxido de propileno, se graficará en el eje de las abscisas los valores correspondientes a las diferentes capacidades instaladas en TPA, en el eje de las ordenadas se manejarán los valores de inversión total de capital reportados en millones de dólares. Una vez trazada la curva, la cual se ilustra en la FIGURA 13, será objeto de estudios estadísticos para su análisis.

Donad S. Remer, Lawrence H. Chai. loc. cit., p.161.

TABLA 17 INVERSION DE CAPITAL REQUERIDA PARA UNA PLANTA DE OXIDO DE PROPILENO

COSTOS DIRECTOS	CAPACIDAD (MILES DE TPA)									
	75	90	120	150	180	210	240	270	300	
EQUIPO	\$7,700,555	\$8,653,625	\$10,403,006	\$12,000,000	\$13,485,195	\$14,883,435	\$16,211,307	\$17,480,572	\$18,699,950	
INSTALACION DEL EQUIPO	\$5,133,704	\$5,769,083	\$6,935,337	\$8,000,000	\$8,990,130	\$9,922,290	\$10,807,538	\$11,653,715	\$12,466,633	
INSTRUMENTACION Y CONTROLES (INSTALADO)	\$2,566,852	\$2,884,542	\$3,487,669	\$4,000,000	\$4,495,055	\$4,961,345	\$5,403,769	\$5,826,857	\$6,233,317	
TUBERIA (INSTALADA)	\$4,106,963	\$4,615,266	\$5,548,270	\$6,400,000	\$7,192,104	\$7,937,832	\$8,646,030	\$9,322,972	\$9,973,207	
ELECTRICO (INSTALADO)	\$2,566,852	\$2,884,542	\$3,487,669	\$4,000,000	\$4,495,055	\$4,961,345	\$5,403,769	\$5,826,857	\$6,233,317	
EDIFICIOS (INCLAYE SERVICIOS)	\$4,620,333	\$5,192,175	\$6,241,803	\$7,200,000	\$8,091,137	\$8,930,061	\$9,726,784	\$10,488,343	\$11,219,970	
ADAPTACION DE EL TERRENO	\$1,540,111	\$1,730,725	\$2,080,601	\$2,400,000	\$2,697,039	\$2,976,687	\$3,242,261	\$3,496,114	\$3,739,990	
AREA DE SERVICIOS (INSTALADOS)	\$5,133,704	\$5,769,083	\$6,935,337	\$8,000,000	\$8,990,130	\$9,922,290	\$10,807,538	\$11,653,715	\$12,466,633	
TERRENO	\$513,370	\$576,908	\$693,534	\$800,000	\$899,013	\$992,229	\$1,080,754	\$1,165,371	\$1,246,683	
TOTAL DE COSTOS DIRECTOS	\$33,882,444	\$38,075,948	\$45,773,225	\$52,800,000	\$59,334,860	\$65,487,116	\$71,329,752	\$76,914,519	\$82,279,780	
COSTOS INDIRECTOS										
INGENIERIA Y SUPERVISION	\$5,647,074	\$6,345,991	\$7,628,871	\$8,800,000	\$9,889,143	\$10,914,519	\$11,888,292	\$12,819,086	\$13,713,297	
CANSTOS DE CONSTRUCCION	\$5,133,704	\$5,769,083	\$6,935,337	\$8,000,000	\$8,990,130	\$9,922,290	\$10,807,538	\$11,653,715	\$12,466,633	
CONTRATISTAS	\$2,053,481	\$2,307,633	\$2,774,135	\$3,200,000	\$3,596,052	\$3,968,016	\$4,323,015	\$4,661,486	\$4,986,453	
CONTINGENCIAS	\$4,620,333	\$5,192,175	\$6,241,803	\$7,200,000	\$8,091,137	\$8,930,061	\$9,726,784	\$10,488,343	\$11,219,970	
TOTAL DE COSTOS INDIRECTOS	\$17,454,592	\$19,614,882	\$23,580,146	\$27,200,000	\$30,566,443	\$33,735,787	\$36,745,630	\$39,622,631	\$42,386,953	
INVERSION FIJA TOTAL	\$51,337,036	\$57,690,830	\$69,353,372	\$80,000,000	\$89,901,303	\$99,222,903	\$108,075,381	\$116,537,149	\$124,666,333	
CAPITAL DE TRABAJO	\$8,521,948	\$9,576,678	\$11,512,560	\$13,280,000	\$14,823,616	\$16,471,002	\$17,840,513	\$19,345,167	\$20,684,611	
INVERSION TOTAL	\$59,858,984	\$67,267,508	\$80,866,031	\$93,280,000	\$104,824,919	\$115,693,905	\$126,015,894	\$135,882,316	\$145,350,944	

**FIGURA 13. CURVA DE INVERSION-CAPACIDAD
PARA EL OXIDO DE PROPILENO**



• FAC.DE.POT..FACTOR DE LA POTENCIA. Metodo para estimar la Inversión de capital, p.118

D) DATOS ESTADISTICOS DE LA CURVA

PENDIENTE (en miles):	0.379
ORDENADA AL ORIGEN (en millones):	32.84
COEFICIENTE DE CORRELACION:	0.994

F) ANALISIS DE LA CURVA DE INVERSION-CAPACIDAD

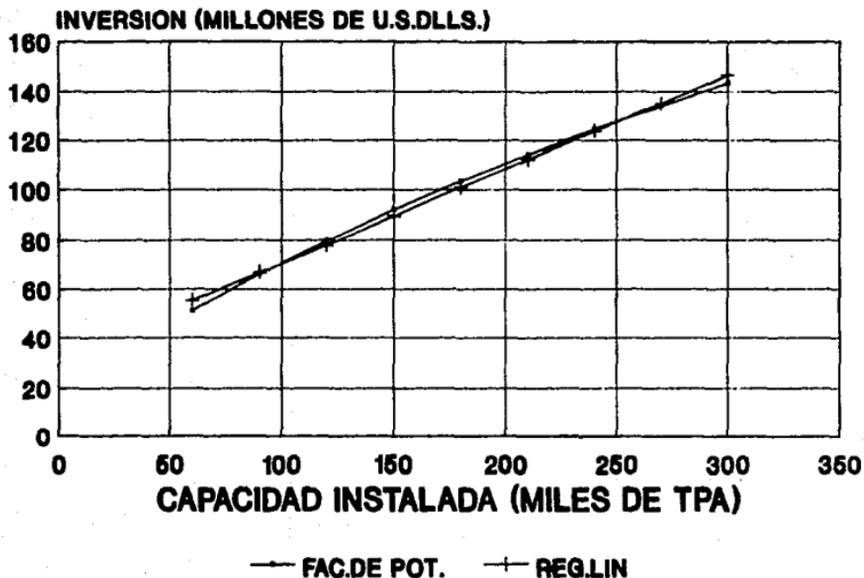
Primeramente, al analizar la regresión lineal en base a los datos estadísticos anteriores, el coeficiente de correlación tiene un valor de 0.99, lo cual indica que el ajuste a un comportamiento lineal es válido; como se muestra en la FIGURA 14; donde se grafica la curva de inversión capacidad y el comportamiento lineal propuesto.

En la FIGURA 13 se muestra la curva de Inversión-Capacidad cuya tendencia general es el aumento de la inversión en función de la capacidad instalada a una razón no directamente proporcional.

Al analizar la FIGURA 15 donde se grafica la curva de inversión Capacidad y la de proporción directa se observa lo siguiente:

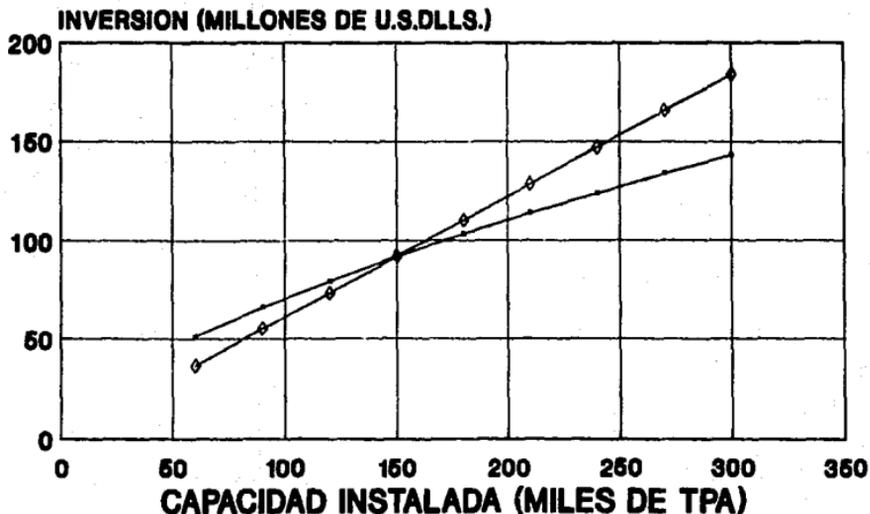
1. En la zona de capacidad menor al caso base (150,000 TPA) las curvas divergen entre si al disminuir la capacidad.

FIGURA 14. CURVA DE INVERSION-CAPACIDAD PARA EL OXIDO DE PROPILENO



- **REG.LIN. REGRESION LINEAL.** Se aplica una regresión lineal a los datos obtenidos mediante el factor de la potencia.
- **FAC.DE.POT. FACTOR DE LA POTENCIA.** Método para estimar la inversión de capital, p.119

FIGURA 15. CURVA DE INVERSION-CAPACIDAD PARA EL OXIDO DE PROPILENO



— FAC.DE POT. • — ◊ — PROP.DIR ■

• PROP.DIR: PROPORCION DIRECTA.

• FAC.DE.POT.:FACTOR DE LA POTENCIA. Método para estimar la inversión de capital, p.110

2. En la zona de capacidades superiores al caso base las curvas divergen al aumentar la capacidad.

3. En la zona cercana al caso base (100,000 - 200,000 TPA) la divergencia entre las curvas no es muy radical.

Ahora, al analizar la FIGURA 16 y la TABLA 18 se observa como la variación de la inversión es mayor a bajas capacidades (notese como abajo de 80,000 TPA aumenta dramáticamente la variación) y a capacidades mayores a 270,000 TPA tiende a ser constante, tanto uno como el otro extremo no son correctos, esto se debe a que el coeficiente de escalación utilizado no se recomienda para capacidades a 80,000 TPA ni mayores a 300,000 TPA.

TABLA 18. VALOR DE LA INVERSION EN FUNCION DE LA CAPACIDAD

<u>CAPACIDAD (TPA)</u>	<u>INVERSION(U.S.DLLS.)</u>	<u>GAMBIO % INVERSION</u>
60,000	53,091,357	27.5
90,000	67,714,017	18.8
120,000	80,471,449	14.3
150,000	92,000,000	11.6
180,000	102,685,257	9.7
210,000	112,580,883	8.3
240,000	121,971,908	7.3
270,000	130,903,522	6.5
300,000	139,445,924	6.1

C A P I T U L O V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES:

El óxido de propileno se obtiene mediante la oxidación del propileno, actualmente ya no se clasifica como un petroquímico secundario y no se fabrica en México, posiblemente esto se debe a que toda la producción nacional de propileno se destina a su polimerización.

Las expectativas futuras son promisorias, primeramente porque la tendencia en el consumo del óxido de propileno en México tiende a aumentar al igual que la industria del poliuretano (siendo éste su principal consumidor), aunado a que la producción nacional del propileno aumentará al doble para 1995.

La demanda en los Estados Unidos tenía una tendencia negativa principalmente como consecuencia de la recesión económica en ese país, ya que el consumo de óxido de propileno se haya íntimamente ligado al Producto Nacional Bruto, siendo éste un indicador del nivel de producción de los artículos de consumo de alto precio, como lo son automóviles y muebles del hogar (siendo éstos los mayores consumidores finales del óxido de propileno). Para 1992 se registro un aumento en la demanda del 1.5% y los productores del óxido de propileno, esperan que para mediados de la década de los '90 la demanda aumente a razón de 2.5% anual.

Básicamente existen tres procesos de fabricación comercial para obtener el óxido de propileno a partir del propileno:

- Proceso de la Clorohidrina.
- Proceso del Perácido orgánico para obtener óxido de propileno y como co-productos alcohol ter-butílico ó estireno.
- Vía del ácido peracético.

Los dos primeros son los únicos procesos que se utilizan en Estados Unidos, el proceso del perácido es el más moderno, su única inconveniencia es el manejo y comercialización de los co-productos. El proceso de la clorohidrina es un proceso más económico en cuanto al equipo requerido y no genera co-productos, por ello se seleccionó este proceso.

Las economías de escala juegan un papel de suma importancia en nuestros tiempos, debido a que la maquinaria y los equipos modernos generan altos volúmenes de productos de alta calidad. El inconveniente principal es que se requiere de una inversión y costos de operación mayores, pero éstos se pagarán mediante los beneficios obtenidos, ya que también se tendrán altos volúmenes de ventas con costos de producción y precios de venta menores; traduciéndose en un mayor nivel de competitividad.

Durante la vida de un proyecto existen diferentes tipos de estimados de costos, los cuales dependen de la cantidad de información, recursos y tiempo disponibles. La curva de Inversión-Capacidad se puede utilizar para el estimado de orden de magnitud ó el de estudio, ésta ofrece una exactitud de +/- 30%.

La información de costos de plantas no son actuales ni se cuenta con información original de costos de diferentes capacidades para la elaboración de la curva, por ello los precios se actualizan mediante el uso de índices y apartir de la información original se escala el costo a otras capacidades.

La exactitud del método está en función de la información original disponible, el caso óptimo sería contar con el costo de la inversión para cada uno de los factores que constituyen la inversión total de capital para una planta construida con anterioridad, pero esto no siempre es posible y se debe de dar el mejor estimado basandose en la información disponible.

La curva de Inversión-Capacidad para el óxido de propileno obtenida se considera confiable y responde al objetivo principal de esta tesis que es el dar un estimado de inversión de capital a diferentes capacidades.

A partir del valor de la inversión fija referida a una cierta capacidad se obtiene un estimado de los factores que forman los costos directos e indirectos, lo cual es de gran utilidad para el estudio de costos preliminar.

RECOMENDACIONES:

Para la realización de este estudio se utilizó la información disponible en las diferentes publicaciones periódicas más recientes disponibles en Bibliotecas y Hemerotecas. Para un estudio más preciso existen otras importantes fuentes de información que tienen un costo mayor como son los Bancos de Datos nacionales e internacionales para los cuales varia su costo dependiendo del tipo de Banco de información consultado¹. Mediante el uso de esta importante herramienta se puede obtener información técnica y económica más completa y detallada.

1. Los bancos de información técnica son los más económicos siendo de 8 a 30 dólares la hora de consulta, pero para los bancos de información económica su precio varia de 90 a 200 dólares la hora.

B I B L I O G R A F I A

1. - ANTO. Anuario Estadístico De La Industria Química Mexicana. México, D.F. Edición 1991. p.117,80,158,15-20.
2. - Carra S. Synthesis Of Propylene Oxide From Propylene Chlorohydrins. Chemical Engineering Science, 1979. Vol.34, Num.9. p.1123-32.
3. - Chemical Marketing Reporter, 1993. Schenell Publishing Co.Inc., 100 Church st., New York.
4. - Chemical Data Inc. Propylene Oxide Pro Prohma Economics. Montly Petrochemical And Plastics Analysis. Enero 1990.
5. - Donald E. Garret. Chemical Engineering Economics, 1989. New York: Van Nostrand Reinhold. p.22-65, 370-380.
6. - Donald S. Remer , Laurence H. Chai. Estimates Costs Of Scale-Up Process Plants. Chemical Engineering. Abril 1990. p.138-175.
7. - H. F. Race, M. H. Barrow. Ingenieria De Proyectos par Plantas De Proceso. Tr. Armando Garza Cardenas. 1988. México: C. E. C. S. A. p. 41-50.
8. - Gary K. Adams. Propylene-Waiting On Growth. Selected Petrochemical Statistics. Diciembre 1992. Washington, D.C: National Petroleum Refiners Association. pp.95-112.
9. - John Happel, Donald G. Jordan. Economía de los Procesos Químicos, 1981. Barcelona, México: Reverte. p.2-75, 200-250.
10. - Kirk-Othmer. Encyclopedia of Chemical Tecnology. 1980. (3a. Ed) Wiley Interscience, vol. 21, p.248-274.

- 11.-K.H. Slinmrock. Compare propylene Oxide Routes. hydrocarbon processing, Nov. 1978. p.108.
- 12.- Kazuo Yamagashi, osamu Kageyama. Make Propylene Oxide Direct. hydrocarbon Processing, Nov.1978. p.102-104.
- 13.- Marx.S. Peters, Klaus D. Timmerhaus. Plant Design And Economics For Chemical Engineers,1980.(3a ed.) Mc Graw Hill. p.147-209.
- 14.- National Petroleum Refiners Association. U.S. Trade Production And Consumption. Selected Petrochemical Statistics. Julio de 1992. Washington, D.C. p. 7-8, 11-12, 64.
- 15.- New Propylene Oxide Process. Chemical Week. 8 de junio de 1977. vol.120, p.39.
- 16.- Petrochemical Handbook 79. Hydrocarbon Processing. Noviembre, 1979. p.239.
- 17.- Petrochemical Handbook 81. Hydrocarbon Processing. Noviembre, 1981. p.229.
- 18.- Petrochemical Handbook 83. Hydrocarbon Processing. Noviembre, 1983. p.145-146.
- 19.- Petrochemical Handbook 85. Hydrocarbon Processing. Noviembre, 1985. p.166.
- 20.- Petrochemical Handbook 87. Hydrocarbon Processing. Noviembre, 1987. p.86.
- 21.-Ralp Landau, Listowel, Inc. Harnessing Innovation For Growth. Chemical Engineering Progress. Julio, 1988. p. 31-42.
- 22.- Ralph J. Fessenden, Joan S. Fessenden. Química Orgánica.1983. México: Editorial Iberoamericana.p.264-268, 303-309,422-428.

23.- Robert B.Stobaugh, Vincent A.Calarco. Propylene Oxide: How, Where, Who-Future. Hydrocarbon Processing, Enero 1973. p.90-107.

24.- Robert T.Morrison, Robert N.Boyd. Química Orgánica. 1987. (2a.Ed.en Español). México: Ed. Addison-Wesley Iberoamericana. p.544-55, 368.

25.- S.C.Schuman. How Plant Size Affects Unit Costs. Chemical Engineering, abril, 1980.p.180-82

26.-Susan J. Ainsworth. Propylene Oxide Producers Look For Ways To Counter Sluggish Market. Chemical and Engineering News, Marzo, 1982. p.8-14.