



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**"ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNICO  
ECONOMICO DE UNA PLANTA  
PRODUCTORA DE ACIDO  
SULFURICO"**

**TESIS MANCOMUNADA**

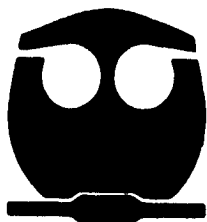
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERA QUIMICA**

**P R E S E N T A N**

**EMILIA MAGDALENA FLORES ESQUIVEL**

**GRISELDA GONZALEZ MONROY**



**MEXICO D. F.**

**1996**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE:      PROFR. ALEJANDRO ANAYA OLAFID  
VOCAL:            PROFR. JOSE FRANCISCO GUERRA RECAISES  
SECRETARIO:      PROFR. JOSE AGUSTIN TEXTA MENA  
1ER. SUPLENTE:   PROFR. MANUEL TESUS AGUILAR GOMEZ  
2DO. SUPLENTE:   PROFR. MARIANO REFEZ CAMACHO

Sitio donde se desarrolló el tema: Biblioteca de la Facultad  
de Química, U.N.A.M.

  
Aprobado el Tema

J. Q. JOSE AGUSTIN TEXTA MENA

Sustentantes

  
ENRIQUETA GONZALEZ MONROY

  
EMILIA H. FLORES ESQUIVEL

*Siente un impulso... ese es  
el rumbo del momento.*

*Pero el cielo conoce  
las razones y las configuraciones  
que hay detrás de todas las nubes,  
y tú también las conocerás  
cuando te eleves a la altura indispensable  
para ver más allá de  
los horizontes.*

*R.B.*

Queremos brindar un AGRADECIMIENTO ESPECIAL  
a todos nuestros maestros y compañeros de la Facultad,  
y sobre todo a dos profesores que nos brindaron  
su apoyo incondicional en la realización de este proyecto

*Ing. Agustín Texta Mena  
Ing. Alejandro Anaya Durand*

GRACIAS POR AYUDARNOS A LLEGAR A LA META



*Con todo cariño dedico esta Tesis*

A Dios por brindarnos todas las maravillas que tiene este mundo y por haberme colocado en este paraíso que es México.

A los seres que me han dado la vida y mi razón de ser

A MIS PADRES

Vicky y Edmundo

Porque son un ejemplo constante de superación y AMOR.

Gracias por su paciencia.

A mis hermanas Alma y Mine  
porque son mis mejores amigas  
porque siempre cuento con ellas  
y por estar a mi lado en los momentos  
dificiles y en los momentos más felices.

A mi hermano Victor  
por ser tan comprensivo y  
por recordarme que hay un mundo  
al que si queremos conquistar  
debemos esforzarnos.

A Paco, por ser la esperanza viva  
de que cada día brilla el sol  
y de que el mundo puede ser mejor.

A mi abuelita Gino,  
porque aunque su camino  
fue largo y doloroso  
siempre tuvo una sonrisa,  
y una frase de aliento  
para todos nosotros.

GRACIAS POR TU CARINO

A mi familia.

*El vínculo que une  
a tu auténtica familia  
no es de sangre, sino  
respeto y de goce mutuo.*

R.B.

A todos mis amigos y amigas,  
que me distinguieron con su amistad  
y que ahora los recuerdo a cada uno  
sintiendo la dicha de que tengo  
un gran tesoro.

- GRACIAS -

Con todo mi amor y Cariño dedico esta tesis a mis PADRES,  
SILVIA y MIGUEL.

- A mi MADRE:

"El infinito me atormenta, bien a pesar mío.  
Mi razón se espanta de no comprenderlo y  
sin embargo, estarlo viendo".  
TE AMO

- A mi PADRE:

Nosotros no conocemos el "ser" de las cosas  
sino el "parecer", pero este "parecer" no  
depende de las cosas, sino del observador.

Gracias por el Amor, Cariño y Respeto que me has brindado  
TE AMO.

- Dedico esta tesis en forma muy especial a Hortencia  
Esquivel de P. por todo el cariño que me ha dado siempre, y  
que tanto me ha ayudado.

- A mis hermanos: Miguel, Gustavo y Juan, les dedico esta  
tesis con mucho cariño porque ellos vivieron de cerca cada  
momento de alegría y pena a lo largo de mi carrera.

- A mi hermana Adriana por estar siempre conmigo y  
escucharme.

- A todos mis Tíos y Primos en especial a mis primos:  
Adriana, Andrea y Guillermo Palacios E.

- A todos mis amigos, en especial a Olga y a ti Griselda.

- Esta tesis está dedicada a la persona que es el Regalo más  
dulce que me ha dado la vida, porque las alegrías de la vida  
son muchas como es el terminar y presentar esta tesis, pero  
ninguna puede compararse con lo que me has dado tu amor,  
porque tu alegre comprensión es cuanto necesito para  
iluminar mi corazón y hacer brillar cada día por el resto de  
mi vida a tu lado.

Con todo mi AMOR para ti LUIS.

A ti Dios por permitirme realizar este Sueño.

## INDICE

Introducción	1
Capítulo I Base Tecnológica	2
1.1 Información Histórica	2
1.2 Estructura y Propiedades	3
1.3 Principales usos del Acido Sulfúrico	8
1.4 Toxicología y Seguridad Industrial	12
Capítulo II Estado del arte de las Tecnologías	21
2.1 Evolución de las Tecnologías	21
2.2 Procesos	24
2.3 Ventajas y Desventajas	32
2.4 Pre-selección de una Tecnología	35
2.5 Cogeneración	38
Capítulo III Estudio Macroeconómico	50
3.1 Antecedentes	50
Capítulo IV Estudio Microeconómico	72
4.1 Panorama Económico de México en 1993	72
4.2 Empleo	76
Capítulo V Estudio de Mercadotecnia	84
5.1 Marco Referencial	84
5.2 Antecedentes de Mercado	84
5.3 Procesos de Obtención	85
5.4 Materia Prima (Azufre)	85
5.5 Producto	88
5.6 Precio	89
5.7 Plaza	90
5.8 Promoción	91
5.9 Demanda	91
5.10 Oferta	93
5.11 Aplicaciones	94
5.12 Perfil del Acido Sulfúrico en el mercado de Estados Unidos	95
5.13 Proyecciones	97
Capítulo VI Estudio Técnico	100
6.1 Ingeniería Básica	101
6.2 Balances de Materia y Energía	113
6.3 Diagrama de Flujo de Proceso	116
6.4 Lista de Ewuipo	117
Capítulo VII Estudio Económico Financiero	118
7.1 Bases Económicas	118
7.2 Inversión	118
7.3 Costos de Operación	121
7.4 Ingresos	122
7.5 Costos y Precios	122
7.6 VPN y TIR	126
7.7 Análisis de Sensibilidad	126
Conclusiones	129
Bibliografía	131

## INTRODUCCION

Un estudio de factibilidad técnico económico nos permite conocer el panorama económico dentro del mercado donde se sitúa el producto, para este trabajo, se realiza dicho estudio con el ácido sulfúrico, un compuesto inorgánico de gran importancia en la industria, por ser un producto que se utiliza en otros procesos como materia prima o como catalizador.

El ácido sulfúrico ha sido tan importante a nivel mundial que antes se utilizaba su capacidad de producirlo, como un indicador del grado de industrialización de los países.

En la actualidad este producto es de gran importancia debido a su aplicación en la producción de fertilizantes, polímeros, pinturas, en la industria siderúrgica, en el tratamiento de metales, en el tratamiento de aguas, etc.

El objetivo de ésta tesis es el mostrar la realidad de la oferta y la demanda del ácido sulfúrico hasta el mes de noviembre del presente año, para así poder establecer si es factible instalar una o varias plantas productoras en México. Esto se hace con el fin de abrir demanda nacional o incluso para exportarlo. Para lograr tales fines se requiere analizar si el precio es competitivo con el iprecio internacional, de no ser así se darán algunas propuestas.

Es entonces este trabajo una semblanza de la posición del ácido dentro del mercado, considerando diversos factores, como son los políticos y sociales, pero principalmente analizando los efectos que han producido éstos en la economía mexicana. También se analizan los datos de producción, consumo aparente, importaciones y exportaciones del ácido, así como su oferta y demanda; para después realizar un proyecto de una planta con una capacidad determinada y un tiempo de operación de aproximadamente 10 años. Posteriormente se hace un balance económico, para los años de operación, se obtienen sus flujos de efectivo, para conocer cuáles serían las ganancias que se obtendrían si al establecer la planta; y finalmente se hace un análisis de sensibilidad en donde se hacen cambios en tres variables que son: ventas, producción y precio de materia prima, para poder ver si al cambiar estas variables, nuestro proyecto sigue siendo rentable y atractivo para la inversión.

Por último se hacen algunas recomendaciones y se concluye sobre la funcionalidad de este proyecto.

## CAPITULO I BASE TECNOLOGICA

El ácido sulfúrico es uno de los productos químicos más importantes ya que debido a sus propiedades químicas y físicas, además de su bajo costo, es producido y consumido en grandes volúmenes.

El nivel de ácido sulfúrico es frecuentemente utilizado como indicador del desarrollo industrial de un país, así como de la situación general de la economía, ya que de hecho, existe un alto índice de correlación entre estos factores.

El ácido sulfúrico se usa en la industria del papel, textil, de pigmentos, jabones y vidrio, así como en el tratamiento de aguas y aceites, en la industria automotriz, en la industria siderúrgica, en la azucarera y en la de fertilizantes.

### 1.1 Información Histórica

El crecimiento del consumo total en el periodo de 1951 a 1990 presentó una tasa media anual del 12.1% al pasar de 57 mil a aproximadamente 4 millones de toneladas de ácido sulfúrico<sup>1</sup>. El crecimiento del consumo ha sido sostenido aunque se han presentado fluctuaciones, registrándose descensos en 1975, 1980, 1983 y 1986. Los dos primeros fueron debidos a la baja en el consumo del sector industrial, y los dos segundos fueron causados principalmente por la baja que sufrió la producción de dos fertilizantes, que más consumen ácido sulfúrico en su fabricación: el sulfato de amonio y el superfosfato simple.

El consumo del sector industrial no fertilizante presentó un crecimiento dinámico y sostenido entre 1951 y 1978, cuando pasó de 27 mil toneladas a 840 mil. Sin embargo, este crecimiento (12.3%) es menor al presentado por la industria de los fertilizantes, por lo que su participación porcentual en el consumo nacional disminuyó de 47% a 34%. El desarrollo menos dinámico de este sector, comparado con el sector fertilizante, se debe en parte al aumento en el costo del azufre y el estricto control ejercido en el precio de venta, lo que ha limitado los planes de expansión de producción. Por otro lado, cabe enfatizar que su demanda ha estado sujeta, en gran medida, a la oferta del sector fertilizante. Sin embargo, en 1987 el consumo de este sector creció de manera significativa (29.2%) situándose en 1,123 miles de toneladas y en 1988 continuó esta tendencia (20.7%) incrementándose hasta 1,356 miles de toneladas. Para 1990 este sector consumía el 79% del ácido producido y el 15% se usaba en refinación de petróleo, minería y tratamiento de metales; el resto se emplea en varias aplicaciones.

---

<sup>1</sup> Fuente: Sen Den/Fertimax (36)

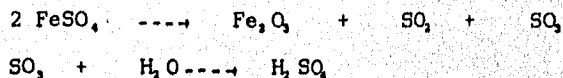
El proceso de modernización que Fertilizantes Mexicanos (Fertimex) inició en 1983 lo llevó a cerrar varias de sus antiguas plantas que estaban operando con obsolescencia tecnológica y en muchos casos, produciendo altos niveles de contaminación, entre éstas se encuentran las instalaciones de Ecatepec, Cuautitlán, Coatzacoalcos y Minatitlán I y II. Por otro lado, en el mismo período se han iniciado operaciones en plantas nuevas, tales como Guadalajara III, Querétaro II y Lázaro Cárdenas I y II, con lo que la capacidad instalada, que en 1982 era de 2.1 Mton por año; aumentó en un 72% para situarse en 3.6 millones de toneladas. Para 1988 el consumo del ácido era de 3958 ton y la producción de 356 Mton, en 1989 aumentó un poco hasta 1990, porque después hubo un descenso en la producción hasta 1993 la cual fue de 2825 Mton.

En la unidad Fosfatados Pajaritos se produce ácido sulfúrico a partir de azufre para llevar a cabo el ataque a la roca fosfórica y producir ácido fosfórico<sup>3</sup>. En este sentido es importante indicar que el ácido sulfúrico es un producto intermedio. La unidad está diseñada para producir al ácido sulfúrico que necesita; sólo vende excedentes y compra cuando su producción interna no es suficiente y por lo tanto, no alcanza a satisfacer sus necesidades.

## 1.2 Estructura y Propiedades

### 1.2.1 Estructura

El ácido sulfúrico fue obtenido por los alquimistas, destilando vitriolo verde (sulfato ferroso).



En 1666, Le Fevre obtuvo el ácido, quemando azufre en presencia de humedad. Lemery en 1675, lo fabricó quemando una mezcla de azufre y nitro sobre una cápsula de agua bajo una campana de vidrio; Ward y Richmon en 1740, establecieron pequeñas instalaciones que utilizaban este procedimiento. El ácido obtenido se llamó aceite de vitriolo *per campanam*. Roebuck en 1749 en Prestonpans, sustituyó los recipientes de vidrio por cámaras de plomo de 6 pies de ancho, y éstas se agrandaron en trabajos posteriores. Holker, en las instalaciones francesas de Chaptal en 1810, introdujo un procedimiento continuo con el cual el dióxido de azufre se producía del azufre, en quemadores

<sup>3</sup> Fuente: Sen Den/Fertimex (36)

separados y se les hacía pasar con humos nitrosos, aire y vapor de agua de las cámaras. El uso de las piritas y el invento de las Torres de Gay Lussac (1827) y Glover (1859) han llegado hasta la industria moderna.

### 1.2.2 Nomenclatura

El ácido sulfúrico es un líquido incoloro, inodoro, oleoso y pesado. Sus disoluciones acuosas dan reacción al papel tornasol y, cuando se mezcla con una disolución de cloruro de bario, se produce un precipitado blanco insoluble en ácido.

La fórmula química del ácido es  $H_2SO_4$ , su masa molecular es 98.0718 de acuerdo a la masa atómica revisada en 1973, su composición teórica elemental es:

H (2.06%)	O (62.25%)	S (32.69%)
Hidrógeno	Oxígeno	Azufre

La composición teórica de sus principales componentes es:

$SO_3$ (81.63%)	$H_2O$ (18.37%)
-----------------	-----------------

### 1.2.3 Propiedades Físicas y Químicas

El ácido sulfúrico es un líquido aceitoso que humea ligeramente en el aire; de la disociación en el líquido tenemos:



Esta disociación aumenta al calentarlo y el vapor es más constante (98.3%  $H_2SO_4$ ) a una temperatura de 338°C, que generalmente se da como punto de ebullición del ácido sulfúrico. El ácido sulfúrico de 95% hierve a 295°C.

El ácido sulfúrico tiene una gran afinidad con el agua, al mezclarlo con ésta, se desprende mucho calor y el líquido puede hervir. Debe siempre agregarse el ácido al agua y no agua al ácido. El ácido concentrado oxida, deshidrata o sulfona la mayoría de los compuestos orgánicos, a menudo causa carbonización a la materia orgánica, eliminando los elementos del agua y dejando carbón negro.

Tabla 1.1 PROPIEDADES FISICAS Y FISICOQUIMICAS DEL ACIDO

Punto de Fusión	10.5°C
Punto de Ebullición	340.0°C
Viscosidad a 25°C	19.7 cp
Calor Latente de Fusión	10.847 KJ/mol
Calor de Formación a 25°C	-810.418 KJ/mol
Energía Libre de Formación a 25°C	-690.00 KJ/mol
Entropía Normal a 25°C	157.00 KJ/mol
Capacidad Calorífica molar a 25°C	139.00 KJ/mol
Solubilidad en agua Fría	Soluble en todas proporciones.
Solubilidad en agua Caliente	Soluble en todas proporciones.

Fuente: Perry, Capítulo 3, Tomo I

Tabla 1.2 DENSIDAD DEL ACIDO SULFURICO A DIFERENTES CONCENTRACIONES Y DIFERENTES TEMPERATURAS

Conc	15°C	20°C	25°C
90	1.8198	1.8144	1.8091
91	1.8248	1.8195	1.8142
92	1.8293	1.8240	1.8188
93	1.8331	1.8279	1.8227
94	1.8363	1.8312	1.8260
95	1.8388	1.8337	1.8260
96	1.8406	1.8355	1.8300
97	1.8414	1.8364	1.8314
98	1.8411	1.8361	1.8310
99	1.8393	1.8342	1.8292
100	1.8357	1.8305	1.8255

Las densidades están en unidades de g/cm<sup>3</sup>  
Fuente: Perry, Capítulo 3, Tomo I



Tabla 1.3 CALIDADES

Por ciento de Acido Sulfúrico		Gravedad Específica
65.13	52°Be	1.5591
74.36	58°Be	1.6667
77.67	60°Be	1.7059
93.19	66°Be	1.8354
98.00		1.8437
100.00		1.8391
104.00	20% Oleum	1.9150
106.75	30% Oleum	1.9520
109.00	40% Oleum	1.9830
114.63	65% Oleum	1.9920

Fuente: Duecker Werner W., Wasy James R. The Manufacture of Sulfuric Acid. Reinhold Publishing Corporation. American Chemical Society Monograph Series. 1959.

El ácido como producto; en la normatividad<sup>4</sup> debe cumplir con algunas especificaciones como son las siguientes:

a) Tipo I con tres Tipos de Calidad:

Grado de Calidad A:	Reactivo Analítico
Grado de Calidad B:	Técnico
Grado de Calidad C:	Electrolítico

b) Tipo II con un sólo Grado de Calidad:

Grado de Calidad A:	Comercial
---------------------	-----------

<sup>4</sup> De acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas y a las Normas Técnicas Ecológicas. (24)

*ESPECIFICACIONES*

Físicas

El producto objeto de esta norma, debe tener una densidad relativa 18°/4°<sup>s</sup> de 1.8340 y una densidad absoluta a 25°C de 1.8255 g/cm<sup>3</sup>.

Químicas

El ácido sulfúrico debe cumplir con lo especificado en la tabla siguiente:

Tabla 1.4 *ESPECIFICACIONES*

Propiedades	Tipo I			Tipo II
	Grado A	Grado B	Grado C	Grado A
% Acidez	98.00	98.00	98.00	92.00
% Residuo máx por calcinación	0.02	0.01	0.03	0.50
% sustancias reductoras	0.001	0.002	0.002	0.002
% Materia Orgánica	---	---	0.008	---
% Arsénico	0.00005	0.015	0.0001	0.0005
% Hierro	0.004	0.015	0.005	0.01
% Metales Pesados	0.0001	0.0015	---	0.0015
% Cloruros	0.002	0.002	0.001	0.002
% Nitrato	0.0002	0.0005	0.0005	0.0005
% Radical Amonio	0.001	---	0.001	---
% Antimonio	---	---	0.0001	---
% Manganeso	---	---	0.0002	---
% Cobre	---	---	0.003	---
% Zinc	---	---	0.004	---
% Selenio	---	---	0.004	---
% Platino	---	---	0.00001	---
% Niquel	---	---	0.0001	---

Fuente: Kirk-Otthamer

<sup>s</sup> La densidad relativa es la relación entre la densidad de una sustancia y la de referencia (agua), los grados indican sus temperaturas respectivas en las cuales se hizo la medición.(9)

### *1.3 Principales Usos del Acido Sulfúrico*

#### *INDUSTRIAS MANUFACTURERAS QUE UTILIZAN ACIDO SULFURICO*

El uso del ácido sulfúrico en las diferentes ramas de la Industria manufacturera se pueden clasificar según sus usos y su importancia en la siguiente forma:

- Fertilizantes 89%
- Productos Químicos 4%
- Fibras Artificiales 3%
- Petróleo 1%
- Explosivos 1%
- Siderurgia 1%
- Otros 1%

#### *1.3.1 Fertilizantes*

La Industria de Fertilizantes es la principal consumidora de ácido sulfúrico por lo que será necesario calcular la demanda y la producción futura de fertilizantes que a su vez determinará las necesidades de ácido sulfúrico.

Las características de los suelos mexicanos, empobrecidos por la falta de nutrientes y por el monocultivo realizado durante siglos, además de la erosión, provocaron la demanda de Fertilizantes. Para el cálculo de la demanda futura de fertilizantes se ha elaborado la tendencia que presenta el consumo de los principales nutrientes que necesitan los suelos mexicanos, es decir nitrógeno, fósforo y potasio.

#### *1.3.2 Productos Químicos*

El consumo de ácido sulfúrico para productos químicos alcanza 4%. El uso del ácido sulfúrico para la elaboración de productos químicos es muy extensa, se usa como deshidratante para la producción de algunos ácidos y para la producción de sales.

El consumo de ácido sulfúrico para cada uno de los productos que lo utilizan dentro de la Industria Química es muy pequeño, por lo que consideramos que los aumentos o disminuciones de la producción de éstos artículos no afectará el consumo de ácido sulfúrico.

A continuación se analizan los sulfatos o sea las sales que para su elaboración utilizan el ácido sulfúrico.

#### Sulfato de Amonio

Se usa como mordiente, curtiente en la elaboración de pinturas impermeabilización de lonas, y cargas para extinguidores.

La capacidad instalada de estas empresas es de 39000 toneladas y se considera que la producción nacional es suficiente para satisfacer la demanda nacional.

#### Sulfato de Cobre

Se utiliza como colorante, en la fabricación de insecticidas pilas eléctricas, curtiduría, tintas para imprenta.

#### Sulfato de Cromo Básico

Se usa en barnices, pinturas y como curtientes. La producción es insuficiente por lo que se tuvieron que importar 210 toneladas.

#### Sulfato Ferroso

Se usa dentro de la medicina, fotografía, tintas para escribir pigmentos. Se tuvieron que importar 86 toneladas.

#### Sulfato de Magnesio

Se usa en la Industria Farmacéutica, cerámica, industria del Hule. Se importaron 93 toneladas.

#### Sulfato de Zinc

Se usa como reactivo, para preservar madera y pieles, en medicina veterinaria, blanqueado de papel, clarificación de pegamento. Se exportaron 1049 toneladas.

### 1.3.3 Fibras Artificiales

El consumo de ácido sulfúrico para producir fibras artificiales ocupa el tercer lugar dentro del consumo global de ácido sulfúrico. Las fibras artificiales que utilizan ácido sulfúrico para su producción son las de origen celulósico principalmente las de rayón y acetato de celulosa. El otro tipo de fibras artificiales no celulósicas se empiezan a producir en México a partir de 1967. La producción de fibras celulósicas se dedica principalmente dentro de la industria textil para la fabricación de artisela.

La producción de fibras artificiales de origen celulósico la realiza Celanese Mexicana, S.A., Celulosa y derivados S.A., y Visconsa de Chihuahua S.A., que cubren la demanda Nacional.

También se fabrican las siguientes fibras artificiales: nylon, poliéster fibra corta, poliéster filamento continuo acrílica fibra corta y filamento continuo.

El acetato de celulosa no solamente se emplea en la producción de fibras artificiales, sino también en la producción de lacas, plásticos, películas y papel celofán.

#### 1.3.4 *Petróleo*

Al consumo de ácido sulfúrico en la industria petrolera le correspondía un 4% del total en 1969 y para 1970 disminuyó a tan solo el 1%, lo cual ya representaba una disminución en la cantidad de producción total de ácido sulfúrico.

Dentro de la industria petrolera se utiliza al ácido fluorhídrico (que en su elaboración se utiliza ácido sulfúrico)<sup>7</sup>. También se utiliza como catalizador para la producción de iso-octano que es un ingrediente básico de las gasolinas de aviación.

Para el proceso de refinación de gasolina se ha ido desechando la utilización de ácido sulfúrico, por lo que solamente se utiliza para determinado tipo de gasolinas.

Otro uso importante es el que se le da al ácido en las plantas desmineralizadoras de agua para calderas; también se utiliza en las torres de enfriamiento, entre otros, sólo por mencionar algunos de usos de ácido dentro de la industria petrolera.

#### 1.3.5 *Explosivos*

Dentro de la fabricación de explosivos se encuentran principalmente la nitrocelulosa o piroxilina, la nitroglicerina o dinamita y el nitro-tolueno llamada comúnmente T.N.T. estos tres productos utilizan el ácido sulfúrico en su elaboración.

La nitrocelulosa tiene los siguientes usos: Plásticos, lacas, adhesivos, recubrimientos, textiles, cementos, pólvora sin humo, explosivos, recubrimientos de celofán que lo hace

---

<sup>7</sup> 1970 (40)

impermeable a la humedad y que se utilizan en la industria farmacéutica y chocolatera, otros usos son la fabricación de películas y tintas para imprenta.

La nitrocelulosa se produce en el país solamente para la elaboración de explosivos, la demanda para la elaboración de los demás productos que utilizan la nitrocelulosa se cubre por medio de la importación.

### 1.3.6 Industria Siderúrgica

En la Industria Siderúrgica se utiliza el 1% de la producción total de ácido sulfúrico principalmente para el decapado de los productos. El decapado consiste en extraer las impurezas de algunos productos, otro uso, es en la Galvanotecnia que consiste en galvanizar algunos productos laminados a fin de evitar su corrosión.

### 1.3.7 Otros

Productos de Carbón, otros metales, huleras, manufactureras de latería para coches, procesos alimentarios, producción de jabón, papel, etc.

A continuación se resumen en la siguiente lista las aplicaciones que tienen el ácido sulfúrico en el mercado nacional.

Tabla 1.5 Aplicaciones del Ac. Sulfúrico

Sector	Aplicación	Tipo Industria
TRATAMIENTO DE METALES	DECAPADO DESODIFICACION DE SUPERFICIES	INDUSTRIA MECANICA
ACUMULADORES	ELECTROLITO	INDUSTRIA AUTOMOTRIZ
SULFATOS	FABRICACION DE: SULFATOS DE ZINC, COBRE MANGANESO, ETC.	RECUBRIMIENTOS ELECTROLITICOS
TRATAMIENTOS DE AGUAS	ADITIVOS PARA NEUTRALIZACION DE IMPUREZAS	INDUSTRIA EN GENERAL

Tabla 1.5 *Continuación...*

FERTILIZANTES	FORMACION DE COMPUESTOS FERTILIZANTES	INDUSTRIA FERTILIZANTES
RAYON O CELOFAN	REACTIVO	EMPAQUE PARA ALIMENTOS
PRODUCTOS QUIMICOS	REACTIVO	INDUSTRIA QUIMICA

### 1.4 *Toxicología y Seguridad Industrial*

#### 1.4.1 *Peligros Potenciales\**

##### Fuego o Explosión

- Algunos pueden arder pero no se encienden fácilmente
- Muchos vapores son más pesados que el aire
- Algunos vapores pueden formar mezclas explosivas con el aire
- Algunos son oxidantes o pueden encender materiales combustibles (madera, papel, ropa, etc.).
- Algunos pueden reaccionar violentamente con el agua
- Los contenedores pueden explotar cuando se calientan

##### Salud

- La inhalación o contacto con el vapor o sustancias puede causar daños serios o la muerte.
- Puede producir gases venenosos y corrosivos en contacto con el agua.
- El fuego puede producir gases irritantes, venenosos y corrosivos.
- Los escurrimientos pueden contaminar vías fluviales.

#### 1.4.2 *Estabilidad y reactividad*

##### Descomposición

Se descompone a 340 °C en vapor de agua y trióxido de azufre.

##### Reactividad

Acido fuertemente corrosivo, disuelve muchos metales y tiene una ionización primaria con el agua casi total.

---

\* (22)



### Inflamabilidad

Acido no flamable. reacciona fuertemente con el agua y con la materia orgánica con gran desprendimiento de calor.

Tabla 1.6 HOJA DE INFORMACION DE SEGURIDAD DE MATERIAL

INFORMACION FISICA	
Nombre	Acido Sulfúrico
Sinónimo	Aceite de Vitriolo
Fórmula	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Peso Molecular	98.08
Densidad	A 15°C = 1.84
Punto de Congelación	10.5°C
Punto de Ebullición	315 - 338°C
Solubilidad en Agua	Soluble en todas proporciones
Presentación	Líquido Aceitoso
Color	Cristalino u Oscuro, Dependiendo de la fuente de obtención

#### 1.4.3 Precauciones en su Manejo y Almacenamiento

Existen Normas Establecidas por países para diferentes productos, como es el caso de las Normas NOM.- "Normas Oficiales Mexicanas", y las Normas ASTM.- "American Society for Testing and Materials" de los Estados Unidos.

Las Normas Oficiales Mexicanas en vigor para el Acido Sulfúrico son las siguientes:

- DGN-K-002 "Especificaciones del ácido sulfúrico"
- DGN-K-230 "Método de muestreo para el ácido sulfúrico"
- DGN-K-226 "Determinación de acidez total en ácido sulfúrico. Método Volumétrico"
- DGN-K-227 "Determinación de arsénico en ácido sulfúrico Método de Gutzeit"
- DGN-K-234 "Determinación de sustancias reductoras en ácido sulfúrico. Método Volumétrico"
- DGN-K-233 "Determinación de hierro en ácido sulfúrico. Método de la 1,10 Fenantrolina"
- DGN-K-229 "Determinación de metales pesados en ácido sulfúrico. Método Turbidimétrico"



- DGN-K-228 "Determinación de cloruros en ácido sulfúrico  
Método Turbidimétrico"
- DGN-K-235 "Determinación de nitratos en ácido sulfúrico  
Método de la brucina"
- DGN-K-231 "Determinación del radical amonio en ácido  
sulfúrico"
- DGN-K-071 "Determinación de densidad relativa en líquido  
Método del picnómetro"
- DGN-K-224 "Determinación de residuo por calcinación en  
ácido sulfúrico. Método gravimétrico"
- DGN-K-421 "Determinación de materia orgánica en ácido  
sulfúrico"
- DGN-K-429 "Determinación de antimonio en ácido sulfúrico"
- DGN-K-423 "Determinación de manganeso en ácido sulfúrico"
- DGN-K-422 "Determinación de cobre en ácido sulfúrico"
- DGN-K-428 "Determinación de zinc en ácido sulfúrico"
- DGN-K-427 "Determinación de selenio en ácido sulfúrico"
- DGN-K-430 "Determinación de platino en ácido sulfúrico"
- DGN-K-424 "Determinación de níquel en ácido sulfúrico"
- DGN-K-425 "Determinación de materia en suspensión en  
ácido sulfúrico"

#### 1.4.4 *Transportación\**

La Norma Oficial Mexicana DGN-K-002 en la cual se establecen las características y especificaciones de calidad que debe cumplir el ácido sulfúrico, indica los siguientes puntos:

##### **Organolépticas**

El ácido debe presentar una apariencia de líquido oleoso incoloro, claro y opalescente.

##### **Muestreo y Especificaciones de Prueba**

En la inspección de un lote para la verificación de la calidad del producto, debe seguir la norma de muestreo DGN-K-230 para la obtención de las muestras de análisis.

El lugar y momento del muestreo será el convenido entre compradores y vendedores.

##### **Método de Prueba**

Para verificar la calidad del ácido sulfúrico con respecto a las especificaciones establecidas anteriormente, se efectuarán los análisis correspondientes en la muestra de análisis de acuerdo con las normas enlistadas al principio.

---

\* Notas: *Transportación de Materiales Peligrosos*, Cervantes José Angel, Facultad de Química, Edif. D, 1992.

## Rotulado y Envasado

- Nombre del Producto
- Tipo y grado de calidad
- Masa neta, en gramos, kilogramos o toneladas métricas
- Nombre o razón social del fabricante o del comerciante bajo cuyas marcas se expenda el producto
- Marca registrada
- Garantía de composición
- Precauciones de manejo llevando la leyenda "Manéjese con cuidado, producto altamente corrosivo"

El producto debe envasarse en recipientes de acero, garrafones de vidrio con empaque de protección adecuado o cualquier tipo de envase con recubrimiento interno resistente a la corrosión, que aseguren, en un manejo normal, la conservación del mismo y evite totalmente las posibilidades de contaminación del producto.

El ácido sulfúrico es un ácido altamente corrosivo que puede ocasionar graves lesiones en la piel, mucosa y ojos por lo que debe manejarse con equipo de protección adecuada y debe mantenerse alejado de carburos, cloratos, nitrato, picratos, polvos metálicos y materiales combustibles. Para prevenir la acumulación de hidrógeno durante el almacenamiento en recipientes metálicos, estos deben ser abiertos periódicamente. En los medios de transporte de ácido sulfúrico debe indicarse claramente la peligrosidad del producto que se transporta. En el uso del ácido sulfúrico debe evitarse que entre en contacto con el agua o en caso de que sea necesario diluir, debe añadirse siempre el ácido al agua.

En relación con Estados Unidos, la Norma ASTM-E-1011 contiene las especificaciones estándar para el ácido sulfúrico.

E-1011 "Especificaciones estándar del ácido sulfúrico".

Esta norma clasifica al ácido en;

- a) 66 Baumé (63%).
- b) 96%
- c) 98%.

y cada uno de ellos con sus respectivos requerimientos de acidez total, gravedad específica y contenido de fierro.

Así mismo, la Norma ASTM-E-1011 establece relación con otras normas:

E-1011 "Especificaciones estándar del ácido sulfúrico"  
E-223 "Método para análisis del ácido sulfúrico"  
E-300 "Prácticas para el muestreo de químicos industriales"

otros:

49 CFR 100 a 199 "Transportación de materiales peligrosos".  
PPP- C -2020 "Especificaciones Federales para empaque de químicos líquidos, sólidos y pastas".

#### *1.4.5 Medidas de Seguridad y Tratamientos de Emergencia*

##### **Acciones de Emergencia Generales**

- Aislar el área de peligro
- Mantenerse contra el viento
- Mantener a las personas innecesarias alejadas
- Mantenerse alejado de las áreas bajas

##### **Ropa de Protección**

Utilizar mascarilla de respiración autónoma y ropa de protección especial.

##### **Evacuación**

- Considerar la evacuación de las áreas a favor del viento
- En caso de que un vagón o tanque está involucrado en un fuego o derrame, considerar una evacuación inicial de 800 m. a la redonda.

##### **Fuego**

##### **Fuegos pequeños:**

- Utilizar sustancias químicas secas, CO<sub>2</sub>, rocío de agua o espuma.

##### **Fuegos grandes:**

- Utilizar rocío de agua, niebla o espuma
- No utilizar chorro de agua
- No introducir agua a los contenedores

- Alejar los contenedores del área de fuego en caso de poder hacerlo sin riesgo
- Enfriar los contenedores con abundante agua durante un buen tiempo después de que el fuego haya sido extinguido

#### Fuego que involucra tanques:

- Combatir el fuego desde la máxima distancia o utilizar soportes autónomos para mangueras o pitones reguladores
- Alejarse de inmediato en caso de aumentar el sonido de las válvulas de seguridad o se empiece a decolorar el tanque
- Mantenerse siempre alejado de los extremos de los tanques

#### Primeros Auxilios

- Trasladar a donde se respire aire fresco
- Aplicar respiración artificial si la víctima no respira
- Administrar oxígeno si respira con dificultad
- Quitar la ropa y calzado contaminados
- En caso de contacto con el material, enjuagar inmediatamente la piel y los ojos con agua por lo menos durante 15 minutos
- Mantener a la víctima abrigada y en reposo
- Obtener asistencia médica de inmediato
- Los efectos por contacto o inhalación pueden ser retardados
- Asegurarse que el personal médico tenga conocimiento de la identidad del producto en cuestión

#### Información sobre peligros para la salud

- Los efectos sobre los seres humanos, son desde lesiones leves hasta lesiones graves con formación de cicatrices
- Si se ingiere casi siempre causa la muerte
- La acción directa sobre la piel (en contacto con cualquier parte del cuerpo) destruye los tejidos por acción química causando quemaduras dolorosas debido a la deshidratación y carbonización de la materia orgánica
- La inhalación de los vapores y neblinas cuando se le calienta, causa tos, sensación de ahogo, dolor de cabeza y falta de aire. La exposición prolongada a los vapores y neblinas ácidas pueden causar erosión de los dientes seguida de necrosis maxilar
- Los efectos sobre los animales, pueden ser desde simples lesiones hasta causarles la muerte.

#### Equipo de Protección Personal

- Mascarilla con cartucho para retener vapores y neblina ácida
- Lentes de seguridad y careta para prevenir salpicaduras
- Guantes resistentes al ácido, ropa y calzado antiácido

## Procedimiento de Primeros Auxilios

### ACIDO INGERIDO

#### *Medidas de Urgencia*

- A. No usar lavado gástrico
- B. Diluir el ácido. El ácido ingerido debe ser diluido en segundos mediante la ingestión de cantidades de agua o leche. Si el vómito es persistente. El ácido ingerido, debe ser diluido aproximadamente 100 veces para hacerlo inefectivo para los tejidos
- C. Para aliviar el dolor, administrar sulfato de morfina, de 5 a 10 mg. cada cuatro horas, según sea necesario. Evitar la depresión del sistema nervioso central.

#### *Medidas Generales*

- A. Tratar la asfixia debido a edema gótico, manteniendo una vía de área adecuada
- B. Mantener la presión arterial dentro de los límites normales mediante transfusiones y la administración de dextrosa a 5% en solución salina
- C. Si los síntomas son intensos y se sospecha que exista perforación del esófago o el estómago, no administrar nada por vía bucal hasta haber hecho el examen endoscópico
- D. Mantener la nutrición administrando 400 gr. de carbohidratos vía intravenosa diariamente.

### CONTACTO OCULAR

#### *Medidas de urgencia*

- A. Diluir el ácido. Inundar el área afectada con abundante cantidad de agua en una ducha o mediante un surtidor de agua especial para el lavado ocular, por lo menos durante 15 minutos. Los párpados deben ser separados durante el lavado
- B. No usar antidotos químicos. El calor liberado en la reacción química puede realmente incrementar la lesión.

#### *Medidas Generales*

Las quemaduras oculares, requieren atención inmediata de un oftalmólogo; si no se puede localizar inmediatamente al oftalmólogo, aplicar vendajes estériles sobre los ojos sin ninguna medicación, aliviar el dolor mediante la administración generalizada de analgésicos.

## CONTACTO CUTANEO

### *Medidas de Urgencia*

A. Usar medidas de reanimación respiratorias.

B. Tratar el edema pulmonar. la administración de prednisona, de 0.5 a 1.0 mg/kg por día vía intravenosa cada 4 horas, puede ser útil para tratar el edema pulmonar.

C. Tratar la neumonía con quimioterapia para organismos específicos.

### *1.4.6 Fuga o Derrame*

- Eliminar todas las fuentes de ignición
- No se toque el material derramado
- Detener la fuga en caso de poder hacerlo sin riesgo
- Rociar con agua para reducir vapores o desviar la nube de vapor
- No introducir agua a los contenedores
- Represar para evitar su introducción a vías pluviales, alcantarillas, sótanos o áreas confinadas
- Solicitar asistencia para su disposición.

### *1.4.7 Datos Ecológicos*

El diseño de los sistemas de tratamiento de los efluentes líquidos y gaseosos se apegará a la normatividad mexicana de emisiones de fuentes estacionarias de acuerdo a su objetivo de control<sup>10</sup>.

#### *Objetivo a Controlar:*

Fuente Estacionaria Específica:

Plantas productoras de ácido sulfúrico  
NORMA TECNICA NTE-CCAT-001/88

Combustión de gas natural  
NORMA TECNICA NTE-CCAT-008/88

NORMA TECNICA ECOLOGICA (31 DE DICIEMBRE DE 1991)

Que establece lo siguiente:

Límite de Azufre en el combustible líquido (Máximo permisible el 2% en peso de Azufre en el combustible líquido).

---

<sup>10</sup> pag. 38 (30)

*NORMAS TECNICAS ECOLOGICAS PARA EMISIONES CONTAMINANTES  
PROVENIENTES DE LAS DESCARGAS DE:*

Industria de refinación de petróleo      NTE-CCA-003/88  
Crudo, sus derivados y petroquímica  
básica.

Industria de Fabricación de      NTE-CCA-004/88  
fertilizantes, excepto las que  
produzcan ácido fosfórico como  
producto intermedio

Industria de hierro y acero      NTE-CCA-013/88

Industria Textil      NTE-CCA-014/88

Industria de la celulosa y papel      NTE-CCA-015/88

Industria de acabados metálicos      NTE-CCA-017/88

Industria de jabones y detergentes      NTE-CCA-030/91

Descarga de aguas residuales a los      NTE-CCA-031/91  
sistemas de drenaje y alcantarillado  
urbano o municipal, provenientes de  
la industria o de los servicios de  
reparación, mantenimiento automotriz  
gasolinera, tintorería, revelado de  
fotografías y el tratamiento de agua  
residual

Procesos de combustión de Diesel      NTE-CCAT-005/88  
en fuentes fijas.

## CAPITULO II Estado del arte de las Tecnologías

### 2.1 Evolución de las tecnologías

Haciendo un poco de historia, el ácido sulfúrico se forma en la naturaleza por la oxidación y descomposición química de compuestos de azufre. El efecto de la intemperie sobre restos de hulla o disulfuros de hierro, así como, sobre los desperdicios de las minas de carbón, conduce a la formación de ácido sulfúrico. También lo producen las bacterias en las aguas termales sulfurosas. En la atmósfera se forma por la oxidación del dióxido de azufre que se desprende la combustión de la hulla, del petróleo y otras sustancias. Se origina además por la descomposición química resultante de los cambios geológicos.

En tiempos remotos, el ácido sulfúrico probablemente se obtenía destilando nitro (nitrato de potasio) con vitriolo verde (sulfato ferroso heptahidratado). La fuente de vitriolo verde, eran piritas de hierro sometidas a la acción de la intemperie. Se cree que fue en 1740 cuando el ácido sulfúrico se preparó por primera vez. En Inglaterra, quemando azufre en presencia del salitre (nitrato de potasio) en un matraz redondo. Los vapores se combinan con agua para formar el ácido, que se condensaba en las paredes del recipiente. En 1746, el matraz de vidrio se reemplazó por una caja o cámara forrada de plomo, lo que dió lugar al nombre de "cámaras de plomo". Gay-Lussac en 1827, y Glover en 1859, modificaron la circulación de los gases del proceso, añadiendo torres, que en la actualidad se conocen como torres de Gay-Lussac y de Glover. Estas torres permiten recuperar en los gases de salida de los óxidos de nitrógeno esenciales para una operación económica del proceso de cámaras. Hoy en día la mayor parte del ácido sulfúrico se fabrica con el proceso de contacto, que está basado en tecnologías científicas desarrolladas después de 1900.

La compañía alemana BASF construyó en 1898 en E.U.A., una planta de contacto que fue la primera en operar con éxito. En 1900 la General Chemical erigió una planta de contacto quemando pirita en hornos Herreshoff.

Los métodos de obtención de Acido Sulfúrico se clasifican en primer lugar atendiendo a la materia prima de la que parten. En esta clasificación se distinguen especialmente dos grandes grupos. Los que parten del Azufre, los cuales generalmente lo utilizan en forma líquida, y aquellos que usan como materia prima compuestos de Azufre, ya que se han aprovechado subproductos de otras plantas, o bien utilizando estos compuestos tal como se extraen de las minas.



A continuación se da un cuadro de los principales procesos atendiendo a las materias primas usadas.

Tabla 2.1 Principales procesos

	Materias Primas	Producto
	Azufre Gases de Fundición Sulfatos	Acido Sulfúrico
Sulfuro de Fierro Sulfuro de Cobre Sulfuro de Zinc	Sulfuros Minerales	
	Sulfuro de Hidrógeno Sedimentos de Refinerías	

Indudablemente la más importante obtención es a partir del Azufre puro, y sobre todo en países como México donde éste es abundante. El resto de los métodos, se emplea generalmente por una o las dos razones que a continuación mencionamos.

1. Para aprovechar residuos de alguna producción obteniéndose el ácido como subproducto. Caso típico son las plantas beneficiadoras de Zinc o Cobre en las que, en el proceso de flotación se separan los sulfuros.

2. Por no encontrarse Azufre puro, o por ser su extracción incosteable, en cuyo caso se encuentran países como Francia, España, Alemania, etc.

La segunda clasificación atiende al proceso seguido para la obtención del Acido. En esta clasificación se distinguen dos métodos:

- i) Método de las Cámaras
- ii) Método de Contacto

El proceso de las Cámaras, prácticamente se encuentra fuera de uso, pues resulta negativo desde el punto de vista económico, y es así que, en los últimos 10 años podemos observar que el porcentaje de nuevas plantas con este método, no llega por lo menos al 1% del total de plantas montadas durante este período.

Otros métodos para la obtención de ácido generalmente se instalan para aprovechar gases industriales los cuales son

nocivos para las poblaciones. Algunos de estos procesos son Térmicos. En donde, los Sulfatos de los metales fuertemente electropositivos se descomponen por calor con mucha dificultad, el Trióxido de Azufre sin embargo, puede ser liberado si dichos sulfatos de metales básicos, pueden ser descompuestos con mayor facilidad, por ejemplo el sulfato Férrico; los sulfatos de Fierro se obtenían exponiendo piritas de aire húmedo, la sal, así oxidada, era secada y calentada, y los humos de Trióxido de Azufre eran absorbidos en agua.

Existe una variante al proceso en el cual se trata de recuperar el ácido de soluciones agotadas; el cual consiste en quemar corrientes de ácido sulfúrico (del 20 al 65% en peso), para la producción de dióxido de azufre; una vez elaborado y purificado seguir con el método que normalmente se emplea (método de contacto).

La escasez de Azufre en Alemania durante la primera Guerra Mundial, obligó a los técnicos de dicho país a pensar en un método de obtención usando Sulfato de Calcio en forma de Anhídrido. Este método en su expresión más refinada se encuentra en: Alemania, Inglaterra, Francia, Polonia y Australia.

Desde el nacimiento de la industria a mediados del siglo XVIII hasta la década del presente siglo, este tipo de industria era intolerablemente sucia y contaminante, debido a que arrojaba al ambiente grandes cantidades de dióxido de azufre, neblina de ácido sulfúrico y óxidos de nitrógeno.

Con el método de contacto introducido en los años 20's se tuvo una solución para este problema. Los óxidos de nitrógeno fueron reemplazados por varias capas de catalizadores sólidos, cuya eficiencia es tal que sólo permanece el 2% de azufre como dióxido de azufre, y el producto con que se obtiene es con una concentración superior al 98% para producir a gran escala. Este proceso es limpio y eficiente por lo que permaneció fundamentalmente sin cambio por casi 30 años, hasta que en los años 60's la Industria Química trató de mejorar el proceso logrando una eficiencia arriba del 98%, que es el límite superior permitido por las limitaciones propias de la cinética de la reacción en la conversión del dióxido a trióxido de azufre. Este se logró por medio de la técnica de la doble absorción o también llamada doble contacto.

En cuanto a la parte técnica de el proceso se hicieron modificaciones en el número de camas y la separación entre ellas. Otra alternativa de cambio se encontró en el mejoramiento del equipo de transmisión de calor.

Un gran avance tecnológico llegó en 1982<sup>11</sup> en el sistema Monsanto Environ Chemis Heat Recovery (HRS) el cual se diseñó para recobrar el 95% del calor de proceso como vapor. También se descubrieron bajas tasas de corrosión de los aceros inoxidable de tipo comercial frente al ácido sulfúrico arriba de la operación de 98%.

Un avance mayor fue al combinar las tecnologías HRS y la de Catálisis Húmeda; en este nuevo proceso, todo el calor de proceso, es recuperado en forma de vapor.

Las plantas de ácido sulfúrico de éxito en el futuro, serán las que se encuentren en la generación de la máxima cantidad de energía eléctrica. En este nuevo proceso de Monsanto una planta de 2500 t/d exporta al menos 32 MW de electricidad.

## 2.2 Procesos

El ácido sulfúrico, es uno de los productos químicos más importantes para la industria química.

Debido a sus propiedades físicas, químicas y su bajo costo, es un insumo de uso muy generalizado y de difícil sustitución.

Básicamente, la producción de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), incluye la generación de dióxido de azufre ( $SO_2$ ) y la hidratación de éste para la formación de ácido.

Los principales procesos de producción son los siguientes<sup>12</sup>:

- I. Proceso de las cámaras de Plomo
- II. Proceso por el método de Contacto
- III. Proceso de gas-húmedo o de recuperación de ácido sulfúrico a partir de soluciones agotadas.

### 2.2.1 Proceso de las Cámaras de Plomo

En este proceso, se puede usar como materias primas el azufre o la pirita, los cuales se queman en hornos para producir el dióxido de azufre, al combinarse con el oxígeno del aire. El abastecimiento de aire se regula cuidadosamente por medio de puertas corredizas por encima y debajo de las capas del material a quemar. Los gases calientes son conducidos a través de la cámara de combustión, la cual también actúa como filtro, ya que colecta polvos que arrastran los gases, debido a las impurezas que pudiera contener el azufre.

---

<sup>11</sup>(29)

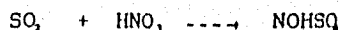
<sup>12</sup> pag. 10 en adelante (38)

La mezcla gaseosa, penetra a la torre de Glover, una torre baja, de plomo recubierta con ladrillo resistente a los ácidos, en donde se enfría al recibir un baño de ácido sulfúrico. Ácido que viene de la torre de Gay Lussac, la torre de Glover desempeña de esta manera tres funciones:

- A. Enfriar los gases que van a las cámaras de plomo, porque a la temperatura a que están, fundirían el plomo de las cámaras
- B. Quitar los óxidos de nitrógeno que lleva el ácido
- C. Concentrar el ácido alrededor de 78% de  $H_2SO_4$  para la venta o para usarlo en la torre de Gay Lussac, y al mismo tiempo suministrar parte del vapor de agua para las cámaras. Alrededor del 25 por ciento del ácido total fabricado se forma por las reacciones de la torre de Glover.

Los vapores que entran en la primera cámara están formados de  $HNO_3$ , de  $SO_2$  y vapores de agua; en dicha cámara reaccionan el ácido nítrico y el dióxido de azufre, formando un compuesto que lleva el nombre de sulfato de ácido de nitrosilo ( $NOHSO_3$ ), cuerpo sólido que se conoce como los cristales de las cámaras de plomo.

La reacción se puede suponer como sigue:



el compuesto formado reacciona con el vapor de agua formándose el ácido sulfúrico y el ácido nitroso:



los gases de la última cámara contienen nitrógeno; un poco de oxígeno del nitrógeno se encuentra en circulación por la planta, e indicios de dióxido de azufre. Pasa a la torre de Gay Lussac, una torre cubierta de plomo y mantenida con el ácido frío de la torre Glover.

La función de la torre de Gay Lussac es la de recuperar los óxidos de nitrógeno (que actúan como catalizador) a partir de los gases de salida de las cámaras. Estos son absorbidos produciendo vitriolo nitroso que contiene ácido nitrosulfúrico equivalente de 1 a 2 por ciento de  $H_2O$  y que se bombea a la torre de Glover para su desnitrificación. El gas de desperdicio de la torre de Gay Lussac pasa a una chimenea o ventilador que mantiene una corriente de aire a través de todo el proceso. En la práctica moderna se usa una alta concentración de óxidos de nitrógeno (nitro circulante) con una capacidad de absorción adecuada en las torres de Gay Lussac, y la reacción continúa rápidamente pero con un mayor desgaste de las cámaras de plomo. La conversión del dióxido de azufre a ácido sulfúrico alcanza hasta un 98%.

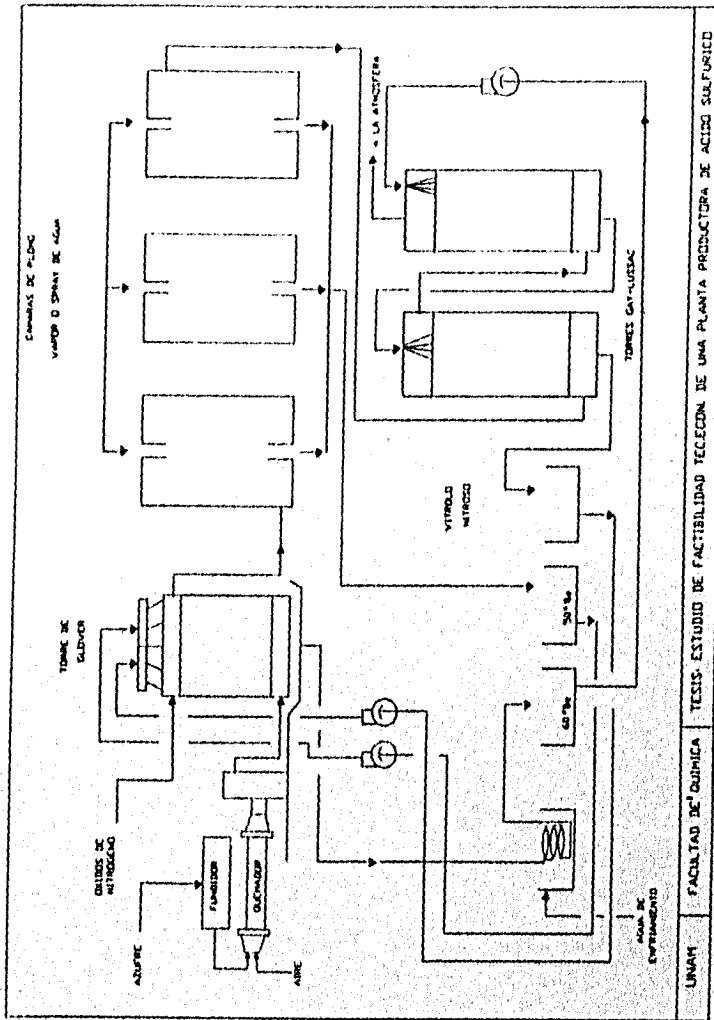


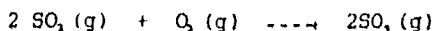
Figura 2.1 Diagrama del Proceso de las Cámaras de Plomo

### 2.2.2 Proceso por el Método de Contacto

El proceso de formación del ácido sulfúrico por el proceso de contacto es de la siguiente manera: La patente señala que el dióxido de azufre mezclado con oxígeno o aire, se hace pasar sobre el platino caliente, con lo que el dióxido se convierte rápidamente en trióxido, que se disuelve en agua para obtener ácido sulfúrico.

La demanda de un ácido sulfúrico más concentrado que el que podía obtenerse con el proceso de cámaras de plomo estimuló el desarrollo de este proceso.

El corazón de la planta de contacto<sup>13</sup> para ácido sulfúrico es la unidad que convierte catalíticamente el dióxido de azufre de acuerdo a la siguiente reacción:



Puesto que la reacción es exotérmica, la conversión se favorece a bajas temperaturas. Sin embargo, se requiere un catalizador; lo que se utilizó fue el platino, pero resultaba muy sensible a venenos, por lo que en la actualidad se usan catalizadores de vanadio en varias formas, combinados con activadores.

Las plantas de contacto también se clasifican en base al material empleado; en la producción, del dióxido de azufre que se alimenta a la planta, esto es, azufre, sulfuro de hidrógeno, yeso, piritas de hierro, gas de fundición o ácidos de lodos de desperdicio.

Este es el método más moderno por el cual se obtiene ácido sulfúrico concentrado y muy puro<sup>14</sup>.

Este método consta principalmente de los siguientes pasos:

- A. La combustión de azufre a dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )
- B. La combinación del dióxido de azufre con oxígeno para formar el trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ )
- C. La combinación del trióxido de azufre con agua para formar una solución, conteniendo aproximadamente el 98 % en peso de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

Como se indicó anteriormente, la primera etapa en el proceso es la combustión del azufre. El azufre es fundido a una temperatura de 134-135°C para eliminar la humedad, quedando además prácticamente libre de cualquier impureza sólida. (Si no

---

<sup>13</sup> (37)

<sup>14</sup> (38)

es eliminada la humedad, conduce a problemas de corrosión en el proceso). Frecuentemente el ácido sulfúrico purificado y fundido es bombeado a un quemador de azufre donde el aire eliminado por el soplador; sirve para la quema, convirtiéndolo en dióxido de azufre.

Antes de entrar al quemador, el aire es pasado por un filtro donde le es eliminado el polvo. El aire de combustión pasa por una torre de secado, en donde es lavado con ácido sulfúrico de 98 a 99% de concentración en un sistema de contra corriente y a una temperatura óptima de 32 a 49°C, con objeto de eliminar la humedad que el aire contenga para que no lleve problemas al proceso.

El aire seco entra al quemador de azufre, en él, sólo una parte del oxígeno del aire, se usa para combinarse con el azufre. La composición del gas de salida varía de acuerdo con la proporción de aire y de azufre empleados, pero en promedio contiene de 9 a 11% de dióxido de azufre.

Si la materia prima es un mineral de sulfuro, el equipo puede incluir tostadores, unidades de sintetización, convertidores de cobre, hornos de reverbero, unidades de fundición instantánea, etc.

El gas de tostación contiene de 7 a 14 % de SO<sub>2</sub>, y el que proviene de unidades de sintetización rara vez contiene más del 8%. Los gases de operaciones metalúrgicas están contaminados con polvos, agua y otros vapores, así como impurezas sólidas que deben eliminarse con colectores de polvo de ciclón, precipitadores electrostáticos de polvos y neblinas o torres lavadoras de gases. Después de este proceso es necesario secar el gas. El lavado de gases metalúrgicos suele producir un enfriamiento excesivo, por lo que se requiere recalentarlos antes de entrar al convertidor. La temperatura específica de los gases de entrada a el convertidor depende de la cantidad y calidad del catalizador y de la composición y flujo del SO gaseoso pero casi siempre es un poco superior a 430°C.

El dióxido de azufre formado pasa a un convertidor en el que se produce la conversión catalítica de dióxido de azufre a trióxido de azufre. El convertidor consta de una serie de soportes perforados, cubiertos con pentóxido de vanadio.



El trióxido de azufre pasa del convertidor a un enfriador y luego por una serie de torres de absorción. Aquí, el gas burbujea a través de anillos de empaque por los que circula ácido sulfúrico del 98% en peso. El trióxido de azufre es más soluble en ácido sulfúrico, que en agua. El ácido concentrado disuelve al



trióxido de azufre para formar oleum, o ácido piro sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), que se añade al agua para que de esta manera se obtenga el ácido sulfúrico de la concentración deseada.

Una modificación moderna de la planta de contacto, es que se desarrolló para reducir la emisión de  $SO_2$ , con lo que los gases de salida incluyen dos etapas de absorción. Debido a las condiciones de los equilibrios químicos es posible obtener eficiencias de conversión superiores al 98% en las plantas que usan una sola etapa de absorción.

En lugar de descargarse en forma directa a la atmósfera como sucede en las plantas de una sola unidad de absorción, los gases que salen de la primera torre pasan a un intercambiador de calor en el que se recalientan a  $430^\circ C$  antes de volver a entrar a el convertidor. Aquí pasan a través de un catalizador adicional, se enfrían y fluyen por una segunda torre de absorción antes de descargarse en al atmósfera. La conversión total de  $SO_2$  a  $SO_3$  puede ser superior a 99.5%. La segunda etapa de conversión puede consistir en una o dos charolas de catalizador. El economizador de la primera etapa puede sustituirse por un intercambiador de calor, usando dicho economizador para enfriar los gases de la última etapa. Es evidente que existen muchas variaciones posibles para aumentar la productividad.

### 2.2.3 Proceso del Gas Húmedo o de Recuperación

También llamado método de recuperación de ácido sulfúrico a partir de soluciones agotadas; la planta que manufactura el ácido sulfúrico es conocida como planta de gas-húmedo<sup>15</sup>.

El horno de combustión de las plantas de gas húmedo es usado para quemar  $H_2S$ , disociar soluciones de ácido sulfúrico agotadas y también para oxidar el azufre.

Este proceso, consiste en quemar el sulfuro de hidrógeno y de soluciones agotadas de ácido sulfúrico (del 20 al 65%), para la producción de dióxido de azufre y una vez elaborado y purificado, seguir con el método de contacto para la producción del ácido sulfúrico.

El procedimiento común para las plantas de gas húmedo situadas en las refinerías de petróleo consiste en quemar simultáneamente el ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ), azufre fundido y el ácido sulfúrico impuro proveniente de los procesos de aquilación en dichas refinerías pudiendo también existir una planta de este tipo que sólo empleara  $H_2SO_4$  de desecho. En la planta de gas húmedo, el  $H_2S$  gaseoso saturado con vapor de agua, es cargado al quemador junto con aire atmosférico, espreadose de manera simultánea el ácido de desecho (y si existiese también el azufre

---

<sup>15</sup> (37)



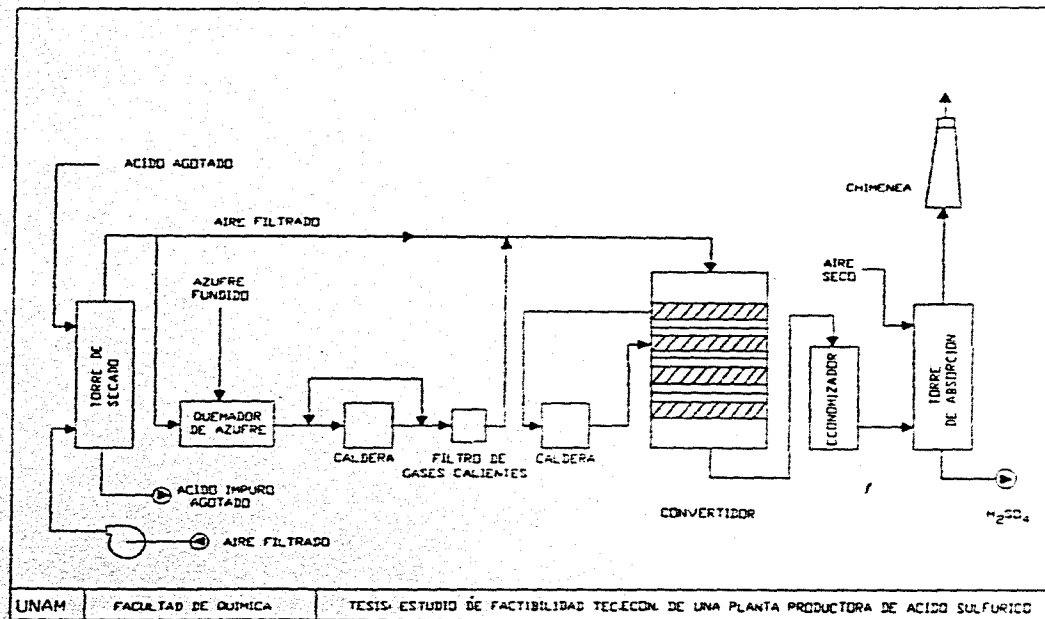


Figura 2.1 Diagrama del Método de Contacto

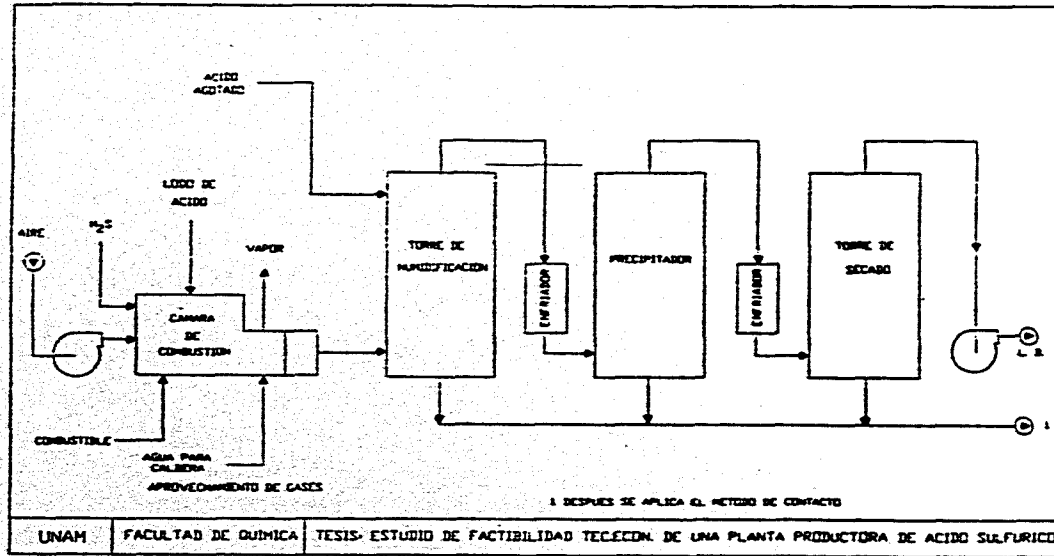


Figura 2.1 Diagrama del Método de Recuperación

fundido). El  $\text{SO}_2$  formado junto con los demás productos de combustión es luego enfriado y tratado para eliminación de la niebla. El gas puede ser enfriado por una caldera de aprovechamiento del calor de los gases de combustión o por una torre apagada, seguida de enfriadores de tipo ascendente de aire.

La niebla formada puede ser eliminada por un precipitador electrostático y la humedad es eliminada de la corriente de  $\text{SO}_2$  y aire, con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  en la torre de secado, en donde un soplador centrífugo hace succión sobre la torre y descarga el  $\text{SO}_2$  seco junto con el aire del convertidor; el balance del proceso de gas húmedo, es esencialmente el mismo que para el discutido previamente.

Una planta de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  bien diseñada, opera con una conversión del 90 al 96% del azufre alimentado a ácido producido.

### **2.3 Ventajas y Desventajas**

#### **Cámaras de Plomo**

##### **Desventajas:**

- El amoníaco que se utilizaba en este proceso, que se transformaba en óxidos de nitrógeno en forma gaseosa, era arrojado al ambiente, lo cual contribuía a un alto índice de contaminación.

- Las reacciones en las cámaras generan mucho calor, el cual debe ser eliminado continuamente si la producción de ácido quiere ser mantenida aumentando los costos en servicios auxiliares para enfriamiento además del requerimiento de más equipo.

- El ácido sulfúrico obtenido como producto tiene una pureza del 78%, la cual resulta ser muy baja o de poca calidad comparada con la obtenida por los otros procesos.

- La conversión del dióxido de azufre no es completa puesto que se utilizan como catalizadores los óxidos de nitrógeno, los cuales son absorbidos produciendo vitriolo nitroso que contiene ácido nitrosulfúrico.

- El catalizador original que se utilizaba era platino, el cual es muy costoso; también se utilizó como catalizador una base formada por platino y rodio lo cual aumentaba los costos.

- Debido a la distribución que debían llevar las cámaras de plomo, la disipación del calor era lenta y además algunas de las reacciones presentaban baja velocidad de reacción, siendo requerido un mayor espacio entre las cámaras, para evitar este inconveniente el cual implica un aumento en el costo.

#### *Ventajas:*

- No es necesario el uso del ácido sulfúrico en el arranque de la planta aventajando a los otros dos procesos en los cuales es necesario comprar ácido sulfúrico para su arranque.
- Bajo costo de materias primas.
- Se cuenta con un suministro constante de óxidos por la disposición del proceso.
- Existen bajos costos de operación debido a la simplicidad del proceso.
- El equipo empleado tiene una mayor vida y requiere un menor mantenimiento.
- No hay subproductos.
- Las plantas que operan por el método de cámaras de plomo pueden ser cambiadas al método de contacto incrementando poco equipo y así alcanzando un mayor porcentaje de pureza.

#### **Método de Contacto**

##### *Desventajas:*

- Si no es eliminada la humedad conduce a problemas de corrosión en el proceso lo cual incrementa los costos de mantenimiento del equipo y frecuentemente el ácido sulfúrico humea a la salida de la chimenea en la planta.
- Al no dar un tratamiento previo a la materia prima para eliminar las impurezas que trae consigo, se provocan caídas de presión que minimizan la producción del ácido sulfúrico.
- Se limita, por los pequeños intervalos en las condiciones de operación, los cuales si son excedidos se tienen problemas de eficiencia en el proceso; por ejemplo en el sistema a contracorriente sino se mantiene a una temperatura dentro del rango de (32-49°C) para eliminar la humedad que el aire contenga, para evitar futuros problemas al proceso.
- Requiere de un enfriamiento constante entre una etapa y otra, cambiando el tipo de equipo requerido para cada uno de los enfriamientos.

- El fundidor de azufre no es 100% eficiente en la eliminación de cenizas, el gas contendrá pequeñas trazas de polvo material que por otra parte también puede venir de los ladrillos refractarios con que cuenta el quemador, por lo cual será necesario pasar el gas a través de un filtro de gases calientes para la eliminación de la mayor cantidad de polvo que sea posible.

- El ácido sulfúrico se llega a contaminar con los óxidos de Hierro, debido a la corrosión aunque en cantidades mínimas.

- El  $\text{SO}_2$  producido en el convertidor aunque adecuadamente enfriado, no se combinará con el agua directamente, pero sí indirectamente mediante la absorción de ella en el ácido sulfúrico efectuándose esta operación en la torre de absorción.

#### *Ventajas:*

- La torre de secado, en la parte superior tiene un eliminador de niebla localizado justo abajo de la salida del aire, minimizando por lo tanto el acarreo de niebla ácida, al quemador de azufre.

- El empleo del filtro a la salida del fundidor para los gases nos permiten dar mantenimiento a un sólo equipo en lugar de tener que limpiar toda la planta.

- El convertidor contiene varias capas de catalizador, el cual acelera la reacción química dando lugar a una velocidad de reacción muy superior a la que tendría si no se hubiera empleado dicho catalizador ( $V, Q$ ); el cual, cabe mencionar, no se ve afectado por dicha reacción exotérmica.

- Se logró una integración térmica al aprovechar las corrientes de vapor generadas en las calderas de recuperación de calor.

- La eficiencia de la tecnología empleada es del 98% de conversión de la materia prima empleada, lo que representa una producción para una capacidad de 600 Ton/día, de 9890 Kgmol/día, para un factor de servicio de 0.92.

#### **Método de Recuperación**

##### *Desventajas:*

- Depende de la humedad del ambiente para la mayor hidratación de la niebla formada en la torre absorbadora.

- Requiere de una concentración del 98.5% del ácido en el absorbedor para incrementar la presión parcial de:  $SO_2$ , y lograr una mayor conversión del ácido sulfúrico.

- El enfriamiento prematuro de los gases de proceso, provoca la formación de una niebla con una gran cantidad de humedad disminuyendo la eficiencia de la torre absorbedora.

- Como las partículas de  $SO_2$ , son muy pequeñas es muy difícil su control de contaminación en el aire.

#### **Ventajas:**

- Es una alternativa ecológica para la recuperación del ácido en aguas de desecho de diferentes procesos.

- El empleo de poco equipo en la recuperación del ácido permite su integración en procesos, donde se tiene el espacio físico.

- Aprovecha los compuestos tóxicos que anteriormente arrojaban al ambiente en forma de Gases.

- Para aprovechar residuos de alguna producción obteniéndose el ácido sulfúrico como subproducto, caso típico el de las plantas rectificadoras de zinc en las que, en el proceso de flotación se separan los sulfuros.

- Cuando no se cuenta con azufre puro, o porque su extracción es incosteable o simplemente porque es una alternativa para recuperar la materia utilizada. Se emplea este tipo de proceso el cual es una buena alternativa por ejemplo en países de Europa tales como Francia, Alemania, España, etc.

#### **2.4 Pre-selección de una Tecnología**

Existen diferentes diseños de plantas para la fabricación del ácido sulfúrico con el método de contacto. En E.U.A., las plantas se conocen con el nombre del constructor o del diseñador, por ejemplo, planta Chemical Construction (Chemico), planta Leonard-Monsanto o planta Wellman-Lord.

Las principales tecnologías se describen abajo:

A) **Sistema Monsanto:** Fue creado en 1982, este sistema se diseñó para recobrar el 95% del calor de proceso como vapor, la base de la tecnología fue el descubrimiento de la sorprendente baja en la tasa de corrosión en los aceros inoxidable de tipo comercial frente al ácido sulfúrico; arriba de la operación

normal del 98%, en este proceso la concentración del ácido cuando deja la torre de absorción se mantiene rigurosamente entre el 99 y 100%; a esta concentración el equipo de acero inoxidable se corroe a una tasa muy baja, a las temperaturas de operación (190-200°C), las cuales son suficientes para generar vapor a presión mediana de 10.02E4 Kg/cm<sup>2</sup> (10 Bar).

En la combinación del proceso Monsanto y el proceso de catálisis húmeda, esencialmente todo el calor de proceso es recuperado en forma de vapor, lo cual elimina la necesidad de agua fría en la planta. Esta tecnología es la base de varias patentes pendientes.

B) *Chemico*: Este proceso consiste en un soplador que alimenta aire a una torre de secado, en donde se elimina al máximo la humedad del aire, el aire ya seco es alimentado a un horno que puede ser vertical u horizontal. En el horno también es alimentado el azufre que al reaccionar con el oxígeno del aire formará el dióxido de azufre. Los productos gaseosos de la combustión, son pasados a una caldera recuperadora de calor, posteriormente pasan a un filtro de gases calientes, para después pasar a la sección de conversión del dióxido de azufre a trióxido de azufre; debido a que la reacción es exotérmica se hace necesario enfriar de nuevo los gases en una segunda caldera de recuperación de calor, pasando al segundo lecho catalítico. A la salida del convertidor los gases son enfriados en un economizador, para pasar a la sección de absorción del trióxido de azufre a ácido sulfúrico.

La tecnología a utilizar en este proyecto será la de contacto y dentro de ella se utilizará el proceso *Chemico*, debido a que es uno de los métodos más usados dentro de este tipo de industrias; ya que en la literatura se encontró que estas plantas son más baratas y más fáciles de operar, además de contar con una mayor disponibilidad de información comparada con otros métodos (*Monsanto*).

#### 2.4.1 Descripción de la Tecnología

Las reacciones que se llevan a cabo son las siguientes:



La primera etapa en el proceso es la combustión de azufre.

Tabla 2.2 Comparación de Tecnologías

Tecnologías	A	B	C
Información Disponible	4	3	1
Claridad de lo Disponible	5	3	2
Materia Prima	1	4	4
Cantidad de Equipos	3	4	2
Equipos Críticos	1	4	4
Rendimiento	2	4	4
Costos	3	5	2
TOTAL	17	27	19

Escala: Deficiente (1). Normal (2). Bueno (3). Muy Bueno (4). Excelente (5)  
 A Tecnología Camaras de Plomo  
 B Tecnología Método de Contacto  
 C Tecnología Método de Recuperación



El azufre es fundido a una temperatura de 134°C para eliminar impurezas sólidas. Esto se hace para evitar problemas de corrosión en el proceso. El azufre purificado y fundido, es bombeado a un quemador de azufre donde el aire alimentado por el soplador sirve para la quema, convirtiéndolo en SO<sub>2</sub>.

Antes de entrar al quemador el aire es pasado por un filtro donde se elimina el polvo y el aire es manejado por un ventilador de una sola etapa. Los gases de combustión se pasan a una torre de secado, en donde son lavados con ácido sulfúrico de 98 a 99% de concentración, a una temperatura óptima de 32 a 49°C con el objeto de eliminar la humedad en el aire.

La temperatura de los gases de la torre de secado es muy alta y se encuentra en proporción a la fuerza del gas.

En la segunda parte el SO<sub>2</sub> se combina con parte del O<sub>2</sub> remanente para formar el SO<sub>3</sub>, pero en esta etapa el gas es requerido a una temperatura inferior a la que tenía que salir del quemador, por lo que es necesario enfriar dicho gas por medio de una caldera de gases de desecho, la cual se encuentra instalada a la salida del quemador, reduciendo la temperatura aproximadamente a 427°C.

Debido a que este proceso no es 100% eficiente, el gas tendrá pequeñas trazas de polvo, por lo que se pasa a través de un filtro de gases calientes.

El convertidor tiene varias capas de catalizador, el cual acelera la reacción química. Los gases que salen de este convertidor pasan a través de un economizador, el cual los enfría hasta 454°C, calentando así el agua que irá al tanque de alimentación de la caldera. Un enfriamiento adicional tiene lugar en el ducto del gas con objeto de que estos lleguen a una temperatura adecuada para una buena absorción del SO<sub>3</sub>. El grado de enfriamiento dependerá del hecho de que sea producido o no oleum o ácido sulfúrico fumante. La conversión total del SO<sub>2</sub> a SO<sub>3</sub> en el convertidor es aproximadamente el 98%.

El ácido suministrado a las dos torres se ve diluido en la torre de secado por el vapor de agua que se le ha quitado al aire, mientras que el de la torre de absorción es más concentrado, ya que el SO<sub>3</sub> ha absorbido el agua.

## **2.5 Cogeneración**

### **2.5.1 Introducción**

En muchas industrias de diferentes ramas se utiliza no sólo energía eléctrica, sino también, calor para su proceso de producción cuyo agente más común es el vapor de agua.

Las únicas empresas que cogeneraban (en los 70's) eran aquellas que utilizaban como combustible desperdicios de su proceso productivo, haciendo de esta manera más económica la generación de energía eléctrica.

Una de las razones por las que los sistemas iniciales de cogeneración no fueron del todo costeables es porque funcionaron bajo el concepto de energía total. Esto supone la independencia respecto a la compañía suministradora de energía eléctrica, lo cual ocasionaba una baja eficiencia en la operación ya que como no es posible mantener uniforme la demanda de calor y energía eléctrica y es necesario diseñar una planta que produzca la energía requerida aún en los picos de demanda, esta no operará normalmente a plena carga que es cuando se obtiene la máxima eficiencia.

Las condiciones generales que influyen en la costeabilidad de la cogeneración son:

- Disponibilidad de combustible y/o calor de desecho
- Necesidad de mucho vapor
- Tener equipo sustituible
- Tener una curva anual de utilización que determina la energía anual consumida, lo más horizontalmente uniforme, para ser económicamente conveniente. la planta de cogeneración debe operar a su máxima capacidad.

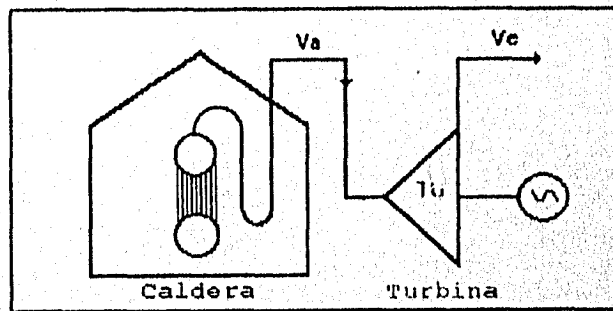


Figura 2.4 Representación de un Sistema Cogenerativo

Por otro lado, los factores que condicionan o determinan la selección del sistema son entre otros:

- El proceso industrial
- Las condiciones climatológicas
- El combustible o fuente de calor disponible
- Las restricciones por contaminación ambiental
- La relación Energía eléctrica-calor a proceso

Entre los beneficios de la cogeneración están:

- Duplica la eficiencia respecto a una planta termoeléctrica convencional.
- Al ser más eficientes reduce la contaminación pues la energía rechazada es menor.
- Reduce los requerimientos de las líneas de transmisión.
- Produce considerables ahorros económicos.

Es importante mencionar que mientras más caro sea el combustible, mayores son los ahorros al emplear un sistema de cogeneración.

En la industria actual, una cantidad importante de energía eléctrica es generada o reemplazada por sistemas de cogeneración instalado dentro de la misma planta. Es entonces la cogeneración, la generación a partir de una fuente energética común de energía eléctrica y de vapor para ser utilizados en la operación de un proceso industrial. Esto se logra generando vapor a una presión sustancialmente superior a la necesaria para el calentamiento del proceso, y sobrecalentando este vapor a una temperatura compatible con el equipo.

Cogeneración es el término empleado para denominar a los sistemas que combinan los procesos térmicos asociados a la producción de energía eléctrica (o mecánica) con otro tipo de procesos térmicos (generación y/o demanda de vapor o calor), utilizando el calor de desperdicio de uno como la entrada de energía del otro". Un sistema cogenerativo en una planta de proceso consiste en el equipo de generación de vapor, provisto de su sobrecalentador, y en la turbina, con extracciones de vapor a una o varias presiones. El vapor de las extracciones está sobrecalentado, por lo cual se instalan usualmente atemperadores, en los que se inyecta agua al vapor, para que el vapor tenga sólo un sobrecalentamiento mínimo.

El vapor sobrecalentado de alta presión (obtenido mediante el calor de combustión del energético primario) atraviesa primero

una turbina, donde se convierte una parte de su exergía<sup>17</sup> en trabajo, y luego al proceso, donde se aprovechará su exergía remanente para fines de calentamiento.

Cuando el vapor que se extrae de la turbina es suficiente para el calentamiento del proceso, pero que no genera la energía eléctrica requerida, se utiliza un turbogenerador con sección de baja presión con condensador (turbo generador de extracción y condensación), para que el vapor adicional que se alimenta y que se condensa, genere la energía eléctrica adicional necesaria.

Cuando el sistema cogenerativo trabaja con condensación, se encuentra a "régimen subproducto vapor".

Cuando el sistema cogenerativo trabaja con eyectores de presión, se encuentra a "régimen subproducto electricidad"

En casos excepcionales, cuando ni se reduce ni se condensa, se tiene un "régimen equilibrado", o "régimen ideal", ya que no se pierde exergía en reducciones (isoentálpicas) ni se pierde calor en condensación. Mientras más se aproxime un sistema cogenerativo al "régimen equilibrado", mayor será el beneficio que se derivará de él.

### 2.5.2 Clasificación

Debido al dispositivo generador, son cuatro los diferentes sistemas de cogeneración:

- De turbina de gas
- De turbina de vapor
- Ciclo combinado
- Motor diesel

En los sistemas de turbina de gas y diesel se utilizan los gases de escape para producir vapor en una caldera de recuperación, aprovechando energía que en los ciclos convencionales se tiraría a la atmósfera.

Los de turbina de vapor, utilizan la energía de vaporización del fluido expandido dentro de la turbina, en el proceso, energía que en una planta común sería tirada al medio ambiente a través del condensador.

La aplicación de cada uno de estos sistemas depende de las necesidades de cada empresa y básicamente de la relación calor/energía eléctrica.

---

<sup>17</sup> Exergía es una energía que es transformable a cualquier otra forma de energía, dentro de las restricciones impuestas por las condiciones del medio ambiente.

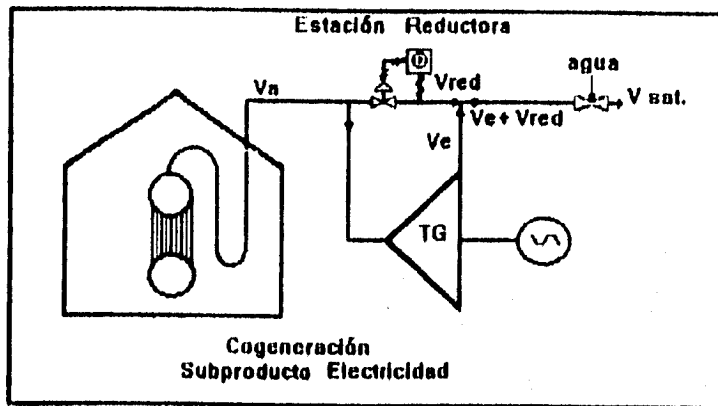


Figura 2.5.a Sistema Cogenerativo con condensación

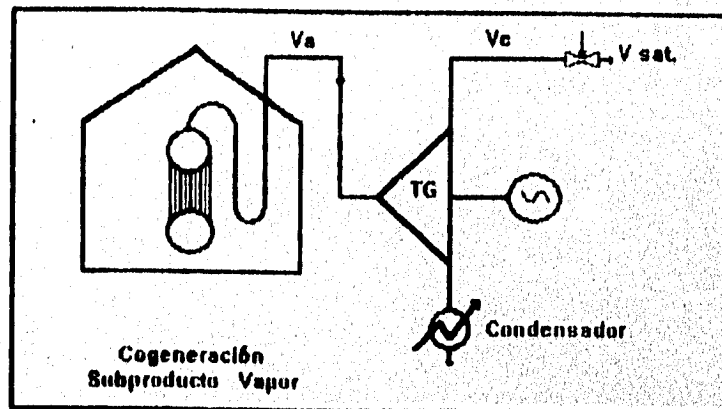


Figura 2.5.b Sistema Cogenerativo con eyectores

La cogeneración también se clasifica según en la forma de utilización de la energía disponible y estos son los ciclos primarios y los ciclos secundarios.

Los *ciclos primarios* utilizan la energía disponible del combustible en generar primero energía eléctrica aprovechando el calor residual para el proceso, mientras que en los *ciclos secundarios* la energía disponible del combustible se utiliza primero en el proceso aprovechando la energía residual para generar energía eléctrica.

La importancia de los ciclos de cogeneración se debe a que permite duplicar la eficiencia del proceso de generación de potencia, por lo que ofrecen un gran potencial para el ahorro de energéticos primarios.

Por su generador de potencia son clasificados los sistemas de cogeneración en ciclos de vapor y ciclos de gas.

#### *Ciclos de Vapor*

Los ciclos vapor empleados en las plantas termoeléctricas y en las industrias de proceso, consisten fundamentalmente de una caldera generadora de vapor de alta presión, una o varias turbinas de vapor, un sistema de condensación y un sistema de retorno de condensado.

Cuando se utilizan como impulsores a las turbinas de vapor, para potencias superiores a 100 Hp tienen un menor costo inicial que los motores eléctricos.

Por las características de las turbinas de vapor se tienen las siguientes ventajas:

- Es posible variar la velocidad de operación, sin sufrir reducción sensible en su eficiencia termodinámica y soportan fácilmente sobrecargas.
- El suministro de fuerza motriz está menos sujeto a fallas imprevistas.
- Ofrecen seguridad absoluta en atmósferas explosivas.

El tipo de turbina que se seleccionará, será de acuerdo a las características del proceso. Las turbinas pueden ser de Impulso (simples o compuestas, dependiendo del número de etapas) o turbinas de reacción. Por las características del vapor descargado se clasifican en turbinas de condensación y turbinas de contrapresión.

Las condiciones de vapor se encuentran generalmente limitadas a 100 Kg/cm<sup>2</sup> y 500°C para turbinas grandes y a 60 Kg/cm<sup>2</sup> y 425°C para turbinas medianas.

Finalmente un ciclo vapor nos ofrece flexibilidad y una confiabilidad muy grandes, permite el máximo aprovechamiento del calor de proceso, reduciendo el consumo de combustible; nos da la máxima recuperación del trabajo aprovechable de la expansión del vapor y por último el vapor generado puede ser exportado a otros procesos dentro de la planta o bien llevado fuera de límites de batería. Algo muy importante de este tipo de sistemas, es que nos ofrecen la gran ventaja de que el proceso puede ser manejado a capacidades reducidas con turbinas de velocidad controlada.

#### *Ciclo de gas*

En este ciclo se utiliza como generador de potencia un motor eléctrico; los cuales muestran dos tendencias claramente definidas: diseños ligeros, que son adaptaciones de las turbinas de aviación y equipos pesados para servicios estacionarios. Las primeras muestran en general mayores eficiencias y las segundas tienen menores problemas de mantenimiento y alcanzan un mayor número de horas de servicio.

Los ciclos de gas son ideales para la producción de energía eléctrica en los picos de demanda, debido a su rápido arranque y a su bajo costo inicial, así como también para estaciones de bombeo y compresión.

Las turbinas de gas son hasta de 50 MWatts de potencia. Se cuentan con diseños disponibles para utilizar diferentes combustibles, como gas natural, gasavión o diesel. Su aplicación fundamental ha sido en la generación de energía eléctrica (50%) y en estaciones de compresión (25%).

El principio de operación de las turbinas de gas es el mismo que el de las turbinas de vapor y consiste en dirigir una corriente de gases calientes de combustión hacia los álabes de un rotor, haciendo girar a éste, generando la potencia suficiente para operar tanto el compresor de aire como el equipo al que debe accionar.

Las turbinas de gas se clasifican en turbinas de un solo eje o turbinas de dos ejes.

Las turbinas de un solo eje operan esencialmente a velocidad constante, pues una reducción en la velocidad de diseño baja rápidamente la eficiencia termodinámica. En las turbinas de doble eje es posible seleccionar la velocidad óptima de operación del compresor de aire independientemente de la velocidad óptima de operación de la carga; y puede tolerar variaciones en la velocidad de operación mucho mayores.

Existen dos criterios para medir el comportamiento de una turbina de gas. El primero, la eficiencia térmica y el segundo criterio es la potencia generada, mientras menor sea la potencia específica de la turbina, mayor volumen de aire será necesario comprimir para su operación y mayor serán sus dimensiones.

La eficiencia del ciclo y la de la potencia están relacionadas con las eficiencias del compresor de aire y del expansor, así como de la relación de compresión y la relación entre la temperatura de los gases de combustión y la temperatura ambiente. Un aumento en la temperatura de los gases admitidos al expansor resultará en un aumento tanto de la eficiencia térmica del ciclo como de la potencia específica.

Las turbinas actuales operan con temperaturas de hasta 950°C. Puesto que el objetivo de la cámara de combustión es aumentar el volumen de los gases expandidos en la turbina, el combustible más eficiente será el que genere un mayor volumen de gases de combustión.

Si la turbina opera un equipo que debe operar con una carga constante, las variaciones debidas al cambio de temperaturas son absorbidas cuando se instala una turbina auxiliar de vapor. Lo mismo ocurre cuando se tienen variaciones en la composición del gas manejado o en general, cuando se tienen variaciones atmosféricas.

Tanto para el ciclo de vapor, como para el ciclo de gas se puede incrementar la eficiencia creando un sistema de recalentado o bien un sistema de regeneración.

#### *Ciclo Combinado*

En las plantas de proceso, el sistema más eficaz es la integración de una o más turbinas de gas con el ciclo de generación de vapor, recibiendo este ciclo el nombre de ciclo combinado.

Los ciclos combinados pueden clasificarse en cuatro grandes categorías generales:

1. Turbina de gas seguida de una caldera de recuperación de calor sin quemador auxiliar.
2. Turbina de gas con caldera de recuperación de calor provista de quemadores auxiliares.
3. Turbina de gas seguida de una caldera convencional.
4. Caldera a presión alimentado a una turbina de gas.

El primer tipo es la más simple y consiste en la instalación de una caldera de recuperación de calor, la cual aprovecha el calor de los gases de escape de la turbina a una temperatura aproximada de 600°C, para generar vapor de alta presión (40 Kg/cm<sup>2</sup>). El vapor es usado para operar una turbina de vapor, generalmente con extracción, para lograr una mayor eficiencia térmica.



En este diseño, todo el combustible es alimentado a la cámara de combustión de la turbina de gas y la caldera de recuperación de calor depende completamente de la turbina de gas para su operación. En algunos casos se incorpora una segunda caldera generando vapor de baja presión para aumentar la eficiencia del ciclo. La caldera usualmente es de tubos de gas.

La turbina puede ser de condensación o de contrapresión<sup>18</sup>, con extracción o sin ella. El diseño óptimo será aquel que minimice la cantidad de vapor que es necesario condensar.

Con los diseños actuales, la turbina de vapor producirá aproximadamente 30 a 35% de la potencia total, mientras que el 65 a 70% restante será proporcionado por la turbina de gas. La eficiencia de este ciclo puede llegar a cerca de 35% cuando se utiliza solamente para la producción de potencia, aunque puede ser muy superior si el vapor de escape es utilizado en el proceso en lugar de ser condensado.

Puesto que el gas de escape de la turbina de gas contiene de un 16 a 18% de oxígeno, puede ser utilizado para mantener la combustión en un quemador auxiliar localizado en el ducto que conecta la turbina de gas y la caldera de recuperación de calor. El quemador auxiliar puede ser calibrado para utilizar una porción de oxígeno residual, limitando la temperatura de alimentación a 700°C para evitar problemas de mantenimiento y mantener el diseño relativamente simple del generador de vapor. La temperatura mayor de los gases de escape permite la producción de vapor a mayor presión, hasta 100Kg/cm<sup>2</sup>, o de tubos de agua cuando se desea producir vapor de mayor presión.

Con el arreglo descrito es posible elevar al doble la producción de vapor, incrementándose a 50% del total la contribución de la turbina de vapor, a la generación de potencia.

En el caso anteriormente considerado, es posible aprovechar únicamente una fracción relativamente pequeña del oxígeno contenido en los gases de escape. Las turbinas de gas operan con un exceso de 300 a 400% de aire con respecto al teórico, por lo que los gases de escape pueden soportar la combustión de tres a cuatro veces la cantidad de combustible alimentado a la turbina de gas. Para esto será necesario alimentar la corriente de gases de escape de la turbina de la caldera convencional de tubos de agua, de manera que se pueda llevar a cabo la combustión en forma eficiente y evitar los problemas de manejo de gases a temperatura elevada. La mayor parte del combustible es quemado en la caldera produciendo una mayor cantidad de vapor. Las turbinas de vapor podrán proporcionar entre el 70 y el 85% de la potencia total

---

<sup>18</sup> Una turbina a contrapresión toma el vapor a una determinada presión y lo descarga a una presión menor (atmosférica), sin cambio de fase. Emplea sólo una parte de la energía.

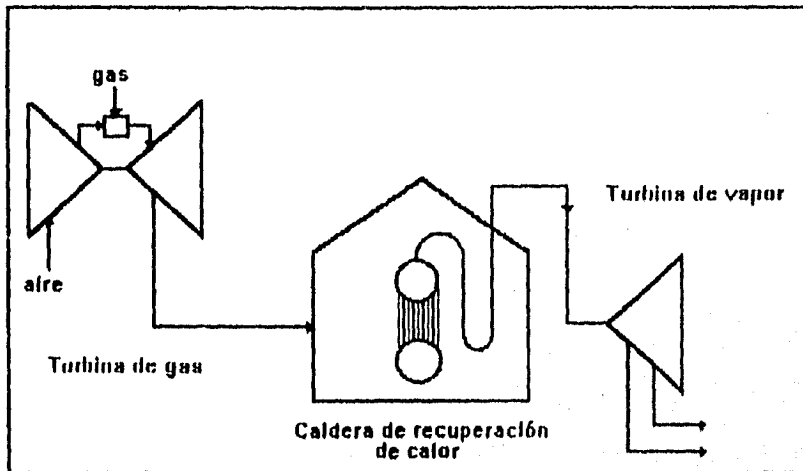


Figura 2.6 *Ciclo Combinado con Caldera de Recuperación*

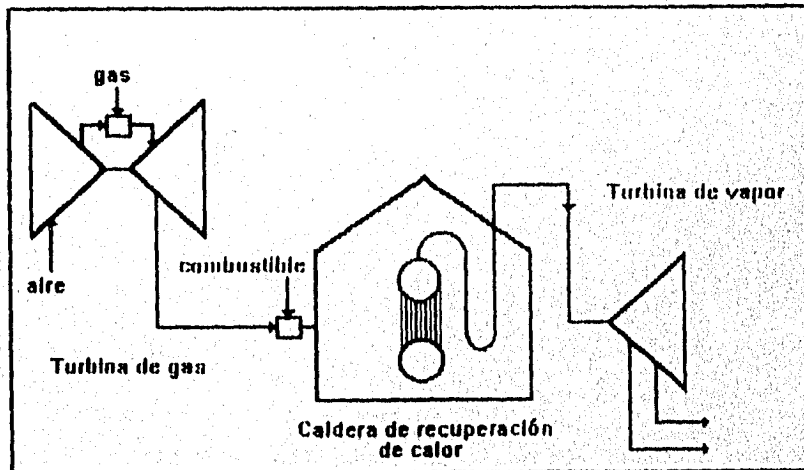


Figura 2.7 *Ciclo Combinado con Caldera de Recuperación de Calor y con Quemador Auxiliar*

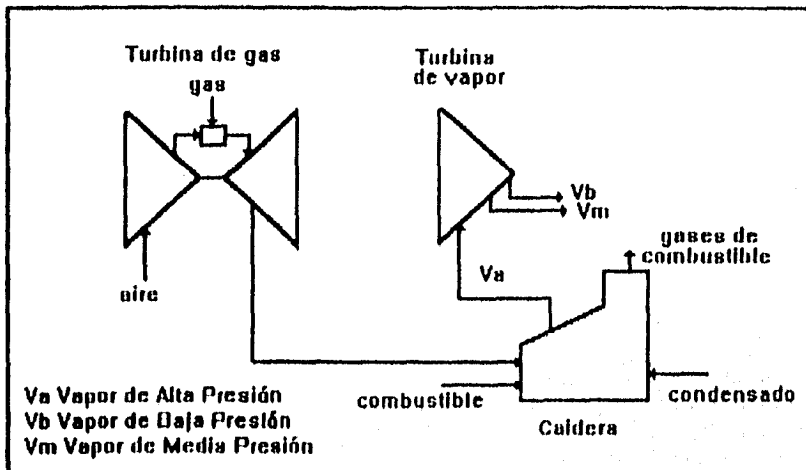


Figura 2.8 Ciclo Combinado con Caldera Convencional

requerida, mientras que la turbina de gas proporcionará la diferencia. La turbina de gas puede ser considerada como un generador de potencia independiente y como soplador de tiro forzado para la caldera de vapor, la que podrá generar vapor a cualquier condición que sea requerido.

Los ciclos combinados con caldera convencional empleando ciclo regenerativo para la producción de vapor alcanzan eficiencias hasta del 42% en generación de energía eléctrica y superior a 80% de plantas de proceso que permiten recuperar la energía del vapor.

Las ventajas del ciclo combinado, sobre el ciclo de vapor son las siguientes: se obtiene una mayor relación de potencia generada a vapor reducido, la eficiencia térmica es un poco más alta, permite arranques y paros mucho más rápidos, alcanzando su capacidad máxima en 30 minutos, presenta un consumo mucho menor de agua de enfriamiento, ofrece menores problemas de contaminación ambiental y tiene un costo menor de inversión por Kilowatt instalado.

Existe también el ciclo de Rankine de generación de potencia, del cual la variante más usada es el ciclo de vapor de agua con turbinas de condensación.

El ciclo consta de una caldera de recuperación de calor donde se genera el vapor saturado o sobrecalentado del fluido empleado, de una turbina a través de la cual se hace circular el vapor, de un condensador operando con agua de enfriamiento o con aire y finalmente, de una bomba para elevar la presión del líquido alimentado a la caldera. Dependiendo de la aplicación particular del fluido de trabajo seleccionado, puede resultar económico incorporar un regenerador para intercambiar calor entre el vapor de baja presión descargado por la turbina y el líquido a presión, alimentado a la caldera.

Una aplicación interesante del ciclo Rankine es en la vaporización de gases licuados, ya que no solo evita el consumo de energía externa, sino que permite la generación de potencia. En este caso, al vaporizador del gas licuado serviría para la condensación del fluido motriz, mientras que la vaporización de éste se llevaría a cabo a temperatura ambiente.

### 2.5.3 Eficiencia

Una de las formas de visualizar las ventajas de la cogeneración es por medio de la eficiencia y para ello se comparará la del ciclo Rankine simple con la del ciclo de cogeneración.

Un sistema cogenerativo bien diseñado, que opera cerca de la condición de equilibrio, puede representar un ahorro de 25% a 40% en el consumo de combustible.

El ciclo Rankine simple está formado por cuatro procesos que de acuerdo a la figura son:

De 1 a 2 Suministro de energía a presión constante en la caldera. 2 a 3 Expansión adiabática en un motor de vapor. 3 a 4 Condensación del vapor a presión constante en el condensador. 4 a 1 Incremento de presión con una bomba de agua de alimentación.

De manera que la energía suministrada está representada por el diferencia de entalpías  $h_2 - h_1$ , la energía rechazada por  $h_4 - h_3$  y la energía aprovechada por la diferencia entre la energía suministrada y la rechazada  $(h_2 - h_1) - (h_4 - h_3)$ .

Por tanto, la eficiencia definida como el cociente de la energía aprovechada entre la energía suministrada será para este ciclo y despreciando el trabajo de la bomba  $(h_2 - h_1)$ .

En el ciclo de cogeneración que opera bajo el ciclo Rankine la idea es aprovechar al menos parte de la energía manejada por el condensador enviándola a proceso. La cantidad de energía manejada aprovechada depende de muchos factores por lo que es difícil cuantificarla. De cualquier manera la eficiencia estará en función de la fracción de energía aprovechada quedando la expresión como sigue:

$$ec = \frac{h_2 - h_1 + K (h_2 - h_3)}{h_2 - h_1}$$

Donde K representa el porcentaje de esta energía. Como puede observarse mientras mayor sea K mayor será la eficiencia llegando al límite cuando K es igual a uno lo cual conduce a una eficiencia del 100%.

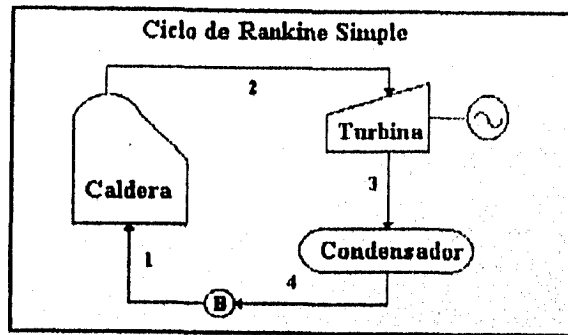


Figura 2.9 Ciclo Rankine Simple

## CAPITULO III Estudio Macroeconómico

Este estudio macroeconómico tiene como finalidad establecer un panorama de la situación económica actual de México, para poder conocer el medio ambiente en el cual se va a desarrollar nuestro proyecto.

Al establecer esta situación económica vamos a tener elementos de juicio para poder predecir el comportamiento de la economía a corto y largo plazo.

La economía<sup>19</sup> está ligada al sector público y por lo tanto es vulnerable a las decisiones políticas del régimen. De aquí deriva, la gran importancia del estudio macroeconómico para configurar el curso del país en los próximos años y describir un panorama que permita definir el desempeño del sector público en general y el de la rama productiva en los que participa el producto en estudio dentro de este contexto.

Es por esto que aunque un estudio económico resulta ser una tarea arriesgada es necesaria, debido a que es la única forma razonablemente "segura" para situar a nuestro proyecto y establecer así sus perspectivas de crecimiento, íntimamente relacionadas con las expectativas de la economía nacional.

El estudio macroeconómico que a continuación se presenta, no pretende ser un estudio detallado de la economía nacional, sino únicamente contempla los lineamientos que se consideran suficientes para los fines que se persiguen en esta tesis.

### 3.1 Antecedentes

#### 3.1.1 *Visión general de la economía mexicana.*

La economía mexicana durante la Reforma. La situación económica general en los años posteriores a la iniciación de la guerra de Independencia y anteriores a la Revolución de Ayutla, no presenta diferencia significativa con respecto a la época de la Colonia, sin embargo desde 1854 hasta la restauración de la República en 1867 tiene cambios radicales en las relaciones de producción, que proporcionaron las bases y el marco jurídico sobre los que habría de desarrollarse el proceso de crecimiento en el Porfiriato<sup>20</sup>.

---

<sup>19</sup> Se define como la ciencia social cuyo objeto de estudio es la sociedad humana o el hombre viviendo en sociedad.

<sup>20</sup> Cap. 4 (8)

En la época de la Reforma continuaban operando las mismas condiciones de atraso económico que prevalecían a finales de la Colonia. Sobre todo, la falta de integración de un mercado colonial determinó el poco o nulo avance de la actividad económica; las causas de esto fueron la falta de comunicaciones, las acábalas, la escasa duración de la mano de obra, la anarquía fiscal, la falta de capitales y la inseguridad e inestabilidad política.

La mayor parte de la población continuaba diseminada en un gran número de pequeños poblados y ranchos cuya economía interna conservaba aún las características de una economía autosuficiente. La lentitud de los medios de transporte (mulas y carretas) restringía la movilidad de los factores, lo que repercutía en la producción y en el volumen de las transacciones comerciales, y mantenía el aislamiento por una agricultura primitiva y un comercio incipiente.

No obstante los cambios estructurales que este período produjo y que después serían muy benéficos para el desarrollo económico, por ser este un lapso de inestabilidad social y política lo fue también de estancamiento económico. Las continuas luchas que padeció el país durante esta época continuaron impidiendo la formación de un ambiente propicio en el que pudieran utilizarse los recursos para el desarrollo de la economía.

El problema de la falta de ahorro interno, con todos sus efectos secundarios, seguía vigente. El ingreso concentrado en un pequeño grupo privilegiado mantenía sesgada la distribución correspondiente, por lo que no hubo cambios de consideración en el bienestar de la sociedad. Habría que esperar hasta la restauración de la República para que se estableciera y consolidara el marco jurídico favorable a una economía de mercado, la formación de capitales, la circulación de la riqueza y, en pocas palabras, el funcionamiento de una economía basada en el sistema de precios; circunstancia que tendría sus frutos en el Porfiriato.

La economía durante el Porfiriato. En 1877 Porfirio Díaz asume la presidencia de la República y se inicia el Porfiriato. En este período, México pasa de una economía colonial antigua, a la española o indoespañola, a una economía nacional mas o menos moderna.

La situación predominante al iniciarse el Porfiriato, era la existencia de una serie interminable de pequeñas unidades económicas, ajenas a la economía de cambios, autárquicas que producían para su consumo inmediato cuanto necesitaban, y que sólo buscaban en el mercado de fuera, aquellos elementos de vida que, siéndoles imposible producir, eran, sin embargo, imprescindibles.

Cuando esto ocurría, nada de extraño tenía que la adquisición no representara una compra verdadera, sino un trueque, o sea, el cambio directo de una mercancía por otra, sin el uso intermedio de la moneda.

Esta situación inicial fue cambiando paulatinamente gracias a la acción de múltiples factores. La estabilidad política y la seguridad personal consiguiente, dejaron de hacer aventurado el movimiento de personas y bienes. Las vías férreas que fueron tendiéndose con más lentitud de la deseada, comunicaron de modo directo o indirecto grandes zonas del país antes aisladas entre sí, unieron un mercado local con otro fundiéndolos poco a poco para hacer un solo mercado regional, más amplio y homogéneo.

Durante el régimen general de Porfirio Díaz, el crecimiento del ámbito de la economía de mercado estimuló, la expansión económica. Una de las causas de esta expansión, la encontramos en las leyes de desamortización que, al romper la vieja organización comunal, productora para el autoconsumo, hicieron que gran parte de los campesinos fueran a las haciendas a trabajar como peones, y determinaron que por lo menos ciertos bienes de origen agrícola y manufacturero, que antes se procuraban por sí mismos a través de la agricultura de subsistencia y de las artesanías primitivas, les fueran proporcionados por la producción capitalista a través del intercambio. El crecimiento de la demanda externa acentuó esta tendencia y el establecimiento de los ferrocarriles y la suspensión de las aduanas interiores completaron el fenómeno.

Sin duda del acontecimiento histórico más importante del período fue la construcción de los ferrocarriles, suceso que transformó toda la estructura económica. Sus efectos se hicieron sentir en todos los sectores de la economía; se explotaron regiones mineras y agrícolas hasta entonces inaccesibles y se presentó un resurgimiento de la minería, así como un avance de la industria, inició el acondicionamiento de los puertos marítimos y el desarrollo de telégrafos y teléfonos.

El país se modernizó en todos los órdenes. Se solucionó el problema de la deuda externa. Pero lo más importante fue que el país al fin conoció una larga era de tranquilidad y de paz, requisito básico para cualquier clase de progreso. Definitivamente, el desarrollo del país se basó, en gran proporción en la inversión extranjera. Se calcula que en 1902-1903 la inversión total representaba el 13% del PIB; de la cual la extranjera representaba el 9.4% y la nacional el 3.6%. En 1911 las inversiones extranjeras en México sumaban 1,700 millones de dólares.

Los últimos años del Porfiriato fueron de crisis económica y política. El gran problema del Porfiriato lo constituyó el sector agropecuario. La forma de operación de latifundio encajonó a la mano de obra e hizo difícil la transferencia de población de unas



zonas rurales a otras y del campo a la ciudad. La agricultura en su conjunto se mantuvo prácticamente estancada y la producción de alimentos creció a una tasa menor que la de la población, de tal manera que disminuyó el consumo per cápita de artículos de la dieta popular. Ante el crecimiento de la población, el poco aumento de la ocupación productiva y la incapacidad del sistema económico para alcanzar nuevamente una dinámica de crecimiento, la disminución del ingreso de las mayorías se acentuó y el descontento se agudizó. Se iniciaron movimientos de defensa del pueblo y se llegó a las huelgas de Cananea y Río Blanco que, como es sabido, fueron reprimidas brutalmente. Todo esto provocó una situación política explosiva cuya mecha encendió la campaña presidencial de 1910.

*La economía mexicana Pos-revolucionaria (1911-1929).* La década de 1910-1920 fue de guerra civil y destrucción, comparable con las luchas posteriores a la Independencia y quizás con un carácter más cruento. Toda la actividad económica se vino abajo, la población disminuyó en un millón de personas (pasó de 15.2 a 14.3 millones de habitantes). Solamente la actividad petrolera siguió su curso normal, fomentada y protegida por potencias extranjeras. Las exportaciones de este sector pasaron de 0.2 millones de pesos entre 1910-1911 a 516.8 millones en 1920, que representaba el 60.4% de las exportaciones de petróleo.

Los primeros trazos de lo que sería el Estado mexicano pos-revolucionario comienzan a dibujarse a partir de la promulgación del Plan de Guadalupe en 1913, y toman forma en 1917 con la promulgación de la Constitución vigente. La Constitución sentó las bases para una nueva estructura política y económica. La propiedad de la tierra cambió de un régimen liberal a uno mixto, privado-ejidal, y la variedad en los ordenamientos legales propiciaron el creciente intervencionismo de Estado, que poco a poco se fue manifestando posteriormente. Se tendió a un régimen protector, como lo atestigua la legislación sobre el trabajo.

Después del triunfo revolucionario el país tuvo que esperar diez años más para que terminaran todas las diferencias partidistas. La década de 1920-1930 fue todavía de agitación política y culminó con la obra maestra del Presidente Calles: la fundación del Partido Oficial, que aprovechó y depuró las experiencias del Porfirismo y que, como él, pero de una manera más inteligente, trajo otra vez al país la deseada paz civil.

La depresión de 1929-1933. El país se encontraba en el inicio de una etapa reconstructora cuando sobrevino la gran depresión de 1929.

La gran crisis de 1929 deprimió los niveles de actividad económica. El valor de las exportaciones, que de 1926 a 1929 descendió como resultado de la persistencia de la baja en la producción de petróleo, se abatió aún más rápido, hasta registrar

en 1932 casi un tercio de su valor de 1929; las importaciones descendieron en proporción similar, y llegaron a un valor en dólares corrientes inferior al de principios de siglo. Como una proporción importante (25% aproximadamente) de las recaudaciones impositivas dependían los impuestos al comercio exterior; de 1930 a 1933, los ingresos federales se redujeron en una cuarta parte, razón por la cual la política fiscal actuó para nivelar el presupuesto bajando los gastos federales.

De 1929 a 1932 el Producto Interno Bruto (PIB)<sup>21</sup> descendió al 6.3% anual. En otros países de América Latina (Argentina, Brasil, Colombia) la gran depresión estimuló la sustitución de importaciones y propició la industrialización. Sin embargo, a través de observaciones estadísticas no es posible demostrar que para México hubiese cambio "significativo" en la estructura de las importaciones en el período inmediato posterior a la gran depresión; así, al parecer en México ese fenómeno no fue un factor de gran estímulo en el proceso de sustitución de importaciones.

#### *Segunda Guerra Mundial*

El período comprendido entre las dos guerras mundiales fue una época de importantes cambios institucionales que constituyeron influencias importantes en el proceso de crecimiento sostenido ocurrido de 1935 a la fecha.

En este período se formó la base del actual sistema político, se acabó con el predominio de los caudillos militares y se organizó en el seno del partido oficial a obreros y campesinos; se formó la política de gasto público para orientarla al fomento económico y social; se establecieron los fundamentos del sistema financiero con la creación del Banco de México, las instituciones nacionales de crédito agrícola, industrial y de servicios públicos y la ley de Instituciones de Crédito; se dio impulso a la Reforma Agraria; se nacionalizó el petróleo y se creó la Comisión Federal de Electricidad, vinculando la inversión en energía a la actividad económica interna.

Entre las políticas de fomento del desarrollo que estuvieron vigentes en este período, hay cuatro que se consideran sumamente importantes:

- La Reforma Agraria
- La Expropiación Petrolera
- La creación de Mecanismos Financieros
- El uso del Gasto Público para la formación del Capital

---

<sup>21</sup> Es el valor monetario de la suma total de los bienes y servicios producidos y proporcionados en una nación en un año. Multiplicados por su precio.

Entre 1935 y 1940, la reforma agraria, el gasto público y los incrementos de salarios influyeron en la distribución del ingreso, en el nivel y la estructura del gasto, condicionando

inicialmente una alta elasticidad a los cambios del ingreso de la demanda de los consumidores. Este hecho fortaleció, por el lado de la demanda, el desarrollo ocurrido durante la guerra - estimulado por cambios en la demanda externa -, si bien este efecto se fue debilitando en las postrimerias de la contienda y en la posguerra inmediata, como resultado de un cambio regresivo en la distribución del ingreso. Así, en su origen, la inflación tuvo características mixtas de alza de precios de las importaciones, que fue de 8.4% anual en 1941-1947. El comienzo del proceso inflacionario quizá caracterice su comportamiento para invertir en obras de infraestructura, es decir, en la formación de capital, ampliando la dotación de este factor escaso.

#### *Período de Desarrollo Inflacionario e Inestabilidad Cambiaria 1949-1956.*

La escasez de importaciones que produjo la Segunda Guerra Mundial dio la oportunidad para que se iniciara una política de sustitución de importaciones que, desde entonces, ha constituido el medio principal adoptado por los gobiernos sucesivos para industrializar el país<sup>22</sup>.

Se prolongó la inflación del Cardenismo. Aumentaron las presiones sobre el nivel de precios los grandes flujos de capital extranjero que se refugiaron en el país durante la guerra. Entre 1941 y 1945 la oferta monetaria aumentó en 2,484 millones de pesos, de los cuales 1,519 fueron de fuentes externas y 965 de fuentes internas. La terminación del período bélico vio el fin de una fuerte expansión de exportaciones. Como consecuencia de todo esto se presentaron dos devaluaciones (1947 y 1954) que iniciaron el ciclo recurrente inflación-devaluación.

A pesar de estos trastornos en el país, éste se desarrollaba e industrializaba. Al mismo tiempo que creaba una extensa red de presas, que convirtió al norte del país en una próspera región agrícola y exportadora. En 1980 había 3,89 millones de hectáreas beneficiadas con obras de riego, de las cuales ya se habían realizado 1.88 millones en 1955. El avance de la agricultura por primera vez corrió al parejo del desarrollo industrial. En los años 1946 -1959 la tasa promedio anual de crecimiento de la agricultura fue de 8.9% y de 9.6% en 1950-55; la de manufacturas de 5.9% y 5.5% en los mismos periodos.

En realidad, el período de transición de inflación al

---

<sup>22</sup> Cap. 5 (8)

siguiente de estabilidad. tiene en sí una importancia relativa, ya que el abatimiento de la inflación se explica por los cambios ocurridos: principalmente por los desplazamientos de la función producción, la transformación de la estructura del consumo, y el aumento de la tendencia a ahorrar, en el cual la suspensión del déficit gubernamental, primero, y su distinto financiamiento después, fueron sólo un complemento. Todo indica que durante la época de inflación se realizaron cambios institucionales, se forjaron los instrumentos de política económica y se modificó el comportamiento de las variables que hicieron posible la etapa posterior de desarrollo con estabilidad. Los cambios tanto de uso de tierra como del capital y de la mano de obra; así como en la elevación del nivel educativo y, por consiguiente, la creación de la capacidad de absorción de adelantos tecnológicos y el fortalecimiento de la clase empresarial. Influyeron también favorablemente el mayor volumen de la inversión interna, la menor dependencia del exterior en el comercio de mercancías, la mayor monetización y la más estrecha vinculación de distintos elementos de la economía.

#### *Desarrollo Estabilizador 1956-1970*

Desde los últimos años de la década de los cincuenta hasta finales de los setentas, la economía mexicana se caracterizó por un rápido crecimiento del producto y la estabilidad, tanto en el tipo de cambio como en el nivel de precios. Esta fase fue denominada "Desarrollo Estabilizador", el cual representa, en buena medida, la instrumentación práctica de un modelo de desarrollo en el que la política económica gira alrededor de estímulos a la iniciativa privada y a una participación conservadora del sector público en la economía. Durante el "Desarrollo Estabilizador" fue el sector industrial el que imprimió mayor dinamismo al resto de la economía; su tasa anual de crecimiento (9%) fue superior al que registró la economía en su conjunto (6.5%). El patrón de desarrollo industrial adoptado representó un cambio con respecto al que había prevalecido en la fase de inflación - inestabilidad<sup>23</sup>.

La naturaleza del proceso de sustitución de importaciones fue desplazándose, a medida que transcurrió la década de los setenta. De los bienes de consumo final hacia los bienes intermedios y de capital. La misma formulación de política económica orientó el crecimiento de la economía "hacia adentro" mediante la utilización de una política comercial proteccionista, cuotas de importaciones, aranceles elevados, exenciones fiscales para el fomento de nuevas industrias, tasas de interés preferenciales para la promoción industrial es decir, una gran variedad de estímulos a la industrialización, se logró que el mercado interno se convirtiera en el principal motor del crecimiento económico. Podemos afirmar que, como resultado de

---

<sup>23</sup> Cap. 6 (8)

esto, la economía mostraba dos características importantes: Insuficiencia dinámica para crear empleos y una clara tendencia hacia el desequilibrio externo acompañada con un déficit creciente de las finanzas públicas. Ambos factores actuaron conjuntamente como restricciones al crecimiento económico, uno porque debilita al mercado interno -motor del desarrollo-, otro porque en la medida en que la economía tendía a acelerar su ritmo de actividad, tenía un efecto inducido en las importaciones que elevaba el déficit comercial. Este último efecto resultó decisivo por la manera en que operó la política de manejo de la demanda agregada. Si la tasa de crecimiento pasaba de 6 a más de 7% anual, el déficit en cuenta corriente aumentaba en exceso, tornándose difícil la obtención de suficiente crédito externo para financiarlo; entonces, la reacción normal era contraer la demanda agregada con el fin de reducir el déficit a niveles más manejables.

Dadas las características estructurales del patrón de desarrollo adoptado y el aumento del desempleo y el subempleo provocaron que para que el mercado de trabajo se mantuviese en equilibrio requería que la economía creciera a una tasa anual no menor de 7.5% del PIB, sin embargo una tasa superior al 6.5% ponía en serios aprietos a la balanza de pagos. Así existía incompatibilidad entre el equilibrio externo y el equilibrio interno. Usualmente, se optaba por reducir la tasa de crecimiento como en los años 1965, 1969 y 1971; éste fue quizá el error más grave de este modelo de desarrollo: crear un desequilibrio creciente en el mercado de trabajo.

Durante el desarrollo "Estabilizador", la economía mexicana funcionó en base a tres objetivos:

- 1) Rápido crecimiento del producto real
- 2) Estabilidad de precios
- 3) Estabilidad de balanza de pagos, representada por un tipo de cambio fijo y constante

Para el logro de estos tres objetivos se usaron principalmente los siguientes instrumentos:

- 1) El nivel del gasto público
- 2) El control de la cantidad de dinero, mediante el mecanismo de depósito legal en el Banco de México
- 3) El endeudamiento externo.

#### *Desarrollo Compartido 1970-1976*

A pesar de que la economía había tenido períodos prolongados de estabilidad de precios y crecimiento, la economía mostraba, como se apunta en el período anterior, insuficiencia para crear empleos; el modelo adoptado en el "desarrollo estabilizador" era prácticamente insostenible.

Mientras, en todo el mundo se vivía un período de movimientos sociales muy importantes, los cuales se hicieron presentes en México, teniendo su punto culminante con el movimiento estudiantil de 1968 "la tragedia de Tlatelolco".

Cuando el Licenciado Luis Echeverría tomaba la presidencia de la República. Para recuperar la confianza perdida años atrás, se implementó un sistema de Gobierno "Populista", en el cual se buscaba que el Estado fuera el promotor del bienestar social, teniendo como principal objetivo el mejoramiento del nivel de vida de los mexicanos y una distribución del ingreso más equitativa<sup>34</sup>.

Para lograr estos objetivos, el sector público debía convertirse en el motor de la economía, incrementando la participación del Estado dentro de la producción, reforzando la política de subsidios.

Para subsanar el desempleo existente se decidió crear empleos dentro del mismo sector público, incrementándose el número de empresas del Estado, resultando en un evidente aumento en el número de servidores públicos.

Con esta medida se pretendía evitar el cierre de empresas al borde de la quiebra, aunque fueran ineficientes porque representaban una fuente de empleos.

Los salarios reales se incrementaron en un 35.6% en el período de 1971-1976, y esto deterioraba cada vez más la situación de las finanzas públicas. Los problemas microeconómicos que presentaban las empresas públicas serían un factor fundamental para la evolución de estos problemas que se reflejaron en la década de los ochentas.

La tasa de crecimiento del PIB se situó en un 4.2% que comparada con la del Desarrollo Estabilizador de un 7% fue notablemente menor durante este período la importación de granos comenzó a ser significativa, a pesar del incremento en la producción.

En 1973 la inflación fue de 25% provocando que el sector privado dejara de involucrarse en la actividad económica.

El aumento del gasto del gobierno para tratar de aliviar la crisis social, provocó una expansión de la demanda agregada y del circulante, lo que trajo como resultado presiones sobre el nivel de precios y la balanza de pagos, que más tarde se reflejarían en desequilibrios insostenibles.

El endeudamiento interno y externo, al igual que el aumento

---

<sup>34</sup> Cap. 7 (8)

de circulante, se convirtieron en un lastre para la estabilidad económica, que a la postre provocarían serios problemas para el desarrollo del país.

Las presiones sobre el mercado de divisas y sobre la balanza de pagos no se reflejaba en el tipo de cambio, sin embargo, el retraso en la aplicación de las medidas correctivas provocó efectos nocivos en todos los ámbitos que el gobierno quería proteger.

Las medidas de política comercial estaban orientadas a bajar la protección, mejorar la eficiencia industrial, eliminar el sesgo antiexportador y fortalecer la competitividad internacional del país para afianzar la independencia económica interna con la cual se llegaría a una reforma fiscal vinculada al objetivo de redistribuir el ingreso.

El principal instrumento de política económica era el gasto público, su estructura, su monto y la calidad de los proyectos a los que se destinaba. El haber introducido un objetivo adicional -la distribución del ingreso- en la política de desarrollo, sin incluir un nuevo instrumento para lograrlo -la reforma fiscal-, determinó en buena medida los cada vez mayores problemas que enfrentó el desarrollo compartido, pues hubo que financiar el gasto público mediante el endeudamiento externo, y en la medida en que este recurso se tornó insuficiente, se financió mediante el endeudamiento interno, con las consecuentes presiones inflacionarias y poniendo en entredicho otro de los objetivos de este esquema de desarrollo: la distribución del ingreso.

#### *Alianza para la Producción 1977-1982*

Cuando el Lic. José López Portillo entra al poder, se considera prioritario bajar la inflación, lo cual se logró en los primeros 2 años de la administración. Sin embargo, el descubrimiento de grandes reservas petroleras en 1977 y su posterior incremento de precio permitió que el gasto público continuara aumentando y las reformas fueran postpuestas. La inversión tanto privada como pública, mostraban altas tasas de crecimiento; la economía mexicana estaba en franco proceso de recuperación, por lo que la disponibilidad de créditos tanto internos como externos era amplia<sup>25</sup>.

Por su parte, la política de tipo de cambio fijo provocaba que el tipo de cambio real se fuera apreciando, porque la inflación interna era mayor que la internacional. El sistema financiero doméstico carecía de flexibilidad, lo que provocaba que con tasas de interés fijas y la inflación a la

---

<sup>25</sup> Cap. 8 (8)



alza, las tasas reales fueran negativas. Lo anterior incrementaba la demanda agregada, los desequilibrios de la cuenta corriente y se estimulaba a una cultura de inversión en mercados financieros internacionales, que hasta esta época estaba poco desarrollada.

La economía mexicana se hacía cada vez más dependiente del petróleo, inclusive las exportaciones petroleras llegaron a representar el 77.6% de las exportaciones totales en 1982. La economía mexicana se había convertido extremadamente vulnerable a factores externos.

La apertura comercial se comenzaba a hacer más patente en las relaciones comerciales entre los países. Sin embargo, México continuó con el programa de proteccionismo. Las industrias mexicanas contaban con un mercado interno cautivo y carecían de competencia externa, lo que propició una industria poco competitiva a nivel internacional. Las expectativas de altos ingresos petroleros permitían mantener empresas sumamente ineficientes en manos del gobierno.

Las tendencias proteccionistas se conservaron y en algunos rubros incluso se hicieron más fuertes. México continuaba reforzando los oligopolios que se habían desarrollado en las cuatro décadas anteriores. La excesiva regulación de la economía, los desequilibrios fiscales y la gran participación del Estado en recursos en la economía, la burocracia, el compadrazgo, y la tolerancia del pueblo mexicano incrementaron los niveles de corrupción, la baja recaudación tributaria y una infinidad de distorsiones microeconómicas.

En 1981 y 1982 el gasto público se incrementó sustancialmente en un 45.05% y un 56.29% respectivamente, nuevamente sin tener contrapartida por el rubro de ingresos, lo que se reflejó en un déficit mucho mayor. A pesar de que se introdujo el Impuesto al Valor Agregado (IVA) en 1980, el déficit del sector público no revertía su tendencia.

El pronosticar un precio a la alza constante, se reflejó en los desequilibrios fiscales y de balanza comercial de nuestro país, así como en los créditos otorgados por la Banca Internacional hacia el gobierno mexicano. Los enormes créditos otorgados muestran que se le consideraba al país con capacidad de pago y que las inversiones tendrían una tasa de retorno suficientemente alta para cubrir los compromisos contraídos.

El error queda de manifiesto dado que mientras la Banca Internacional y los países endeudados esperaban un precio de 55 dólares por barril de petróleo para 1987, el precio en diciembre de ese año fue de 13.05 dólares por barril.

La caída del precio del petróleo en el segundo trimestre de 1981 provocó que los desequilibrios se hicieran obvios, y aún así



el tipo de cambio no fue modificado. Las fugas de capitales mostraron un gran dinamismo. La situación comenzó a tomar un cariz de insostenible por lo que hubo que recurrir a la devaluación y a la suspensión del pago de intereses sobre la deuda externa en agosto de 1982.

La situación de la balanza de pagos era considerada como insostenible, la economía se encontraba en un proceso de dolarización y era necesario tomar medidas que aliviaran la situación. Adicionalmente a la devaluación de 112.14% en diciembre de 1982, las cuentas de cheques denominadas en dólares se convirtieron a moneda nacional con una paridad inferior a la que prevalecía en el mercado libre.

Obligada en parte por las circunstancias se llevó a cabo la Nacionalización de la Banca. La Banca Comercial tenía contraídos enormes créditos con el exterior (al rededor de 13 mil millones de dólares), y era peligroso permitir que se presionara al mercado cambiario para obtener divisas. Además, los créditos voluntarios del exterior estaban cerrados, y el mercado interno no parecía tener confianza en el gobierno, por lo que la forma más fácil de obtener recursos era mediante el control de los intermediarios financieros.

#### *Reordenación económica 1982-1988*

En esta época<sup>24</sup>, México vivía en un clima de desconfianza hacia las instituciones, la fuga de capitales era enorme, la corrupción se hacía evidente en todas partes, la inestabilidad era alarmante.

Por esto, la tarea de la nueva administración encabezada por el Lic. Miguel de la Madrid, era muy clara un reordenamiento político, económico y social.

La inflación cedía muy lentamente a pesar de un fuerte ajuste en las finanzas públicas, sin embargo el programa establecido parecía sostenible y se veían algunos buenos resultados. Se había iniciado un programa de desincorporación de empresas públicas que avanzaba con lentitud. Sin embargo las presiones inflacionarias volvían a incrementarse, el año de elecciones de 1985, aunado a la fuerte caída del precio del petróleo hacen necesario abortar el programa económico y se volvió a utilizar al impuesto inflacionario como un mecanismo de financiamiento del sector público. Para dar una idea de la magnitud del choque petrolero, basta mencionar que la caída de los ingresos petroleros fue del orden de 8.500 millones de dólares, lo que equivalía al 6.5% del PIB o 40% de las exportaciones.

---

<sup>24</sup> Cap. 9 (8)

La respuesta en el indicador de actividades económicas no se hizo esperar y la economía registró un retroceso de 3.8% en 1986, con una inflación de 105.7%, comparada con 59.2% en 1984. A pesar de que cayó fuertemente la actividad económica, es digno de reconocer que el manejo de la política económica evitó que el problema fuera mucho mayor.

A pesar de la caída en los ingresos petroleros la posterior evolución de la Balanza de Pagos fue favorable, la acumulación de reservas internacionales fue en aumento y el tipo de cambio real se mantuvo relativamente estable durante este período. Los objetivos fiscales continuaban consolidándose, y el mercado interno parecía reactivarse. A partir de mediados de 1986 comienza a haber un auge bursátil en nuestro país, que incluso acarrea entradas de capitales.

La incorporación de México al GATT parecía ser una señal de que la economía mexicana se encontraba por buen camino. Sin embargo, el "Crack" bursátil de octubre de 1987 provocó una enorme inseguridad para los inversionistas, el fantasma de la dolarización volvía a aparecer en la economía mexicana. Para evitar financiar la fuga de capitales, con las reservas acumuladas, se devaluó el tipo de cambio 40% en noviembre de 1987.

La situación de la balanza comercial estaba bajo control, y la depreciación del tipo de cambio real provocaba que se esperara una mejoría transitoria de las cuentas con el exterior y por lo tanto, acumulación de reservas. La situación de las finanzas públicas era buena, pero el principal problema era la inflación. Las expectativas estaban en contra y se necesitaba detener el alza de precios, el deterioro del nivel de vida, y la caída en los salarios reales.

#### *Pacto de Solidaridad Económica*

En noviembre de 1987 el panorama no era muy promisorio. Las expectativas de los agentes económicos parecía indicar hacia la hiperinflación. La crisis de los mercados financieros internacionales, aunada al aumento en el gasto que se esperaba debido al año de elecciones, hacía prever que algunos nubarrones se ceñirían sobre el entorno económico de México. El sector laboral ejercía presiones para el aumento de salarios amenazando inclusive con una huelga general para lograr sus objetivos. Era necesario aplicar un programa económico que permitiera bajar la inflación a corto plazo, evitar presiones salariales y volver al crecimiento.

A pesar de que las expectativas de los agentes económicos eran realmente desalentadoras, se pone en marcha un programa de estabilización denominado "PACTO DE SOLIDARIDAD ECONOMICA" (PESE) cuya piedra angular era la concertación entre los diversos sectores de la economía.

El programa de estabilización incluyó entre otras medidas: - profundizar en la corrección de las finanzas públicas, acelerar el proceso de desincorporación de empresas públicas, mantener una política monetaria restrictiva, fijación de salarios, concertación en cuanto a los precios y el posterior congelamiento de precios. Para el control de los precios de los bienes comerciales se aceleró la apertura comercial y se mantuvo el tipo de cambio prácticamente fijo.

El sostener la batalla en contra de la inflación se debió en gran parte a:

- a) La corrupción de las finanzas públicas iniciadas en 1982.
- b) Al nivel de reservas internacionales que se tenía a finales de 1987, así como el tipo de cambio real con el que comenzó el programa, que permitió que el tipo de cambio fuera el ancla de los precios sin causar desequilibrios insostenibles en cuenta corriente.
- c) En parte a que el sector externo no mostró grandes distorsiones.

#### *Recuperación y Crecimiento Económico 1988-1994*

Para el año de 1988, año electoral, el país vivía en una total efervescencia política, existía desconfianza mayor, tal vez que a la que se produjo hasta antes de la toma de posesión del Lic. Miguel de la Madrid, hubo una ruptura histórica en el seno del partido en el poder, el futuro del país se iba a decidir con los resultados de las elecciones de 1988.

Finalmente llega a la presidencia de la República el Lic. Carlos Salinas de Gortari, el cual había dado indicios muy claros de cuál iba a ser el modelo a seguir por su gobierno. Debemos recordar que Salinas de Gortari instrumentó y aplicó 14 programas económicos durante su estancia a cargo de la SPP destacando:

#### **PLAN NACIONAL DE DESARROLLO EL PROGRAMA INMEDIATO DE REORDENACION ECONOMICA EL PLAN DE ALIENTO Y CRECIMIENTO**

Al inicio de su administración, mantuvo una congruencia total con lo que planeaba en su campaña electoral, surgiendo así el Plan Global de Desarrollo. En el cual, se sintetiza la forma de gobernar que seguiría en el futuro:

- Defender la soberanía y preservar los intereses de México en el mundo.
- Ampliar nuestra vida económica.
- Recuperar el crecimiento económico con estabilidad de precios.
- Elevar productivamente el nivel de vida de la población.

Se distinguió en el poder al inicio de su ejercicio, por la toma de decisiones de vital importancia, de los cuales algunos de los logros más importantes son los siguientes:

*En lo económico:*

- Regeneración de la deuda externa.
- Reprivatización de la Banca.
- Control de la inflación mediante el Pacto de Estabilidad y Crecimiento Económico (P.E.C.E.).
- Nueva reglamentación a las inversiones extranjeras.
- Apertura de la economía a una competitividad comercial.
- Venta de Paraestatales.
- Obtención de recursos para el Estado e impuestos (Reforma Fiscal).

*En lo político:*

- Elección de Gobernadores postulados por los partidos de oposición.
- Destrucción de los "feudos" sindicales.
- Fortalecimiento de los partidos de oposición traducido en una mejor vida democrática.
- Implementación de la nueva Ley Federal Electoral.

*En lo social:*

- Descentralización del sector salud.
- Descentralización cultural.
- Creación del Consejo Nacional para la Cultura y las Artes y del Consejo Nacional del Deporte.
- Implementación de un Plan de Contingencia Ambiental.
- Creación de la Comisión Nacional de los Derechos Humanos.
- Implementación del Programa Nacional de Solidaridad (PRONASOL).

Durante el gobierno de Salinas de Gortari, el Pacto de Solidaridad Económica se transformó en el Pacto de Estabilidad y Crecimiento Económico (PECE), el cual jugó un papel determinante para el control de la inflación en México.

Algunas de las medidas que se tomaron a lo largo de este pacto destacan: la baja de la tasa de IVA del 15% y 20% al 10% y 15% respectivamente, disminución de la carga impositiva para ingresos bajos, baja en las tasas máximas de impuesto sobre la renta.

Al inicio del gobierno del Presidente Salinas, a pesar de que el mercado interno parecía reactivarse, y la economía iba en una franca mejoría, faltaba resolver el problema de la

transferencia de recursos al exterior para poder financiar el crecimiento, y para disminuir las altas tasas reales de interés que prevalecieron en la economía por un período de más de un año.

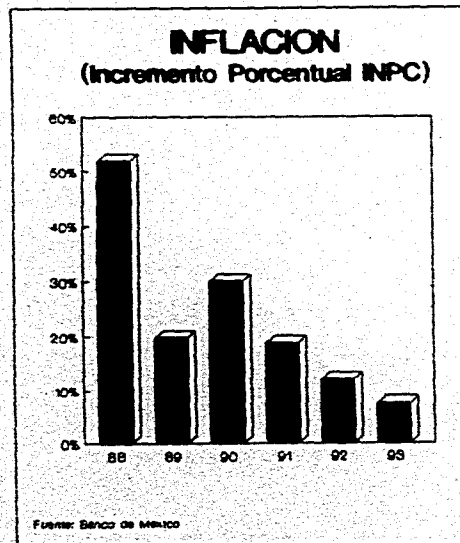
Era necesaria una nueva negociación con los acreedores externos para poder contar con los recursos necesarios para invertir y volver a crecer. De esta forma, el Secretario de Hacienda, el Dr. Pedro Aspe, inició una ambiciosa negociación de la deuda externa con el propósito de reducir sustancialmente la transferencia de recursos al exterior, y lograr una solución de más largo plazo, es decir, no únicamente transferir la carga a posteriores administraciones.

Las negociaciones fueron difíciles y largas, lo cual se reflejó en altas tasas reales de interés, pero en 1989 se concluye el acuerdo con los bancos acreedores internacionales. A grandes rasgos, la negociación permitió reducir la deuda económica externa en Septiembre de 1990 en alrededor de 13 mil millones de dólares, reduciendo las transferencias al exterior sustancialmente para los próximos años. Cabe destacar que esta negociación sentó un precedente a nivel mundial.

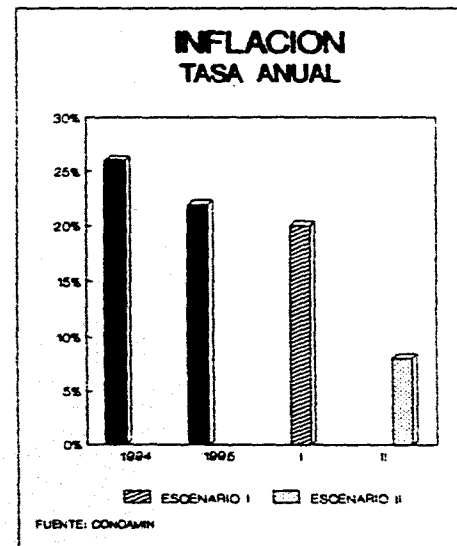
Así mismo, se ha iniciado en diversos sectores de la economía un amplio programa de desregularización y modernización. La modernización del sistema financiero es prometedora, ya que los últimos años se han incluido diversos cambios (incorporación de inversión extranjera en diversas áreas del sector financiero, por citar un ejemplo) a la legislación que permitirían un mayor desarrollo del sector financiero.

Las siguientes gráficas muestran el desarrollo de algunos de los principales indicadores económicos a través del tiempo.

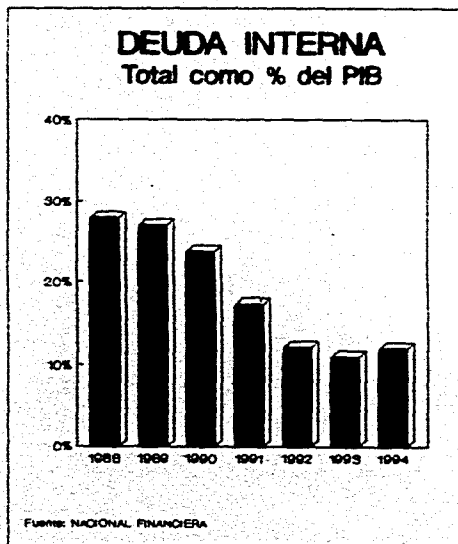
- Inflación Anual Incremento porcentual (% vs Año)
- Inflación Tasa/Anual
- Deuda Interna Total (% respecto al PIB vs Años)
- Precio promedio Materia Prima (Dólares vs Años)
- Producción Materia Prima (Toneladas vs Años)
- Exportaciones Materia Prima (Dólares vs Años)
- Porcentaje de variación del PIB (% variación vs Años)
- Producto Interno Bruto Total (Dólares vs Años)



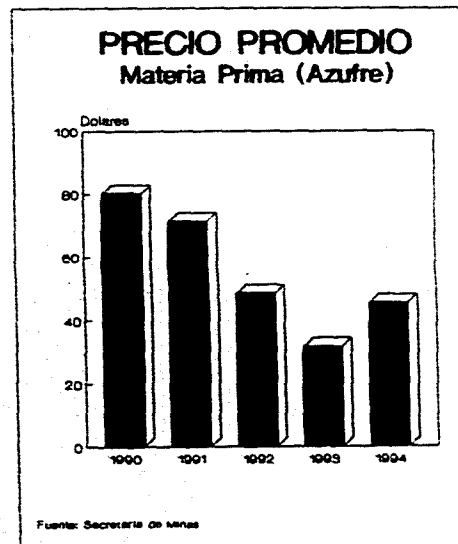
Gráfica 3.1 *Inflación Incremento porcentual*



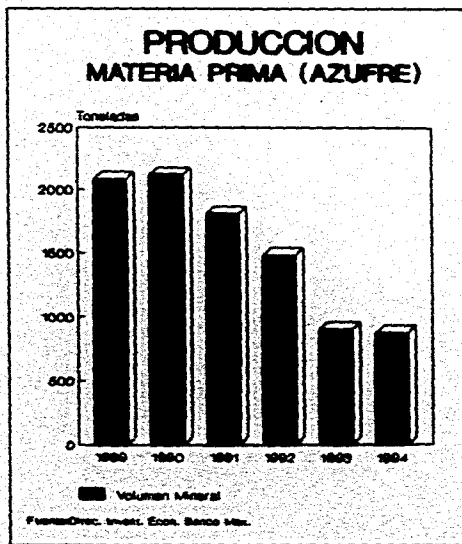
Gráfica 3.2 *Inflación Tasa/Anual*



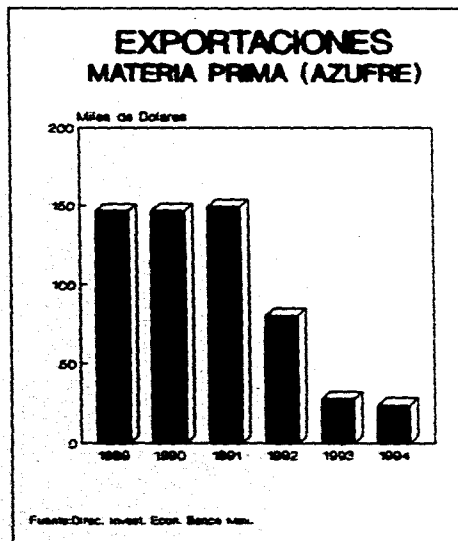
Gráfica 3.3 *Deuda interna total como % del PIB*



Gráfica 3.4 *Precio promedio azufre Materia Prima*

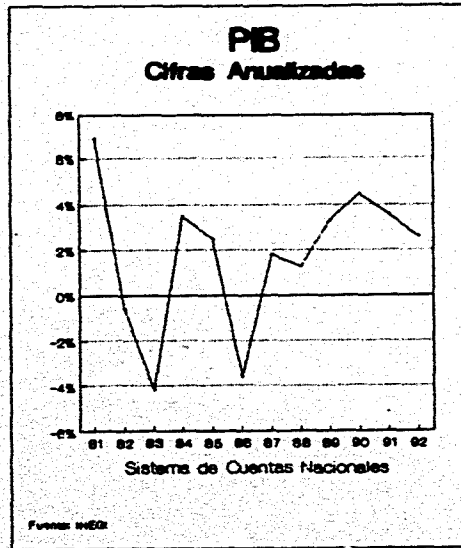


Gráfica 3.5 *Producción Azufre  
(Materia Prima)*

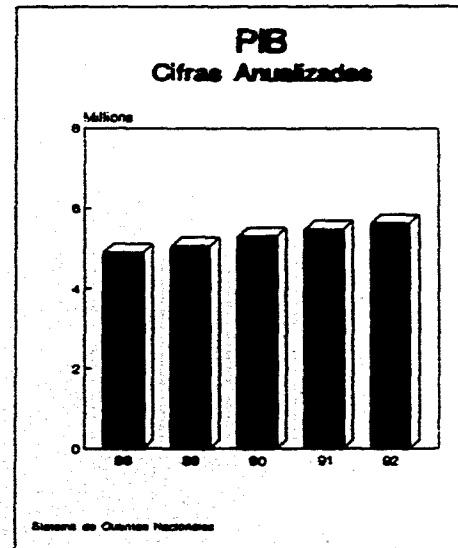


Gráfica 3.6 *Exportaciones Azufre  
(Materia Prima)*





Gráfica 3.7 *Producto Interno Bruto  
& de Variación*



Gráfica 3.8 *Producto Interno Bruto  
Cifras Anualizadas*

Sin duda, la modernización económica mexicana era necesaria a partir de la crisis de la deuda en agosto de 1982. No obstante a la luz de los resultados alcanzados varios errores se cometieron de origen: la desregulación fue insuficiente, la privatización de empresas públicas nunca generó una mayor competencia para reducir los costos del sector industrial y se descuidó el mercado interno al posponerse la aplicación de un programa industrial y agrícola congruente con el acelerado e indiscriminado proceso de apertura comercial.

Se propició una fuerte concentración de riqueza, se prefirió la inversión sobre la producción, provocando una adición al capital extranjero; lo cual llevó a la imposibilidad de crecer sin propiciar graves desequilibrios en las fuentes externas o incrementar la inflación.

En esencia, esos contrastes se explican porque Miguel de la Madrid y Carlos Salinas de Gortari enfatizaron lo económico sacrificando el desarrollo social y posponiendo la reforma política.

En estricta teoría, no puede haber justicia social si antes no hay justicia política.

En 1993 el primero de enero el gobierno quita tres ceros al peso para simplificar las transacciones comerciales y financieras.

Según el informe de labores 1993-1994 que presentó Pedro Aspe como complemento al sexto informe de Salinas, (pág. 18), sólo el 26.7 % de los recursos captados del exterior por concepto de inversión extranjera fueron a inversión directa (plantas, equipos, etc.), el otro 73.3% a cartera. En otras palabras 2/3 partes de esas "entradas masivas de capital", a las que aludió Salinas en la entrevista señalada, no se destinaron a "crear una infraestructura productiva mejor, ser más eficientes" según indicó, sino a invertir en la bolsa.

El capital foráneo fluyó permanentemente y se aplicaba a inversión directa hasta 1993 en donde la inversión extranjera ascendió a 33 mil 331.7 millones de dólares, si bien ya se vio que no toda ella fue a plantas y equipo, sólo una tercera parte. Pero en 1994 la historia fue diferente. A pesar del levantamiento armado en Chiapas durante el primer trimestre de 94 se recibieron nueve mil 634.5 millones de dólares del extranjero, cifra apenas inferior a los 10 mil 889.8 del último trimestre de 1993. Pero después del asesinato de Colosio, en el segundo semestre de este año sólo se captaron dos mil 776.9 millones de dólares, lo que indica un desplome de casi 80% de esa estabilidad en nuestra moneda. En el informe referido de Pedro Aspe la cuenta de capital mostró un superávit de 12 mil 447.3 millones de dólares, hasta junio, ya para entonces inferior en más de tres mil 400 millones a la del mismo lapso en 1993. En el

primer trimestre del 94 el saldo negativo era de seis mil 700.9 millones de dólares frente a un superávit de capital mencionado, mayor a los nueve mil 500 millones de dólares para el segundo semestre el déficit en cuenta corriente crecía hasta alcanzar 12 mil 124.5 millones de dólares en agosto, según el informe de Aspe. Mientras el superávit de la cuenta de capitales decrecía, el desbalance de la cuenta de capitales aumentaba, afectando con ello las reservas.

Algunos especialistas<sup>27</sup> comentaron en diciembre de 1994, que en el mercado los inversionistas siguen mostrando desconfianza por la situación en Chiapas y más aún ahora que la paridad peso/dólar ha sufrido un fuerte ajuste de alza, de ahí que las cotizaciones se encuentren negociándose en su rango máximo. Además, según revelaron los cambistas el mercado cambiario enfrenta una severa crisis de liquidez como resultado de la fuerte demanda de dólares que desde hace varias semanas predomina en el mercado. Lo que hace muy difícil que en las próximas jornadas el billete verde se aparte de su techo. De acuerdo con operadores de diversos estimadores durante la sección salieron mil millones de dólares que se calcula, salieron en los primeros días de este mes de diciembre.

En enero de 1996, el desequilibrio macroeconómico de México durante 1995<sup>28</sup>, marcó una etapa inédita en los países de América Latina debido a que la crisis que agobió al país ocasionó una caída de 7% real en su producto interno bruto. El desempeño de la economía mexicana fue disipar, ya que el único factor que sirvió como válvula de escape fue el sector externo, con el que se evitaron mayores descalabros sobre la evolución del mercado interno.

Según la Cepal el año anterior los precios al consumidor cerraron con un crecimiento de 48.5% anual. Eso fue considerado como el efecto inflacionario de la devaluación de diciembre de 1994, lo que se transmitió prácticamente a todos los sectores de la economía. La inflación fue muy alta en los primeros meses del año ya que además repercutió en el aumento de la tasa de impuesto al valor agregado y en los últimos meses del año la inflación volvió a acelerarse como resultado de la fuerte depreciación del tipo de cambio experimentada a partir de octubre y el aumento salarial de diciembre, con lo que la inflación anual se ubicaría por encima del 50%.

---

<sup>27</sup> 22 de Diciembre de 1994

<sup>28</sup> 4 de Enero de 1996 (15)

## CAPITULO IV Estudio Microeconómico

### 4.1 Panorama Económico de México en 1993

Durante 1993, a pesar de la desaceleración de la actividad económica que se observó a partir del tercer trimestre de ese año en algunos sectores, la economía mexicana registró un crecimiento anual moderado<sup>18</sup>.

Cabe destacar que este ligero avance se dió en un ambiente caracterizado por un control de la inflación que alcanzó la tasa histórica de un sólo dígito, finanzas públicas sanas que permitieron canalizar mayores recursos para el desarrollo social y rural, obteniéndose un superávit total de la balanza de pagos muy superior al de 1992, todo lo cual estuvo acompañado por un elevado dinamismo de las exportaciones no petroleras, reflejándose en menores déficits de la balanza comercial y de la cuenta corriente.

La desaceleración del ritmo de la actividad económica se debió a diversos factores que desalentaron el gasto privado, tanto de inversión como de consumo, tales como la incertidumbre que prevaleció prácticamente a lo largo del año y que se venía manifestando desde 1992 en torno a la ratificación del Tratado de Libre Comercio de América del Norte; el nulo aumento del consumo privado, que a su vez respondió a un crédito bancario más cauteloso; a la carga excesiva de la deuda de muchas empresas y personas físicas y a un mayor desempleo; así como a la disparidad entre la inflación observada y la esperada por muchos agentes económicos, lo que dió como resultado tasas de interés reales superiores a las previstas, repercutiendo en los costos financieros y mermando las finanzas de empresas con elevado apalancamiento.

Los componentes de la demanda agregada reflejaron también el proceso de desaceleración. La formación bruta de capital se contrajo 12.2% con respecto al año anterior, mientras que el consumo privado permaneció en el mismo nivel que en 1992, sólo las exportaciones mostraron un incremento del 1.9% y participaron con el 3.5% del producto interno bruto (PIB).

Así, en términos anuales del valor del PIB a precios constantes registró un crecimiento del 0.4%, inferior en 2.4 puntos porcentuales al de 1992, cifra que se integró por un crecimiento de 1.8% en el sector agropecuario, silvicultura y pesca, un decrecimiento de 0.2% en el sector industrial y un crecimiento de 0.9% en el sector servicios.

---

<sup>18</sup> pags. 13-28 (18)

El sector industrial (Minería, Manufacturas, Construcción y Electricidad), se caracterizó por un crecimiento heterogéneo durante el año en cuestión; por un lado destacan los resultados positivos de la Minería, la cual aumentó su producción en 1.1%; así mismo, la construcción creció a una tasa anual de 3.1%, como resultado de un mayor número de obras como las petroleras y petroquímicas ( Perforaciones de pozos y plantas e instalaciones de refinación), las de electricidad y comunicaciones (Instalaciones telefónicas y telegráficas, líneas de transmisión y distribución de energía), las de edificación ( Viviendas, escuelas, edificios para oficinas, hoteles y hospitales), así como otro tipo de construcciones. La generación de electricidad, gas y agua aumentó 3.9%.

La industria manufacturera, que constituye el rubro más importante del sector industrial, presentó un decremento del 1.5%. Al interior de esta industria, se tiene que en 4 de las 9 divisiones que la integran obtuvieron aumentos en su producción, específicamente alimentos, bebidas y tabaco 0.4%; minerales no metálicos 0.8%; industrias metálicas básicas 2.6% y otras industrias manufactureras 3.7%. En contraste, descendió la producción en la de textiles, vestido y cuero 7.4%; madera y sus productos 10.1%; imprenta y editoriales 6.4%; químicos, derivados del petróleo, caucho y plástico 2.2% y en menor medida los productos metálicos, maquinaria y equipo en 0.6%.

Finalmente, en el sector servicios sobresale el dinamismo de los servicios financieros que aumentaron 4.9%, transporte, almacenamiento y comunicaciones 2.4% y servicios comunales, sociales y personales 1.1%; en contraste el sector comercio, restaurantes y hoteles, registró una disminución del 1.2% en relación al año anterior.

Con los resultados logrados en 1993, se llega a 7 años consecutivos de incrementos anuales en la producción de bienes y servicios.

Por primera vez en los últimos 21 años, la tasa de inflación se redujo a un nivel inferior al 10%, con lo que se avanzó de manera significativa en el propósito de mantenerla dentro de los niveles registrados por los principales socios comerciales de México. Así, a diciembre de 1993, el Índice Nacional de Precios al Consumidor acumuló 8% (11.9% en 1992) y el Índice Nacional de Precios al Productor 4.6% (10.6% en 1992), lo cual se debió a la perseverancia en la aplicación de una política monetaria prudente, a la estricta disciplina en el manejo de las finanzas públicas, a la apertura de la economía, así como a la estabilización de los precios, resultado de las políticas cambiaria y social.

Al 31 de Diciembre de 1993, el saldo de la reserva internacional del Banco de México fue de 24 mil 537.5 millones de dólares, superior en 5 mil 983.3 millones (32.2%) a la cifra de 1992.

El déficit de la balanza comercial totalizó 13 mil 481 millones de dólares, lo que significó una reducción de dos mil 453 millones de dólares (15.4%), respecto a 1992; esta contracción fue resultado del aumento de las importaciones en cinco mil 690 millones de dólares (12.3%), lo que comenzó a su vez en incremento de las importaciones de tres mil 237 millones de dólares (5.2%).

En la cuenta corriente se registró un déficit de 23.4 miles de millones de dólares, mismo que resultó en 1.4 miles de millones de dólares (5.7%) con respecto a 1992. La balanza comercial representó el 57% de la cuenta corriente.

Por otro lado, la cuenta de capital alcanzó un superávit sin precedente de 30,882 millones de dólares, superior en 4,340 millones al del año anterior. Dicho superávit se generó fundamentalmente por la captación de inversión extranjera, la cual sumó un total de 33,331 millones de dólares, cifra mayor en casi 11 millones de dólares a la de 1992 y la cual estuvo integrada por 4,900 millones de inversión directa y 28,431 millones en cartera; de esta última, el 38% se canalizó al mercado accionario, 23% a valores gubernamentales y el restante 39% a la emisión de bonos y papel comercial en el exterior.

Durante 1993, por segundo año consecutivo (sin considerar los ingresos extraordinario por la venta de los bancos y TELMEX), el sector público no financiero obtuvo superávit de caja, primario y operacional de 0.7, 3.7 y 1.1 por ciento del PIB, respectivamente; sin embargo, representó una reducción del 56.2, 35.1 y 56 por ciento, en ese mismo orden, con respecto a las cifras reportadas en 1992.

El cambio estructural permitió aprobar la reforma constitucional para dotar de autonomía al Banco de México y se expidió una nueva Ley que regula a la institución; de igual forma, se modificaron diversas leyes que lo rigen y se autorizó el establecimiento de nuevos bancos privados. En lo referente al sector externo, se efectuaron importantes modificaciones a las leyes de comercio exterior, de inversión extranjera de educación y se reformaron los esquemas de apoyo a la producción del campo a través de PROCAMPO; así mismo entró en vigor el marco legal que norma la competencia en los mercados y se reorientó la política portuaria.

Al analizar el período de 1989-1993 se observa que la economía mexicana registró una tasa media de crecimiento del 2.8%. Este dinamismo se presentó en todos los sectores de la actividad; de tal forma que de las 9 grandes divisiones que integran al PIB, 4 de ellas tuvieron un crecimiento mayor que el de la economía en su conjunto, como es el caso de los sectores del transporte, almacenamiento y comunicaciones con 5.6%; construcción 5.0%; servicios financieros, seguros e inmuebles 4.1% y electricidad, agua y gas 3.1%.

En particular, el crecimiento observado por el PIB de la industria manufacturera, se debió a la dinámica de seis de las nueve divisiones que lo integran, sobresaliendo productos metálicos, maquinaria y equipo con 7.0%; otras industrias manufactureras 5.4% minerales no metálicos, excepto derivados del petróleo 3.9%; alimentos, bebidas y tabaco, 3.0%, quedando por debajo de ellas la división de químicos, derivados del petróleo, caucho y plásticos con 2.0% y la de industrias metálicas con 1.7%.

Dentro de la industria manufacturera se incluye lo referente a químicos, derivados del petróleo, caucho y plásticos, que se integra por diez ramas de actividad económica, de las cuales sólo se consideran cinco para integrar la Industria Química Nacional, por ser éstas las generadoras de los insumos previos al proceso de manufactura.

Tomando en consideración los resultados de la economía mexicana en 1993, se puede concluir que la Industria Química Nacional participó en el PIB total y en la industria manufacturera, con el 1.7 y 7.8%, respectivamente.

Así mismo, la Industria Petroquímica Nacional participó dentro del PIB con el 1.18% en 1993, resultado inferior en 3 centésimas de punto a la del año inmediato anterior.



#### 4.2 Empleo

La industria petroquímica tradicionalmente ha jugado un papel primordial en la economía de las naciones, en virtud de ser la principal fuente de suministro de materias primas, para la elaboración de una gran variedad de productos, habiéndose caracterizado por ser una importante fuente generadora de empleos directos y más aún de tipo indirecto, derivada del alto número de empresas y plantas productivas participantes en estas actividades; sin embargo, en virtud del avance tecnológico, las instalaciones presentan una alta automatización que ha desplazado en gran medida a la mano de obra en diversos procesos productivos, así como los avances en informática han hecho su parte en las áreas administrativas.

Como efecto de la modernización industrial en el marco de una economía globalizada, las empresas se han visto forzadas a reorganizar sus actividades para incrementar su productividad, lo que ha dado como resultado la disminución de la plantilla de personal y el incremento de la eficiencia; así mismo, la libre competencia ha originado que las instalaciones poco rentables tengan que suspender las operaciones de líneas productivas ineficientes y en algunos casos cerrar definitivamente, con el consecuente retiro del mercado y despido de personal.

El cuadro de personal ocupado en la industria petroquímica mexicana refleja esta situación, al presentar una tendencia decreciente para el período 1991-1993<sup>18</sup>. Así, para 1993 se registraron 70 mil empleos, inferior en 9.3% con respecto al año anterior; empero, en términos de productividad significó un incremento del 4.2%, alcanzándose un índice de 296 toneladas producidas por empleado.

Durante los dos últimos años analizados, el personal ocupado en el sector privado disminuyó anualmente a razón de 6.0 y 10.7%, respectivamente, llegando a 47 mil 955 trabajadores al final del período, equivalentes al 68.4% del total de empleos generados en la rama petroquímica.

En los centros productivos de los Organismos Pemex-Petroquímica y Pemex Gas y Petroquímica Básica, el personal ocupado ha mostrado una tendencia similar, al disminuir 3.8 y 5.9% en los dos últimos años del período analizado para llegar a 22 mil 117 empleados, que correspondieron al 31.6% del total de los puestos del trabajo generados en la industria petroquímica nacional.

---

<sup>18</sup> (18)



La sub-rama petroquímica, se encuentra integrada por 15 empresas en operación, distribuidas en 10 estados del país, siendo Veracruz y Michoacán donde se localiza el 38% y el 24% de la capacidad total instalada.

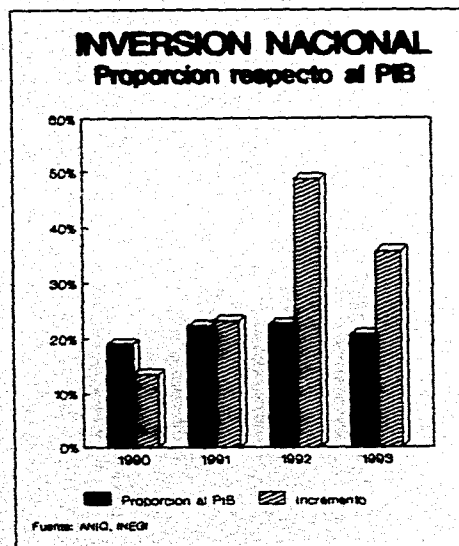
Durante 1993 diversas circunstancias influyeron en el desarrollo de la industria, siendo las más importantes las siguientes:

- El crecimiento de la producción agrícola.
- El deterioro de los precios internacionales de los Fertilizantes.
- El incremento significativo de las importaciones de fertilizantes, desplazando del mercado interno a los productores nacionales.

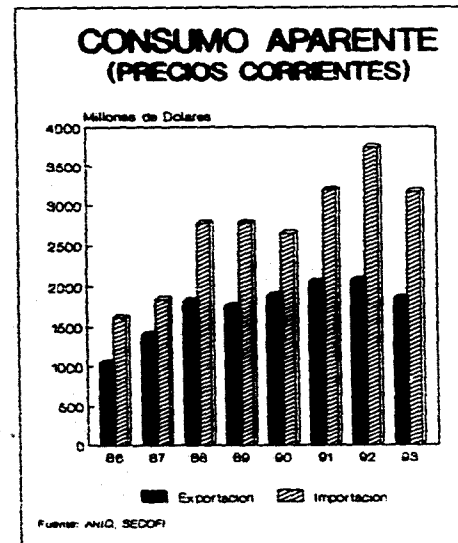
El Banco de México en su informe correspondiente a 1993 señala que el PIB del sector agrícola nacional creció en 3.1%, aspecto favorable para la industria de fertilizantes.

Es importante señalar que a partir de 1991 esta industria entró en un proceso de cambio estructural, a través de la racionalización de inventarios y de la venta de unidades industriales de Fertimex, ocasionando con ello la aparición de nuevas formas de operación y comercialización de las empresas resultantes de la privatización.

Es importante señalar que la producción aun no ha alcanzado el nivel obtenido en 1991, que fue el año previo al inicio del proceso de venta de las unidades industriales de Fertilizantes Mexicanos; así mismo, las importaciones han aumentado mientras que las exportaciones han bajado, situación que en parte ha sido consecuencia de la etapa depresiva que ha enfrentado el mercado internacional de los fertilizantes, ocasionada por la menor demanda por parte de los principales países importadores (India y China), lo que ha generado grandes excedentes que se han tratado de colocar en mercados alternos a precios deprimidos.

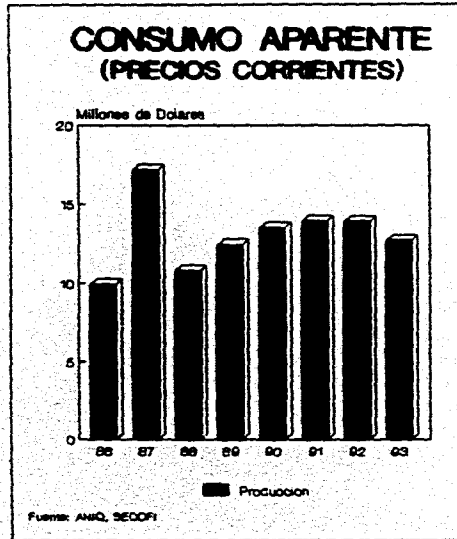


Gráfica 4.1 *Inversión Nacional*  
*Proporción respecto al*  
*Producto Interno Bruto*

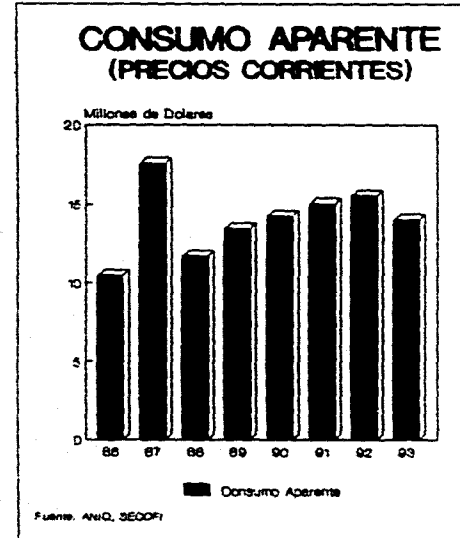


Gráfica 4.2 *Consumo Aparente*  
*Precios Corrientes*  
*Importación y Exportación*

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

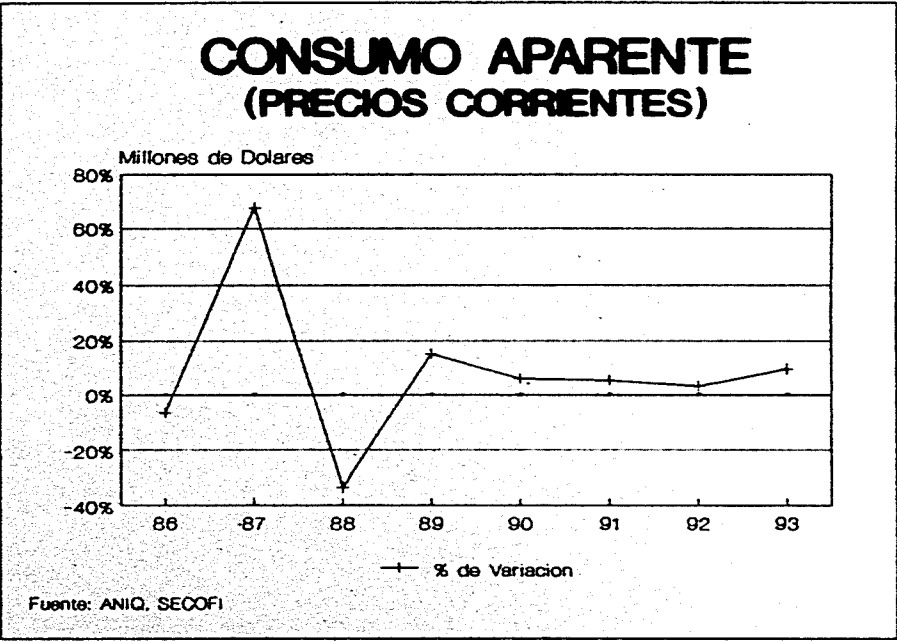


Gráfica 4.3 Consumo Aparente  
Precios corrientes  
Producción



Gráfica 4.4 Consumo Aparente  
Precios Corrientes

# CONSUMO APARENTE (PRECIOS CORRIENTES)



Gráfica 4.5 Consumo Aparente Porcentaje de Variación

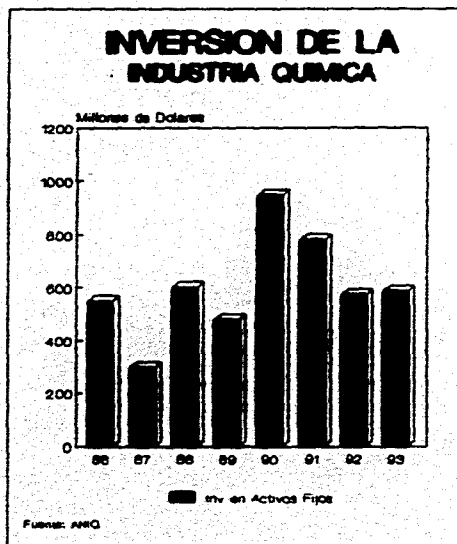
**INDUSTRIA QUIMICA  
LOCALIZACION DE PLANTAS**

	No. Plantas	%
Edo. de México	126	26.9
Veracruz	81	17.3
Distrito Federal	74	15.8
Nuevo León	31	6.6
Tamaulipas	24	5.1
Guanaajuato	23	4.9
Jalisco	21	4.5
Puebla	20	4.3
Durango, Chihuahua, Coahuila, B. California	17	3.6
Morelos	12	2.6
Querétaro, S.L.P. y Michoacán	14	3.0
Chiapas, Oaxaca y Tabasco	9	1.9
Hidalgo	8	1.7
Tlaxcala	8	1.7
<b>Total</b>	<b>468</b>	<b>100</b>

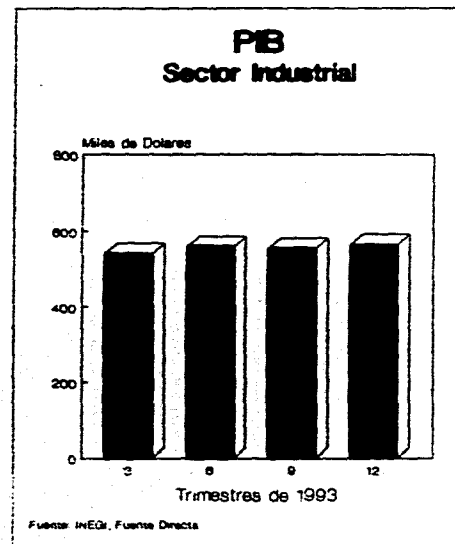
NOTA:  
Incluye las plantas Petroquímicas de PEMEX.

**Productores en el país de H, SQ**

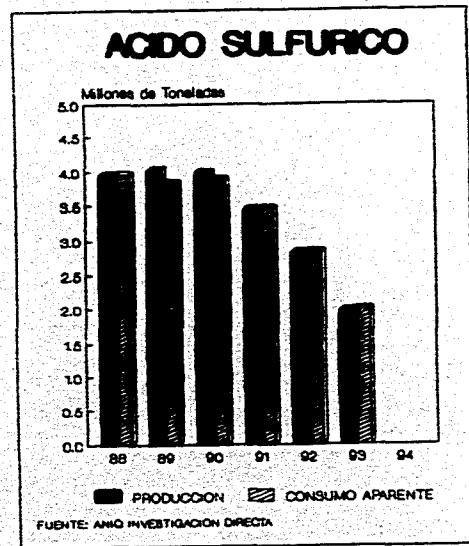
Azufrera Panamericana  
Fenoquimia  
Fertimex  
Ind. Química de México  
Ind. Minera de México  
Ind. Resistol  
Mexicana de Cobre  
Peñoles  
Química Fluor  
Univex



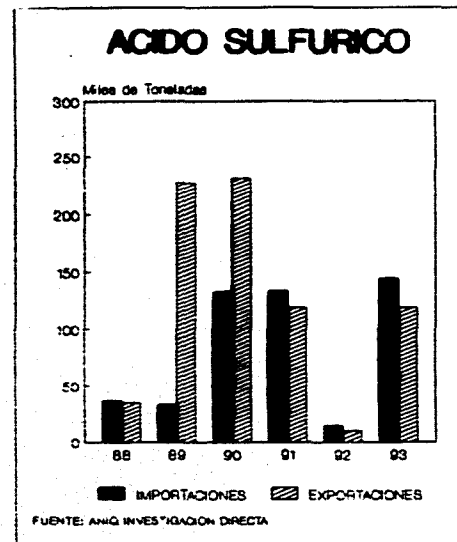
Gráfica 4.6 *Inversión de la Industria Química (Inversión en Activos Fijos)*



Gráfica 4.7 *Producto Interno Bruto Sector Industrial (Trimestres de 1993)*



Gráfica 4.8 *Acido Sulfúrico*  
*Producción y Consumo*  
*Aparente*



Gráfica 4.9 *Acido Sulfúrico*  
*Importaciones y*  
*Exportaciones*

## CAPITULO V ESTUDIO DE MERCADOTECNIA

### 5.1 Marco Referencial

A finales de la década de los 80 y los primeros años de la década de los 90, México ha iniciado un proceso de transformación económica importante.

La inminente afluencia de nuevos productos, nuevos servicios, nuevos competidores y nuevas tecnologías hacen que cada vez sea más difícil conservar a los clientes, por lo que, un Estudio de Mercado, es el establecimiento completo que permite visualizar lo que cada producto o servicio puede lograr en el mercado en un corto o largo plazo, combinando las estrategias de mercadotecnia con un calendario de acción de tal modo que se alcancen las metas.

Con base en estudios de búsqueda de información de mercado se genera información para diseñar las estrategias hacia los mercados más atractivos con la finalidad de colocar los productos más competitivos.

Agrupando la información disponible concerniente a la oferta y la demanda del ácido sulfúrico en los mercados de México, Estados Unidos y Canadá en los últimos años, el cual presenta un producto de gran utilidad para industrias tales como: Fertilizantes, producción de sulfatos, productos químicos, tratamiento de metales, etc. El ácido sulfúrico es un producto de amplio uso, pero por los volúmenes manejados depende en gran medida de la producción de fertilizantes, como consecuencia de esto, durante la última década, la producción y el consumo de este insumo registraron crecimientos importantes estimulados por varios proyectos en la producción de fertilizantes observando un estancamiento en los últimos años que probablemente continuará en el corto plazo ante la ausencia de otros proyectos.

Los consumidores actualmente tienen muchas opciones para proveerse de este insumo siendo el tratado de libre comercio quien se encarga de acrecentar esta tendencia.

### 5.2 Antecedentes de Mercado

En 1985, la capacidad instalada de México fue de 3.949 millones de toneladas anuales. Durante este año Fertilizantes Mexicanos, S.A. dejó de operar las plantas de Cuautitlán y Ecatepec; en ese mismo año, el 30 de septiembre, CELANESE Mexicana S.A. dejó de operar su planta de ácido sulfúrico.<sup>30</sup>

Para 1986, se tuvo un incremento en la capacidad instalada de aproximadamente 8% obteniendo una capacidad total de 4.266

---

<sup>30</sup> (36)



millones de toneladas. En el transcurso de ese año, Zincamex, S.A. cerró su planta la cual contaba con una capacidad instalada de 40,000 toneladas anuales y Fertilizantes Mexicanos S.A. arrancó su planta en Lázaro Cárdenas, Michoacán con una capacidad de 660,000 toneladas anuales.

En 1987, se tuvo otro incremento con relación al año anterior de 9.5% aproximadamente, logrando para este año una capacidad instalada de 4,668 millones de toneladas.

En Mayo de 1988, Mexicana de Cobre, S.A. de C.V., arrancó su planta con una capacidad de 600,000 toneladas por año. A partir de este año, la capacidad instalada en México se incrementó a 5,268 millones de toneladas.

A partir de 1988 hasta 1992 se mantuvo la capacidad instalada al mismo nivel, pero en 1993 esta aumentó un 0.05%, a pesar del cierre de FERTIMEX.

### 5.3 Procesos de Obtención

El ácido sulfúrico, es uno de los productos químicos más importantes para la industria química. Debido a sus propiedades físicas, químicas y a su bajo costo es un insumo de uso muy generalizado y de difícil sustitución. Básicamente, la producción de ácido sulfúrico incluye la generación de dióxido de azufre y la hidratación de este para la formación de ácido.

Los principales procesos de producción son los siguientes:

1. Proceso de las cámaras de plomo
2. Proceso por el método de contacto
3. Proceso de gas-húmedo o de recuperación de ácido sulfúrico a partir de soluciones agotadas<sup>11</sup>.

### 5.4 Materia Prima (Azufre)

El azufre es un reactivo químico ampliamente usado como materia prima y no como componente directo de algún producto terminado, es por eso que generalmente se convierte en un producto intermedio.

El azufre es usado como materia prima, para formar ácido sulfúrico. Por su origen se clasifica en azufre petroquímico o de refinería, y azufre mineral. El primero se obtiene como subproducto de la refinación del petróleo y el segundo se extrae (proceso Frasch) directamente de yacimientos.

Recientemente, algunas compañías metalúrgicas han instalado en sus plantas sistemas de recuperación de azufre y lo producen como subproducto a muy bajo costo. Frecuentemente este azufre es

---

<sup>11</sup> pag. 17 (38)

convertido a ácido sulfúrico por las compañías metalúrgicas directamente.

Por su estado físico el azufre puede clasificarse como sólido o líquido. El primero es generalmente más puro que el segundo.

En México, los productores principales son: Azufrera Panamericana y Compañía Explotadora del Istmo (CEDI), que contribuyen con un 68.5% de la producción total (1993). Estas dos compañías producen azufre mineral basándose en el proceso Frasch. El segundo productor por importancia es PEMEX (único productor importante de la actualidad 1995), que obtiene azufre petroquímico como subproducto de sus procesos de extracción y procesamiento de crudo.

El 11% restante es producido por diversas compañías, entre las que destaca Mexicana de Cobre. Este azufre, como se ha indicado se obtiene como subproducto de procesos metalúrgicos. La característica más importante de este azufre es su bajo costo.

Azufrera y CEDI 68%  
PEMEX 21%  
Otros 11%

La producción de azufre en México se estima alrededor de los 2.6 millones de toneladas en los próximos 10 años. Y aunque el depósito de Jaltiplán, de donde Azufrera Panamericana ha obtenido otros yacimientos cercanos.

Cabe recordar que México cuenta con aproximadamente el 5.6% de las reservas de azufre mundiales, por lo cual, nuevos proyectos de inversión en esta área podrían contribuir a obtener producciones por arriba de lo proyectado.

Es probable que aún con los excedentes internos en el balance de oferta-demanda, México seguirá importando alrededor de 500 mil toneladas anuales.

El único cambio esperado en el mercado de azufre que se prevé, se refiere al precio: los procesos metalúrgicos que pueden producir azufre o ácido sulfúrico a bajo costo, podrían influir significativamente éste a nivel internacional.

De hecho, es posible que si las grandes compañías metalúrgicas, implantan procesos de recuperación de azufre, el precio de éste y del ácido sulfúrico sufrirán una presión a la magnitud importante. El proceso de obtención de azufre Frasch podría dejar de ser rentable si esta tendencia es demasiado fuerte.

Tabla 5.1 Precio del Azufre

Año	(Dólares / Tonelada)
1990	80.14
1991	71.45
1992	43.14
1993	31.86
1994	45.00

Fuente: US. Bureau of Mines, Mineral Comodity Summaries, January, 1995.

Tabla 5.2 Producción Minero-Metalúrgica en la República Mexicana (Período Enero-Julio 95/94).

Unidades	Volumen (Ton)		Valor (miles Nuevos Pesos)	
	1994	1995	1994	1995
Azufre	436,256	439,979	544,319.1	1083764.5

Los valores están calculados sobre la base de cotizaciones internacionales.

Fuente: SECOFI Coordinación General de Minas.  
Dirección General de Minas: Dirección de Estadísticas y Control Documental.

Tabla 5.3 Volumen de la producción Minero-Metalúrgica Nacional durante el Período de 1980-1994.

Año	Azufre (Ton)	Año	Azufre (Ton)
1980	2,102,301	1987	2,303,775
1981	2,077,177	1988	2,139,240
1982	1,815,447	1989	2,086,333
1983	1,602,029	1990	2,122,482
1984	1,825,729	1991	1,814,555
1985	2,019,753	1992	1,484,497
1986	2,050,735	1993	905,713
		1994	876,897

Con una Tasa Media de Crecimiento de 6.1, y un promedio de producción para este periodo, de 1,815,044.

Fuente: SECOFI Dirección General de Minas, Dirección General de Estadísticas y control documental.

Tabla 5.4 *Exportaciones Minero Metalúrgicas durante el periodo 1982-1994 (Toneladas y Miles de Dólares)*

Azufre	Volumen	Valor	Tasa Media de crecimiento por valor (%)
1982	899,524	73,565	5.9
1983	1,040,108	108,476	
1984	832,971	93,439	
1985	853,971	113,034	
1986	1,047,362	134,857	
1987	1,444,615	159,217	
1988	1,733,929	184,397	
1989	1,208,896	146,492	
1990	1,330,902	146,621	
1991	1,335,874	80,077	
1992	1,013,319	149,501	
1993	1,013,319	27,342	
1994	N.D.	33,264	
1995	N.D.	23,560	

Fuente: Dirección de Investigación Económica del Banco de México  
 N.D. No Disponible, durante 1994 el Banco de México no ha publicado cifras de Volumen.

### 5.5 Producto

Como ya se comentó, los productos deben fabricarse pensando en las necesidades del mercado. De acuerdo con el sistema de análisis de productos y mercado, los segmentos de fertilizantes y tratamientos de aguas, tienen mayor atractividad, al igual que competitividad, por lo que la estrategia de producto estará enfocada para aplicarse a estas industrias; en el caso de las industrias consumidoras de ácido sulfúrico, hay que asegurar el conocimiento de la situación prevaleciente y tendencias en el mercado para su aprovechamiento. Los productos se caracterizan con base en la calidad y el servicio.

#### 5.5.1 Calidad

El producto debe cumplir con las especificaciones requeridas por el cliente y comprometidas por el proveedor, la cual, en el mercado industrial es un aspecto que el cliente puede medir. Se debe cubrir todas las necesidades del cliente buscando el beneficio tanto para el cliente como para la empresa u organización productora<sup>33</sup> y de esta forma, se asegurará la permanencia en el mercado.

Hay normas establecidas por países para diferentes productos, como en el caso de las Normas NOM.- Normas Oficiales Mexicanas, y las Normas ASTM.- American Society for Testing and

<sup>33</sup> pag. 36 (38)

Materials, de los Estados Unidos en las cuales, se establecen especificaciones, métodos de muestreo, de análisis y otros, las cuales hay que tener presente.

Entre algunas de las normas relacionadas con el ácido sulfúrico, se puede hacer mención a la norma que trata la especificación del producto (DGN-K-002) en la cual, se clasifica al ácido de acuerdo con su concentración, gravedad específica e impurezas, así como también la norma para el método de muestreo del ácido (DGN-K-230).

Según el uso proporcionado al ácido sulfúrico, la calidad del producto para el cliente se puede diferenciar en la concentración, impurezas contenidas y la turbidez que presenta el producto.

#### 5.5.2 Servicio

Debido a que este es un producto commodity y es poco valorada la información que se pudiera proporcionar relacionada con la producción, información técnica y otros, se puede hablar de elementos de servicio que acompañan al producto como pueden ser: el producto y la calidad, las entregas y la logística, el liderazgo tecnológico y en algunos casos específicos el servicio técnico.

Un producto commodity es aquel que tiene poca diferencia contra un producto con otro (casi idéntico). Es un producto con mucho volumen y muy competido provocando guerra de precios, la cual, se puede controlar mediante el servicio que acompaña al producto y el servicio a clientes proporcionado.

#### 5.6 Precio

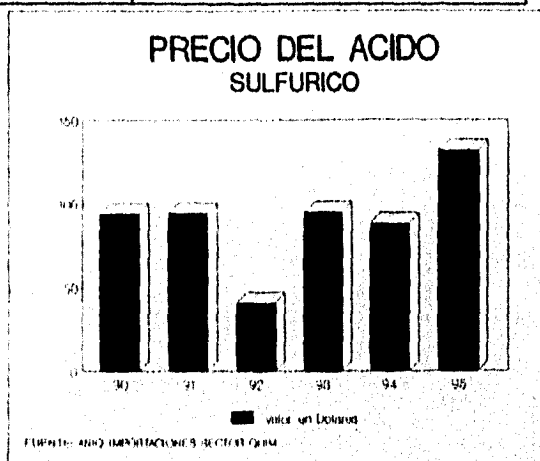
El precio tiene que ser consistente con el producto que se ofrece al consumidor. Como estrategia de precio se requiere tomar una reconsideración de este, sin descuidar el costo del producto para evitar que este último sea mayor que el precio.

Para ser competitivo en el mercado, se tiene que monitorear la evolución de los precios y efectuar una comparación con los de la competencia.

Por ser el ácido sulfúrico un producto de tipo commodity se presenta una guerra de precios, en la que las diferencia entre una empresa y otra se encuentra en la disponibilidad del producto, el precio mismo, el crédito proporcionado al cliente por parte de la empresa, las condiciones de pago establecidas en la negociación y otros. En otras palabras, la diferencia entre dos precios es el servicio que lo acompaña.

Tabla 5.5 Precios del ácido Sulfúrico

Años	Valor en Dólares/Tonelada
1990	94.08
1991	94.73
1992	40.73
1993	95.07
1994	88.37
1995	131.58



### 5.7 Plaza

Se define como el conducto que cada empresa decide escoger para hacer que la distribución de los productos y/o servicios sean de tal manera eficientes y económicos<sup>34</sup>.

La plaza, es un canal de distribución. Los canales de distribución para el ácido sulfúrico pueden ser a mayoreo y/o menudeo el cual se puede entregar directamente en la planta del cliente o en la planta del proveedor por medio de unidades pertenecientes al proveedor, rentadas, contratadas o pertenecientes al cliente, el cual puede ser en pipas o en carros tanque dependiendo de los requerimientos del cliente para el suministro de dicho producto, por lo tanto, hay pocos distribuidores.

Como estrategia para el segmento de mercado de tratamiento de agua, se puede tener una venta directa al consumidor o al usuario final, con la asesoría requerida por el cliente y el proveedor buscando con equidad el mejor beneficio para las dos

<sup>34</sup> pag. 41 (38)

partes. Al mismo tiempo hay que cuidar el suministro del producto buscando la mejor opción para que el consumidor adquiera el producto en el tiempo y lugar adecuado.

Como otra alternativa para la distribución del ácido sulfúrico sería la de instalar tanques de almacenamiento en lugares geográficamente estratégicos para que el suministro, cuando sea frecuente, no sufra demoras y poder suministrar efectivamente el producto a los clientes que de encuentren retirados del centro productor, de igual forma, se podrían instalar tanques de almacenamiento en las plantas de los clientes en los casos en que su capacidad de almacenamiento sea limitada y/o para facilitar el manejo del producto y así tener asegurado al cliente encontrándose la empresa proveedora en ventaja con respecto a la competencia y esto a su vez, darle imagen a la empresa.

### 5.8 Promoción

Este concepto tiene por objeto el facilitar las ventas y mantener informado a los consumidores sobre las empresas y los productos que en ella existen.

La responsabilidad cae en el vendedor y como estrategia de promoción para el segmento del mercado de tratamiento de agua se tendrá que presentar el producto directamente al consumidor apoyado en informes técnicos.

### 5.9 Demanda

La demanda del ácido sulfúrico, se compone de empresas u organizaciones las cuales compran el producto, para ser utilizado en la fabricación de otros productos o para sus usos en las operaciones diarias.

El amplio espectro de aplicaciones que tiene el ácido sulfúrico lo ha hecho uno de los productos químicos de mayor consumo a nivel mundial.

El sector de mayor consumo de ácido sulfúrico es en la producción de Fertilizantes. Esta sub-rama de la petroquímica, se encuentra integrada por 15 empresas en operación, distribuidas en 10 estados del país, siendo Veracruz y Michoacán donde se localiza el 38% y el 24% de la capacidad total instalada.

Durante 1993, diversas circunstancias influyeron en el desarrollo de esta industria, siendo las más importantes las siguientes:

- El crecimiento de la producción agrícola
- El deterioro de los precios internacionales de los Fertilizantes
- El incremento significativo de las importaciones de



Fertilizantes, desplazando del mercado interno a los productores nacionales.

El Banco de México en su informe correspondiente a 1993 señala que el PIB del sector agrícola nacional creció en 3.1%, lo cual es un aspecto favorable para la industria de fertilizantes. Alcanzó un consumo aparente de 3.5 millones de toneladas.

Durante 1993 la producción nacional de fertilizantes ascendió a 3.1 millones de toneladas, 1.4% más que el año anterior. Del volumen total de fertilizantes suministrados al mercado nacional, incluyendo importaciones, el porcentaje entregado por los fabricantes nacionales ha pasado del 94.0% en 1992 al 77.3% en 1993. Lo que indica que el crecimiento de la demanda por efecto de la mayor producción agrícola, ha sido en gran parte con importaciones<sup>33</sup>.

En términos globales, las importaciones de fertilizantes durante 1993, fueron superiores a las efectuadas el año anterior.

En 1993 se exportaron 423 mil toneladas de fertilizantes equivalentes a un ingreso del orden de 40.3 millones de dólares, cantidad inferior en 32% y 42.6% respectivamente a las alcanzadas durante 1992.

#### *Importaciones*

Tabla 5.6 *Importaciones de Fertilizantes*

Año	(Miles de Toneladas)
1985	14.1
1986	54.8
1987	47.8
1988	37.0
1989	33.0
1990	133.0
1991	134.0
1992	14.0
1993	10.0

Fuente: ANIQ (Anuario Estadístico de la Industria Química)

#### *Exportaciones*

En la tabla siguiente se muestran las exportaciones.

<sup>33</sup> (36)



Tabla 5.7 *Exportaciones de Fertilizantes*

Año	(Miles de Toneladas)
1985	0.5
1986	0.3
1987	44.0
1988	34.7
1989	228.0
1990	232.0
1991	119.0
1992	10.0
1993	119.0

FUENTE: Chemical Economics Handbook  
 ANIQ 1993

Uno de los indicadores al hablar de un plan de mercadotecnia para el Acido Sulfúrico son los del consumo aparente.

Con el consumo aparente se puede tener un panorama amplio del producto a analizar, relacionando la producción, las importaciones y las exportaciones que tuvieron lugar en un período determinado y de esta manera, ayudarnos a presupuestar y planear un plan de trabajo para la producción en el siguiente período.

Tabla 5.8 *Consumo Aparente de Fertilizantes*

Año	Consumo Aparente (Miles de Toneladas)
1985	3,336
1986	3,249
1987	3,814
1988	3,953
1989	3,831
1990	3,889
1991	3,282
1992	3,829
1993	1,989

FUENTE: Chemical Economics Handbook  
 ANIQ Anuario Estadístico de la Industria Química Mexicana 1993

### 5.10 Oferta

Actualmente se cuenta con una alta capacidad de producción del ácido sulfúrico y con una larga experiencia desde hace varios años en su producción.

En México, se cuenta desde 1988 con una capacidad instalada total de 5,268 millones de toneladas anuales para la obtención del ácido sulfúrico.

En Estados Unidos, desde 1989 a la fecha se cuenta con una capacidad instalada promedio de 42.600 millones de toneladas anuales.

En Canadá, actualmente se cuenta con una capacidad instalada de aproximadamente 4.843 millones de toneladas, obteniendo el ácido ya sea a partir de gases metalúrgicos o a partir de azufre.

Tabla 5.9 *Acido Sulfúrico (Producción)*

Producción	(Miles de Toneladas)
1985	3.322
1986	3.294
1987	3.130
1988	3.956
1989	4.026
1990	3.983
1991	3.433
1992	2.925
1993	1.964

### 5.11 Aplicaciones

El resto del ácido se distribuye con consumos importantes en sectores tales como: Tratamiento de metales, Acumuladores, Sulfatos, Tratamientos de Aguas, Rayón y Celofán, y productos químicos.

Tabla 5.10 *Indicadores Operativos de la Industria Petroquímica (Fertilizantes)*

Producto	Capacidad Instalada Toneladas		
	1991	1992	1993
Fertilizante Complejo	206.000	532.800	528.080
Fertilizantes Foliares	4.600	5.100	5.100
Fosfato Diamónico	913.215	613.315	665.815
Nitrato de Amonio	368.000	370.000	401.940
Sulfato de Amonio	1.782.700	1.782.700	1.793.000
Urea	1.642.500	1.642.500	1.656.600
<b>Total</b>	<b>4.917.015</b>	<b>4.946.415</b>	<b>5.050.535</b>

Fuente: Elaborado por la Comisión Nal. de Petróleo, Gas y Petroquímica, con datos de la encuesta Petroquímica 1993.

Tabla 5.11 *Producción de Fertilizantes en México*

Producto	Producción (Toneladas)		
	1991	1992	1993
Fertilizante Complejo	175,442	165,064	113,324
Fertilizantes Foliareos	3,987	3,886	3,675
Fosfato Diamónico	599,177	214,196	286,449
Nitrato de Amonio	344,438	85,814	170,398
Sulfato de Amonio	1,292,846	1,536,704	1,293,009
Urea	1,511,609	1,536,704	1,293,009
<b>Total</b>	<b>3,927,499</b>	<b>3,029,171</b>	<b>3,072,196</b>

Fuente: Elaborado por la Comisión Nal. de Petróleo, Gas y Petroquímica. con datos de la encuesta Petroquímica 1993.

### 5.12 Perfil del Acido Sulfúrico en el mercado de Estados Unidos

El ácido sulfúrico es uno de los elementos más ampliamente usados de todas las manufacturas químicas y su tasa de producción ha sido considerada como un índice de la producción química total y de la actividad industrial de una nación.

Para 1969 en los Estados Unidos el consumo promedio por cabeza de azufre fue de 47.08 Kg(103.8 lb), del cual la mayoría, fue hacia la manufactura de ácido sulfúrico.

Las industrias en Estados Unidos consumidoras de ácido sulfúrico, se listan a continuación:

- Industria de Fertilizantes
- Fertilizantes Fosfatados
- Sulfato de Amonio y otros
- Química
- Refinería de Petróleo
- Acero y Metal
- Pinturas y Pigmentos
- Rayón y Celulosa

De éstas la mayor consumidora es la de Fertilizantes, la cual procesa roca fosfórica con ácido sulfúrico para producir superfosfatos.

El ácido sulfúrico es comercializado en los Estados Unidos como un producto pesado.

Se fabrica en numerosos grados y potencias, ya sea para baterías o para la industria de rayón, tinturas y farmacéutica. También se produce en grados de menor exactitud de pureza para su uso en las industrias de acero, químicos pesados y fertilizantes.

Originalmente el Acido Sulfúrico se comercializó en cuatro grados conocidos como:

Acido de Cámara	50	Baumé ('Be)
Acido de <del>ca</del> re	60	'Be
Acido de Vitriolo	66	'Be
Acido Humeante		

A la fecha se comercializan en Estados Unidos en las concentraciones listadas en la tabla 5.8.

Tabla 5.12 Condiciones estándar de Ac. Sulfúrico<sup>16</sup>

Concentración	
Baumé	% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
52	65.13
58	74.36
60	77.67
66	93.19
-	98.00
-	100.00

La manufactura del ácido sulfúrico ha sido una industria básica en los Estados Unidos durante muchos años. Inicialmente la producción de ácido fue concentrada en el litoral del Este, después de la guerra civil la industria se estableció rumbo al oeste y hacia el sur.

La mayor parte del ácido fabricado en los Estados Unidos, se obtiene por el proceso de contacto, basado en tecnologías desarrolladas en 1900. La compañía BASF construyó una exitosa planta de contacto en Estados Unidos en 1898.

A través de los años el número de plantas por el sistema de contacto se incrementó mucho. En la década de los 40's el número de plantas de tipo de cámara era de aproximadamente igual al de plantas de contacto. Las cuales eran de gran capacidad, produciendo 2000 toneladas de ácido diariamente.

Los consumidores al confrontar la tarea de disponer de los desperdicios y ácidos sobrantes encuentran ventaja al arreglar con productores independientes, intercambiando estos desperdicios por ácido fresco. Por lo que se han desarrollado métodos, que permiten a estos productores reprocesar estos desperdicios y

<sup>16</sup> Fuente: The Merck Index

obtener un producto de primera calidad.

### 5.13 Proyecciones

En años recientes se han desarrollado muchas técnicas de pronóstico para poder manejar la variedad y complejidad cada vez mayor de los pronósticos administrativos.

La selección del método dependerá de muchos factores: el contexto del pronóstico, la relevancia y disponibilidad de datos históricos, el grado de precisión que se desee, el período del tiempo respecto al cual se pronosticará, el costo/beneficio (o valor) que tiene el pronóstico para la empresa y el tiempo del que se dispone para hacer el análisis.

Cuando una compañía desea pronosticar respecto a determinado producto, tendrá que considerar la etapa de ciclo de vida del producto respecto al cual se va a pronosticar. Tanto la disponibilidad de datos como la posibilidad de establecer relaciones entre los factores, dependerán directamente de la madurez del producto, por lo que la etapa de ciclo de vida constituirá una determinante del método de pronóstico que deberá de usarse.

El ciclo de vida del producto, se basa e el hecho ampliamente conocido de que un producto o servicio que atiende a un determinado mercado tiene un ciclo de vida que en su forma clásica consta de cuatro etapas básicas las cuales son: 1) introducción, 2) crecimiento, 3) madurez y 4) declinación.

Básicamente el ácido sulfúrico se encuentra en una etapa de madurez, y para evitar la declinación, se puede modificar el mercado ya sea aumentando el número de consumidores y/o penetrando a nuevos segmentos de mercado.

Se han desarrollado varios métodos para graficar la tendencia de la curva de crecimiento en general, entre éstas se encuentran la curva logística de Pearl-Reed y la de Gompertz<sup>37</sup>, siendo ésta última excepcionalmente útil en el análisis de la tendencia de productos químicos y petroquímicos.

Una comparación entre las correlaciones de Pearl-Reed y Gompertz, demuestra que ésta última da proyecciones más seguras para productos de crecimiento rápido, como son indudablemente los químicos y en el caso de productos menos dinámicos, los dos métodos son equivalentes aproximadamente.

La tendencia tendrá mayor significado a medida que se aumenten los datos y se sugiere un número de 40 a 60 puntos, para obtener resultados óptimos. sin embargo, se pueden tener buenas

---

<sup>37</sup> pag. 213, 214 (4)

correlaciones aun con 10 o 12 puntos, entonces hay que tener más cuidado en el tratamiento de los datos.

La ecuación de Gompertz tiene la forma siguiente:

$$\log Y_c = \log K + (\log a) \cdot b^x$$

donde:

Yc Cantidad producida (Kg, Ton, etc.)

x Tiempo transcurrido desde la introducción del producto

n Número de unidades en cada grupo de cálculos

Las constantes son:

$$b^x = \frac{\sum 3 \log Y - \sum 2 \log Y}{\sum 2 \log Y - \sum 1 \log Y}$$

$$\log a = (\sum 2 \log Y - \sum 1 \log Y) \frac{b - 1}{(b^x - 1)^2}$$

$$\log K = \frac{1}{n} \frac{(\sum 1 \log Y) \cdot (\sum 3 \log Y) - (\sum 2 \log Y)^2}{\sum 1 \log Y + \sum 3 \log Y - 2 \cdot (\sum 2 \log Y)}$$

El método se utilizó, dividiendo en tres grupos, con igual número de datos y se aplicaron las ecuaciones arriba mencionadas.

Finalmente la ecuación de Gompertz quedó de la siguiente manera:

Para producción de ácido:

$$\log Y_c = 3.8082 + (-2.1861) \cdot (0.9441)^x$$

Para el consumo aparente:

$$\log Y_c = 3.7279 + (-2.0622) \cdot (0.9368)^x$$

Para el precio del ácido:

$$\log Y_c = 1.0548 + (0.09187) \cdot (1.0680)^x$$

Para el precio de la materia prima (Azufre):

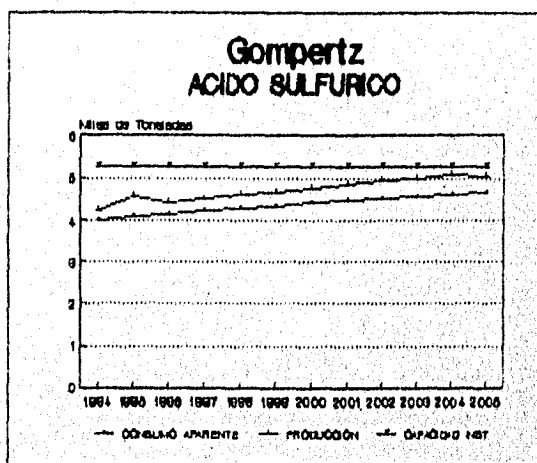
$$\log Y_c = 0.9675 + (0.09112) \cdot (1.0500)^x$$

De la aplicación del método de Gompertz se tuvieron las siguientes proyecciones a partir de 1999.

Tabla 5.13 *Proyecciones*

Año	Producc	C. Aparente	Precio Ac.	Precio Azufre
1999	4676	4345	51.98	24.04
2000	4761	4403	57.66	25.22
2001	4841	4457	64.40	26.51
2002	4918	4508	72.47	27.94
2003	4992	4557	82.20	29.52
2004	5064	4603	94.05	31.27
2005	5015	4647	108.61	33.23
2006	5132	4688	126.64	35.42
2007	5197	4727	149.24	37.87
2008	5258	4763	177.82	40.63

Debido a que se consideraron 2 años de construcción, por lo cual no presentamos los datos correspondientes a estos dos años.



Gáfica 5.2 *Proyecciones para el ácido sulfúrico con la Ecuación de Gompertz*



## CAPITULO VI ESTUDIO TECNICO

La ingeniería de proyectos incluye la planeación y evaluación de procesos así como la Ingeniería Básica; en esta ingeniería también se realiza la selección de tecnologías y aspectos legales en procesos industriales. Otras actividades que también se desarrollan al realizar un proyecto es la Ingeniería de Detalle, procura de equipo, criterios generales para la construcción y arranque de plantas industriales.

En la parte de planeación se fijan los objetivos del proyecto, la fecha de terminación y el alcance que tendrán cada una de las etapas del proyecto; es aquí donde se hace la integración del grupo de personas que serán responsables de la planeación, evaluación y control del proyecto.

La ingeniería básica es la fase inicial de un proyecto industrial, consistente en la elaboración de una serie de documentos a partir de una tecnología dada, que son necesarios para el diseño de los equipos e instalaciones que comprenden las plantas. Dichos documentos comprenden fundamentalmente la Ingeniería del Proceso respectivo, así como información que permita diseñar la planta operable, segura y bajo control<sup>16</sup>.

El desarrollo de un nuevo proyecto usualmente está en función del departamento de mercadotecnia, ya que las tendencias de ventas de productos, las necesidades de nuevos productos y los grados o cualidades de los mismos son determinadas por las investigaciones que realiza este departamento.

Dentro de la investigación que se realiza en mercadotecnia se estudia la aceptación del producto, su participación en el mercado (oferta, demanda, importación y exportación), se estudian los procesos para su producción y por su puesto se hace un análisis de los problemas relacionados al control de la contaminación ambiental.

Una vez que los resultados obtenidos de los estudios anteriormente indicados, se procede a identificar las propiedades principales del producto que son esenciales para el diseño de la planta y para tener ventas exitosas.

Debido a la importancia que tiene el estudio preliminar de mercado es necesario puntualizar las tres actividades fundamentales que lo constituyen: (i) La estadística histórica del consumo, (ii) La cuantificación de la demanda presente y (iii) la proyección de la demanda futura. Lo cual se ha revisado ampliamente en los capítulos III, IV y V.

---

<sup>16</sup> IMIQ, A.C., Curso de Ingeniería de Proyectos, Vol. I. Convención Nacional, Guadalajara, Jal., Oct. de 1981.



## 6.1 Ingeniería Básica

### 6.1.1 Bases de Diseño

El objetivo que persigue el presente estudio es para satisfacer la demanda de ácido sulfúrico en el país, debido a que la producción nacional no cubre la demanda del mismo, siendo necesaria la importación del producto. Para tal objeto se pensó en el diseño de una planta que produzca 100000 ton anuales por el método de contacto, habiendo sido seleccionada la tecnología CHEMICO; esta consideración está basada en el estudio técnico-económico realizado con anterioridad.

### 6.1.2 Función de la Planta

Producción de ácido sulfúrico a partir de azufre por el método de Contacto, integrando el concepto de cogeneración en su proceso para el autoabastecimiento de vapor y energía eléctrica.

### 6.1.3 Tipo de Proceso

Se ha seleccionado la tecnología Chemico, la cual consiste en la oxidación del azufre líquido a dióxido de azufre, posteriormente este mismo se oxida hasta tener el trióxido de azufre, el cual mediante absorción del agua se convierte en ácido sulfúrico. Al tener una gran producción de vapor en el proceso se ha integrado la cogeneración, para producir la energía eléctrica necesaria para la planta y de ser posible para exportación de la misma hacia otra planta vecina; para tal fin se requiere que la producción de energía sea aproximadamente de 20 MWatts, y en nuestra planta se logran producir 4.5 MWatts.

### 6.1.4 Capacidad, Rendimiento y Flexibilidad

La planta está diseñada para operar 330 días al año, con lo cual obtenemos un factor de servicio de 0.92.

Como ya se estimó en el estudio de mercado, la capacidad inicial de operación será de 308 toneladas diarias.

La eficiencia de la tecnología empleada es del 98% de conversión de la materia prima, lo que representa una producción de casi 3145 Kgmol de ácido por día.

En cuanto a la flexibilidad, la planta no seguirá operando a falta de energía y de vapor, pero se deberá disponer de las facilidades para realizar un paro de la planta en forma ordenada.

Se cuenta con los recursos suficientes para que no se presenten los problemas de falta de aire y de agua de enfriamiento.

No se consideran ampliaciones futuras.

### 6.1.5 Especificación de las alimentaciones a la planta

Listar las diferentes alimentaciones al proceso.

#### Azufre

Estado físico: líquido

Calidad: 99.45%, libre de arsénico, selenio y telurio, puede contener pequeñas cantidades de ceniza, humedad y ácido sulfúrico.

Análisis	
Cenizas	0.10
Humedad	0.10
Carbón	0.30
Acidez	0.05
Pureza	99.45

#### Acido Sulfúrico

Estado físico: líquido

Calidad: 98% en peso. Tipo I (grado A).

#### Aire

Estado físico: gas

Calidad: húmedo (80% Humedad Relativa)

#### Agua para la caldera

Estado físico: líquido

Calidad: Desmineralizada

Condiciones en límites de batería				
Variables	Azufre	Aire	Acido	Unidades
Temperatura	135	50	50	°C
Presión	0.20	1	-	Atm
Estado Físico	L	G	L	
Forma de Recibo	Carros Tanque	Ambiente	Tambores	

Nota: L - Líquido, G - Gas

### 6.1.6 Especificación de los productos

Indicar las especificaciones y/o composición que deberán tener los productos de la planta, así como el flujo requerido.

#### Acido Sulfúrico

Estado físico: Líquido  
Calidad: 98% peso mínimo  
Composición: 25% Oleum

#### Vapor

Estado físico: Gas  
Calidad: Vapor de Alta

<i>Condiciones de los productos en límites de batería</i>				
Variables	Oxígeno	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 98%	Vapor	Unidades
Temperatura	447.22	50	399	°C
Presión	0.3630	--	2.03	Atm
Estado Físico	G	L	G	
Destino	Los gases se llevarán a una lavadora de gases, el líquido será transportado al tanque de almacenamiento.			

### 6.1.7 Agentes Químicos

Acido Sulfúrico  
Estado Físico: Líquido  
Calidad: 98% peso

### 6.1.8 Efluentes Químicos

El diseño de los sistemas de tratamiento de los efluentes líquidos y gaseosos se apegará a la normatividad mexicana de emisiones de fuentes estacionarias de acuerdo a su objetivo de control.

Objetivo a controlar<sup>39</sup>:  
Fuente estacionaria específica

Plantas productoras de ácido sulfúrico  
Norma Técnica: NTE-CCAT-001/88

<sup>39</sup> (29)

Combustión de gas natural  
Norma Técnica: NTE-CCAT-008/88

#### 6.1.9 Instalaciones requeridas de almacenamiento

No está dentro del alcance del diseño del proceso.

#### 6.1.10 Servicios auxiliares

##### Vapor

El vapor será generado dentro de la planta.

Vapor de alta presión:

Variables	Normal	Máxima	Unidades
Presión	42.11	44.14	Atm
Temperatura	399	440	°C
Calidad	Sobrecal.		
Disponibilidad	La requerida		

Vapor de baja presión:

Variables	Normal	Máxima	Unidades
Presión	4.45	9.58	Atm
Temperatura	155	--	°C
Calidad	Saturado		
Disponibilidad	La requerida		

#### 6.1.11 Retorno de condensados

El vapor de alta presión se empleará en la misma planta para el funcionamiento de las turbinas y la generación de energía eléctrica.

El condensado de baja presión en L.B. se retorna a las siguientes condiciones:

Presión Mínima      2.21 Atm  
Temperatura          54°C

#### 6.1.12 Agua de enfriamiento

Fuente de Suministro:      L.B.  
Sistema de enfriamiento:    Torre de enfriamiento  
Presión de entrada en L.B.: 4.07 atm

Temp. de entrada en L.B.: 32°C  
Disponibilidad: La requerida  
Presión de retorno: 1.94 atm  
Temperatura de retorno: 46°C

*6.1.13 Agua para servicios y usos sanitarios*

(Integración de servicios)

*6.1.14 Agua potable*

Se suministrará en garrafones.  
Análisis químico: AWWA

*6.1.15 Agua contra incendio*

Estará de acuerdo a las normas de la NFPA  
La presión mínima de suministro será de 10 atm  
Se acepta cruda y agua filtrada  
Se deberá tener una fuente secundaria de agua para permitir un combate continuo mínimo de 2 horas. Dicha fuente se tendrá que reponer en un tiempo no mayor a 5 horas.

*6.1.16 Agua para Calderas*

Presión en L.B.	3.4 atm
Temperatura en L.B.	32°C
Disponibilidad	La requerida

*6.1.17 Agua de proceso*

Fuente suministro	L.B.
Presión	3.41 atm
Temperatura en L.B.	32°C
Disponibilidad	La requerida

*6.1.18 Aire de instrumentos*

El aire de instrumentos será suministrado de L.B., sin impurezas.

El aire de instrumentos deberá tener las siguientes condiciones:

Presión: 6.78 atm  
Punto de Rocío: -40°C

### 6.1.19 Aire de planta

El aire de planta será utilizado para la limpieza del área de proceso, así como para limpiar algunas áreas de instrumentos.

El aire de proceso deberá tener las siguientes condiciones:

Presión: 6.78 atm  
Temp de rocío: 38°C

### 6.1.20 Combustible

Debido a la decreciente producción de gas natural en el país, y a que nos encontramos en una ciudad con la restricción de usar gas; se utilizará combustóleo ecológico como combustible; el gas natural se utilizará como una alternativa en caso de falta de combustóleo, y se traerá del gaseoducto de Cd. Pemex.

Combustóleo Ecológico	
Estado físico	Líquido
Fuente de suministro	Pemex
Análisis químico	Azufre 3.5% máximo
	Carbón 8% máx., 7% mín.
	Metales 200ppm
Poder Calorífico	9515 Kcal/Kg
Presión en L.B.	4.83 atm
Temperatura en L.B.	85°C
Disponibilidad	La requerida
Gravedad específica	1 máximo, 0.99 mínimo

Gas natural	
Estado físico	Gas
Fuente de suministro	Gaseoducto cd. Pemex
Poder Calorífico	8944 Kcal/Kg
Disponibilidad	La requerida
Gravedad específica	0.5738
Peso específico	16.6

#### 6.1.21 Refrigeración

No aplica

#### 6.1.22 Alimentación de energía eléctrica

Fuente de suministro:	CFE
Tensión:	4160 Volts
Número de fases:	3
Frecuencia:	60 Hz
Factor de potencia, min:	0.85
Acometida:	subterránea
Interrupciones:	
Frecuencia	5 veces/año
Duración	10 min
Material del conductor:	Cobre eléctrico
Aislamiento del conductor:	XLPE

#### 6.1.23 Suministro de Energía eléctrica

En la ingeniería de detalle se realizará el estudio de cargas preferenciales.

#### 6.1.24 Teléfonos

El sistema será instalado por otros.

#### 6.1.25 Condiciones climatológicas

##### Temperatura

Máxima extrema:	42°C
Mínima extrema:	12°C
Máxima promedio:	39°C
Mínima promedio:	14°C
Bulbo húmedo prom:	28°C

##### Precipitación pluvial

Máxima en 24 Hrs:	24.26cm
Máxima en 1 Hr:	0.672cm
Promedio anual:	285.82cm
Días con lluvia apreciable:	15

### Viento

Dirección de vientos reinantes:	NNW a SSE
Dirección de los vientos dominantes:	de N a S
Velocidad media de aire:	6450 m/Hr
Máxima medición registrada:	59040 m/Hr

### Humedad relativa

Máxima:	87%
Normal:	80%
Mínima:	76%

### Atmósfera

Presión atmosférica:	1 atm
Atmósfera corrosiva:	si
Contaminantes:	Humedad, desechos (SO <sub>2</sub> , SO)

#### *6.1.26 Localización de la planta*

La planta estará ubicada en Cosoleacaque, Veracruz. Debido a que existen dos plantas productoras de azufre en este estado asegurándonos el abastecimiento de la materia prima.

#### Coordenadas geográficas:

Altitud:	49m
Longitud:	94°38'
Latitud:	18°00'
Coordenadas en L.B.:	Pendientes
Elevación de la planta:	Pendiente

#### *6.1.27 Bases de diseño eléctrico*

Se diseñará por otros con la aplicación de las mejores técnicas para llevar energía eléctrica a equipos, alumbrado y comunicaciones mediante diseños económicos. Se deberán especificar los equipos eléctricos, elaborar el diagrama unifilar, elaborar planos de clasificación de áreas, elaborar planos de distribución de fuerza, así como planos de alumbrado, planos de tierras y apartarayos, planos de comunicaciones y sonido, diagramas de control eléctrico, diseño de centros de control de motores y subestaciones, listas de materiales eléctricos.



#### 6.1.28 Bases de diseño para tubería

Se deberán aplicar para el diseño de tubería las normas ANSI y API.

El diseño de tubería se realizará tomando como base los diagramas de tubería e instrumentación así como el plano de localización general; así mismo de información de las especialidades, dibujos de fabricantes, etc.

El tipo de soportes será estructural con protección de concreto a prueba de fuego.

Los drenajes serán construídos en las áreas de proceso, serán de concreto y con algunas variantes: drenaje pluvial, drenaje para ácidos, drenaje sanitario, etc. El sistema será diseñado por otros.

#### 6.1.29 Bases de Diseño Civil

Se elaborarán: cálculos y diseño de cimentaciones de equipo de la planta, cuartos de control y los que requieran en el proyecto, soportaría de equipo o tubería metálica o de concreto, plataforma de perforación, drenajes, parteaguas, registros, ductos y pavimentos, estudios para la elaboración mecánica de suelos, dibujos en detalle, especificaciones, listas de materiales y recomendaciones de construcción de elementos civiles.

##### Regulaciones por viento y sismos

Se acepta el manual de obras civiles de CFE  
Para efectos sísmicos el terreno se clasificará como firme.

##### Nivel de piso terminado

Pendiente, por definir.

##### Edificios o construcciones dentro de los L.B.

Se contará sólo con los edificios necesarios para el funcionamiento, control y seguridad de la planta.

##### Información general sobre el tipo de suelo

Como criterio general, el estudio de mecánica de suelos debe cumplir con los requerimientos establecidos en la norma NDC'1402.

Los servicios e información que deberán proporcionar el especialista de mecánica de suelos son:

- a) Asesorar al contratista durante todo el proyecto, en todos los aspectos relacionados con el sistema de cimentaciones.
- b) Presentar el reporte del estudio de suelos del lugar.

#### Clasificación de zona de temblores

La planta se encuentra dentro del cinturón circunpacifico, lo que nos indica que si hay posibilidad sísmica, sin embargo, según el código CFE se considera el suelo estable.

Áreas sísmicas: 3  
Intensidad de diseño sísmica: 0.18  
Zona: Estable  
Magnitud de sismos: 7 a 7.5  
Factor de diseño de estructuras: 0.18

#### 6.1.30 Bases de diseño para instrumentos

Se deberán elaborar los diagramas de instalación de la planta, diseñar los tableros de control, elaborar listas de materiales e instrumentos.

#### Tablero de control

Consola con control distribuido

#### Tipo de Instrumentación

Se empleará un tipo de instrumentación analógica

#### Calibración de instrumentos

La calibración de instrumentos se hará en las siguientes unidades:

Presión:	atm
Temperatura:	°C
Flujos:	
Gases	m <sup>3</sup> /Hr estandar
Líquidos	m <sup>3</sup> /min

### 6.1.31 Bases de diseño para equipo

#### Equipo de Enfriamiento

Se promoverá el uso de aire como medio de enfriamiento hasta donde sea posible, para fomentar el ahorro en el consumo de agua. En donde no sea posible, se complementará con agua de enfriamiento.

#### Bombas

Tipo de accionadores, motores eléctricos cerrados con ventilación (TCCV), salvo el caso en que se requiera turbina se contará con bombas de reelevo.

#### Recipientes

La presión de diseño será del 10% o 1.94 atm, arriba de la presión máxima de operación, la que resulte mayor.

Se deberán diseñar los recipientes atmosféricos según el código API.

El diseño de recipientes será: recipientes atmosféricos y a presión, soportes internos de torres, diseño de reactores, adquisición de equipos.

#### Intercambiadores de calor

Se diseñarán de acuerdo al código TEMA

Se diseñarán los cambiadores de calor requeridos, y su diseño será termodinámico.

Se deben elaborar dibujos en detalle, dimensionales, especificaciones y lista de materiales de estos equipos para su adquisición.

#### Diseño mecánico

Los equipos aquí considerados, aunque son fabricados y garantizados por el fabricante, deben cumplir las especificaciones que se basan en las normas y códigos internacionales como: API, NEMA, ASME, ANSI, etc.

Se deben especificar para su adquisición equipos mecánicos como: compresores, bombas, sopladores, torre de enfriamiento de aguas y grúas.

6.1.32 Normas, Códigos y Especificaciones

Tipo de Equipo o Actividad	Norma, Código o Especific.
Recipientes a presión	ASME
Tuberías y accesorios	ANSI
Electricidad	NEMA, NEC
Ruido	SEDESOL, Pemex
Seguridad	API, ASME, NFPA
Instrumentación	ISA
Cambiadores de calor	TEMA, ASME, ANSI
Bombas y compresores	API
Desechos	Normas Técnicas de SEDESOL
Materiales	ASTM
Construcción	CFE

Nota: las siglas aquí usadas para las normas son las siglas en inglés, por ejemplo:

American Society of Mechanical Engineers  
 Tubular Exchanger Manufacturers Association  
 American Society for Testing and Materials  
 American National Standards Institute

**6.2 Balances de Materia y Energía**

**6.3 Diagrama de Flujo de Proceso**

Tabla 6.2.1 Balance de Materia

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
S	0.9945																		S
SO <sub>2</sub>				0.0100	0.0763	0.0763	0.0763	0.0187	0.0187	0.0022									SO <sub>2</sub>
SO <sub>3</sub>				0.98				0.0746	0.0746	0.2847	0.2652								SO <sub>3</sub>
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			0.98									0.98	0.98	0.98	0.98				H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
N <sub>2</sub>					0.7981	0.7981	0.7981	0.7163	0.7163	0.7309	0.7325					0.7967	0.7900	0.7900	N <sub>2</sub>
O <sub>2</sub>		0.2036			0.1550	0.1550	0.1550	0.1904	0.1984	0.0022	0.0022					0.2036	0.2100	0.2100	O <sub>2</sub>
H <sub>2</sub> O	0.0019	0.0302	0.0200									0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0302			H <sub>2</sub> O
mol/hr	140	3418	308	3	1986	1986	1986	1462	1462	418	415	131	1228	5154	4190	3418	1989	1326	mol/hr
Kg/hr	4464	97460	30184	214	57297	57297	57297	48720	48720	40416	40329	12842	120330	410636	496836	97460	57681	38454	Kg/hr
T °C	135	26	50	75	850	220	410	600	510	440	220	101	80	70	50	26	50	45	T °C
P atm	0.2000	1	1.5	0.098	0.1840	0.1800	0.1710	0.3630	0.3310	0.1350	0.1080	0.1080			0.4320	0.9960	0.1860	0.1355	P atm
Estado Físico	L	G	L	G	G	G	G	G	G	G	G	L	L	L	L	G	G	G	Estado Físico

### 6.2.2 Balances de Energía

#### Cámara de Oxidación:

$$Q = 100500 \ell \cdot 1.7908E-4 \text{ (mol/}\ell\text{min)} \cdot (-70.96 \text{ Kcal/mol}) - 102.188 \text{ (Kg/hr)} \cdot 0.1940 \text{ (Kcal/Kg}^\circ\text{C)} \cdot (761.11^\circ\text{C})$$

$$Q = -981942.5592 \text{ Kcal/hr}$$

#### Caldera:

$$Q = 102.1884 \text{ (Kg/hr)} \cdot 0.1940 \text{ (Kcal/Kg}^\circ\text{C)} \cdot (788 - 1600)^\circ\text{C}$$

$$Q = 17088.7617 \text{ Kcal/hr}$$

#### Convertidor:

$$Q = 4300.80 \ell \cdot 2.165E-4 \text{ (mol/}\ell\text{min)} \cdot (-23.49 \text{ Kcal/mol}) - 125.1534 \text{ (Kg/hr)} \cdot 0.2235 \text{ (Kcal/Kg}^\circ\text{C)} \cdot (447.22 - 418.33)^\circ\text{C}$$

$$Q = -49798.62 \text{ Kcal/hr}$$

#### Economizador:

$$Q = 125.1534 \text{ (Kg/hr)} \cdot 0.2235 \text{ (Kcal/Kg}^\circ\text{C)} \cdot (-447.22 + 251.67)^\circ\text{C}$$

$$Q = -5469.8825 \text{ Kcal/hr}$$

#### Torre de Absorción:

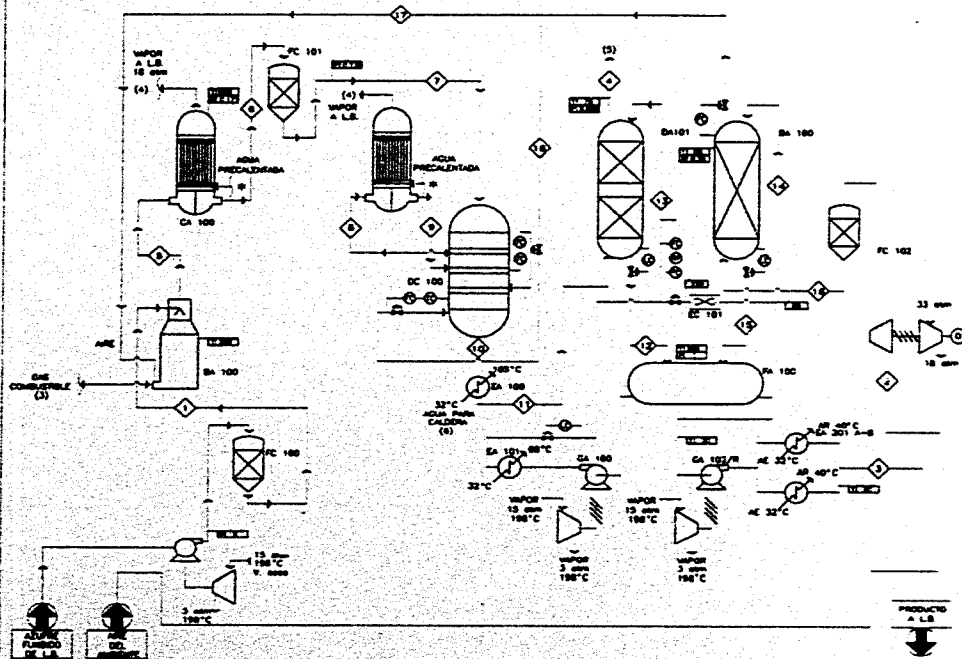
$$Q = 91.82 \ell \cdot 2.63329E-4 \text{ (mol/}\ell\text{min)} \cdot (-31.18 \text{ Kcal/mol}) - 150.2389 \text{ (Kg/hr)} \cdot 0.4013 \text{ (Kcal/Kg}^\circ\text{C)} \cdot (251.67 - 76.11)^\circ\text{C}$$

$$Q = 636311.32 \text{ Kcal/hr}$$



S	0.225																S			
SO <sub>2</sub>	0.0100 0.0283 0.0783 0.0783 0.0187 0.0187 0.0077																SO <sub>2</sub>			
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.98																H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			
N <sub>2</sub>	0.7981 0.7981 0.2981 0.2183 0.2183 0.7328 0.7328																N <sub>2</sub>			
O <sub>2</sub>	0.1550 0.1550 0.1550 0.1804 0.1804 0.0272 0.0272																O <sub>2</sub>			
H <sub>2</sub> O	0.0018 0.0302 0.0200																H <sub>2</sub> O			
mol/hr	140	3418	328	3	1998	1998	1988	1482	1482	418	415	131	1228	5154	4180	3418	1988	1328	mol/hr	
Kg/hr	6850	87880	30184	214	57297	57297	57297	48720	48720	40416	40328	12862	120330	410538	498836	87480	57881	38454	Kg/hr	
T °C	135	38	30	75	850	220	410	600	510	440	220	101	80	70	30	28	50	45	T °C	
P atm	0.2800	1	1.5	0.998	0.1880	0.1880	0.1718	0.3839	0.3318	0.1200	0.1080	0.1080			0.4320	0.9980	0.1880	0.1354	P atm	
Estado Físico	L	G	L	G	G	G	G	G	G	G	G	L	L	L	L	G	G	G	G	Estado Físico

NOTAS  
1 - Flujo de vapor de agua  
2 - Agua condensada de 100 °C  
3 - Agua condensada de 130 °C  
4 - Vapor de agua a 130 °C  
5 - Agua condensada de 100 °C a 130 °C  
6 - Agua condensada de 130 °C a 100 °C  
7 - Agua condensada de 130 °C a 100 °C



CLAVE	SERVICIO	CARACTERÍSTICAS
BA-100	Columna de absorción de SO <sub>3</sub>	Columna de 2 etapas
CA-100	Cámara de contacto	Columna de 1 etapa
DA-100	Columna de deshidratación de SO <sub>3</sub>	Columna de 1 etapa
DA-101	Columna de deshidratación de SO <sub>3</sub>	Columna de 1 etapa
FC-100	Condensador de SO <sub>3</sub>	Condensador de 1 etapa
FC-101	Condensador de SO <sub>3</sub>	Condensador de 1 etapa
FC-102	Condensador de SO <sub>3</sub>	Condensador de 1 etapa
PC-100	Calentador de gases	Calentador de 1 etapa
PA-100	Producto	Producto de 1 etapa

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE  
MEXICO, C.U.



FACULTAD DE QUIMICA

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNICO ECONOMICA  
DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE ACIDO SULFURICO

AUTORIZO : E F E  
G C M



#### 6.4 Lista de Equipo

Clave	Servicio	Características
EA-100	Cámara de Oxidación de Azufre Líquido	3000mm DI * 4000mm T-T
CA-100	Caldera de Recuperación de calor de gases No. 1	Q = 17089 Kcal/hr Vapor Producido 44850 Kg/hr
CA-100A	Enfriador de gases del reactor No.2	Q = 3821 Kcal/hr Vapor Producido 20150 Kg/hr
DA-100	Torre de Secado de Aire	1500mm DI * 10000mm T-T
DA-101	Torre de Absorción	1500mm DI * 10000mm T-T Anillos Rashing 1"
DC-100	Reactor Catalítico	3000mm DI * 12000mm T-T
EA-100	Economizador	Q = 5470 Kcal/hr
EA-101	Enfriador de Acido Recirc.	Q = 25205 Kcal/hr
EA-102AB	Enfriador de Acido para L.B.	Q = 15583 Kcal/hr
EC-101	Enfriador de Aire	Q = 7863 Kcal/hr
FA-100	Tanque de Bombeo de Acido al 98%	10000mm DI * 7000mm T-T
FC-100	Filtro de alimentación de Azufre Líquido	1500mm DI * 3000mm T-T
FC-101	Filtro de Gases de SO <sub>2</sub>	14000mm DI * 7000mm T-T
FC-102	Filtro de Aire	3000mm DI * 3000mm T-T
GA-100	Bomba de Alimentación a la Torre de secado y Abs.	0.208m <sup>3</sup> /min ΔP = 0.816 atm
GA-101	Bomba de Alimentación de Azufre Líquido	8.117m <sup>3</sup> /min ΔP = 0.885 atm
GA-102	Bomba para enfriamiento del Acido como producto	0.439m <sup>3</sup> /min ΔP = 0.816 atm

## Capítulo VII Estudio Económico Financiero

En este capítulo se presenta un panorama de las actividades económicas de la planta en los 10 años de operación.

El análisis económico es la determinación de la relación entre los ingresos, los gastos y la situación económica material de la compañía.

### 7.1 Bases Económicas

El estudio económico se realizó de acuerdo al esquema actual de operación, con un horizonte de planeación de 12 años, estimando 2 años de construcción y 10 años de operación en dólares americanos y precios corrientes.

### 7.2 Inversión

Para el estimado de inversión se tomó con base al predimensionamiento del equipo y de la planta misma.

En un estudio previo se realizó un Quick Study, en el cual por métodos rápidos se hizo una evaluación del costo total de la planta.

A continuación se mencionan los métodos utilizados para la estimación de la inversión.

#### *Método de Escalamiento*

Este método es aplicable cuando se tiene el costo de una planta ya existente y que se carece de otro tipo de inversión, por lo que este método es tan sólo una aproximación para tener una idea del costo que puede tener la planta. También es conveniente mencionar que cuando se hace un escalamiento hacia arriba, como ocurre en nuestro caso se tiene un mayor margen de error, por que por lo general queda corta la estimación del costo real.

$$C_2 = (S_2 / S_1)^n C_1$$

Donde:

$S_2$ , Son las capacidades

$C_1$ , Son los costos de la planta

Se tienen los datos del costo de una planta de una capacidad de 330 MT / año<sup>40</sup>.

Una variante de este método es hacer el escalamiento considerando la inflación, por lo que la ecuación anterior quedaría de la siguiente forma:

$$C_2 = (S_2 / S_1)^R (I_2 / I_1) C_1$$

Donde:

$0.2 < R < 1.1$  (por lo general se usa 0.6)

$I_1, I_2$  son los valores correspondientes a la inflación un determinado año

Cuando el tamaño de la planta nueva es mucho más grande que de la planta de la cual tomamos como referencia se consideran las siguientes modificaciones al parámetro R.

Para tamaños mayores:

2 veces  $R = (0.5) + R$

3 veces  $R = (1) + R$

#### *Método con el Costo del equipo principal*

Otro Método de evaluación es utilizando el costo del equipo principal, para lo cual se necesita conocer el equipo principal del proceso.

Para este método se pueden revisar las cotizaciones de los diferentes fabricante, o bien investigar los costos aproximados publicados en la bibliografía.

Se revisó en la bibliografía la lista que presentan en el Perry<sup>41</sup> y de allí se obtuvieron la mayoría de los costos de los equipos principales, con estos valores se realizó la suma correspondiente y se obtuvo un valor de lo que costaría el equipo. Como este método es muy susceptible de estar lejos del costo real se completó con otro método<sup>42</sup>.

---

<sup>40</sup> Cap. 3 (3)

<sup>41</sup> (28)

<sup>42</sup> (27)

### *Método por Factores*

Muchos de los métodos ortos son basados en un extensión del precio del equipo principal capital total requerido, usando factores apropiados o un simple multiplicador.

Este método parte de la primicia del costo del equipo principal; con los datos reportados en la bibliografía<sup>43</sup>, en donde se reporta el cargo correspondiente a cada concepto en el costo total de la planta; se obtiene así, un factor que es el porcentaje de cada rubro con respecto al costo total.

### *Método de Factores Múltiples*

Este método es una sofisticación del método anterior, el cual nos permite calcular el costo aproximado de la planta total, considerando algunos factores que resultan ser definitivos en la estimación, puesto que cuando se se tiene un rango en el cual se debe elegir el valor del factor, se corre el riesgo de estar sobre estimando o bien, puede pasar todo lo contrario; con este método, que aunque un poco más detallado y por lo mismo no tan rápido para la elección correcta de cada factor, nos permite hacer la estimación más precisa<sup>44</sup>.

### *Otros Métodos*

Se usaron otros métodos rápidos de los cuales sólo pondremos la ecuación que se utiliza, puesto que estos son nada más la aplicación de un factor multiplicador.

Capital = Factor \* costo total del equipo entregado determinado por cotizaciones, y a partir de estos datos establecidos o publicaciones, se consideran los siguientes factores:

Para planta de proceso de sólidos	3.10
Para planta de proceso de sólidos-fluidos	3.63
Para planta de proceso de fluidos	4.74

Capital = Factor \* costo del equipo entregado determinado por datos establecidos o publicados.

Capital estimado sobre la base de dólares por tonelada por año, a partir de cifras publicadas, multiplicadas por un factor (Marshall y Stevents) para actualizar las cifras. Se calcula multiplicando el costo de dólares por tonelada, por la capacidad de la planta, por el factor.

---

<sup>43</sup> Factores de Garret (3)

<sup>44</sup> pag.68 (7)

En la tabla siguiente se muestran los resultados al aplicar cada uno de los métodos mencionados.

Método	Costo Total de la Planta ( Dólares )
Escalamiento	$2.5 \times 10^6$
Con Inflación	$1.0 \times 10^6$
Costo Equipo ppal.	$6.8 \times 10^6$
De un sólo Factor	$32.6 \times 10^6$
Factores Múltiples	$32.4 \times 10^6$
Factores Garret	$39.3 \times 10^6$
Proceso Químico	$18.4 \times 10^6$
Para Fluidos	$39.3 \times 10^6$
Otros	$58.1 \times 10^6$
	$13.5 \times 10^6$

Tabla 7.1 Costo total de la Planta (Métodos Cortos)

### 7.3 Costos de Operación

#### *Costos Variables*

Materia prima, es el resultado de la cantidad de materia prima requerida anualmente, por su precio.

Mano de obra, es la nómina del personal por el número de días laborables.

Servicios Auxiliares, es el 10% de la mano de obra.

La suma de los anteriores nos da como resultado los costos variables.

#### *Costos Fijos*

Mantenimiento y Reparación, es el 10% de la inversión.

Supervisión Operativa, es el 40% de la mano de obra.

Seguros, es el 1% de la inversión.

Costos Indirectos, es la suma de la mano de obra, más la supervisión operativa, más mantenimiento y reparación, al total se le multiplica por su porcentaje correspondiente (2.5%).

Depreciación, para equipo se considera de un 10%, y para edificios de 5%.

Finalmente los costos variables son el resultado de la suma de los conceptos anteriores.

#### 7.4 Ingresos

Para los ingresos necesitamos conocer a cuánto ascienden las ventas, para lo cual, con las proyecciones del consumo aparente y la producción de ácido se hizo la diferencia y se obtuvo lo que serían nuestras ventas, que multiplicadas por el precio correspondiente a cada año obtuvimos el capital que ingresa a la planta.

Cuando se hacen descuentos se tiene que restar a las ventas el 0.5% de las ventas netas.

#### 7.5 Costos y Precios

##### Requerimientos de Materia Prima y Servicios

Proceso: Método de Contacto

Materia Prima: 347 Ton de Azufre/Ton de Acido Sulfúrico

Agua: 167000 /Ton de Acido Sulfúrico

Vapor de Alta: 100 Kg/Ton de Acido sulfúrico

Electricidad: 6 KWH/Ton de Acido Sulfúrico

Aire: 7800 m<sup>3</sup> /Ton de Acido Sulfúrico

##### Precios

Materia Prima: 7 dólares 50 ctvs/Ton de Azufre

Agua: 0.015 dólares/m<sup>3</sup>

Vapor de Alta: 8 dólares con 46 ctvs/Ton de Vapor

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Activos Fijos (M\$)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cuentos por Cobrar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Existencias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cuentas por pagar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Activos Corrientes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total Activos</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capital Social	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reserva de Retención de Beneficios	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reserva de Depreciación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reserva de Dividendos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cuentas por pagar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total Pasivos</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total Pasivos y Reservas</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Balance Económico</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Activos Fijos (M\$)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cuentos por Cobrar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Existencias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cuentas por pagar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Activos Corrientes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total Activos</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capital Social	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reserva de Retención de Beneficios	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reserva de Depreciación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reserva de Dividendos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cuentas por pagar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total Pasivos</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total Pasivos y Reservas</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Balance Económico</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 7.2 Balance Económico Variación en la Materia Prima





	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Cuentas Por Pagar	207700	600000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cuentas de Cobrar	71000	178778	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COSTO DE MATERIAS	-30000	-60000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VARIACION EN VENTAS (-30%)												
	0	0	101000	101000	101000	101000	101000	101000	101000	101000	101000	101000
Incremento (+) (-)	0	0	101000	101000	101000	101000	101000	101000	101000	101000	101000	101000
Costo de Materiales	0	0	31000	31000	31000	31000	31000	31000	31000	31000	31000	31000
Incremento (+) (-)	0	0	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000
Cuentas de Cobrar	0	0	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000
Incremento (+) (-)	0	0	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000
Cuentas de Cobrar	0	0	404763.7	404763.7	404763.7	404763.7	404763.7	404763.7	404763.7	404763.7	404763.7	404763.7
Incremento (+) (-)	0	0	404763.7	404763.7	404763.7	404763.7	404763.7	404763.7	404763.7	404763.7	404763.7	404763.7
Cuentas de Cobrar	0	0	121000	121000	121000	121000	121000	121000	121000	121000	121000	121000
Incremento (+) (-)	0	0	121000	121000	121000	121000	121000	121000	121000	121000	121000	121000
Cuentas de Cobrar	0	0	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680
Incremento (+) (-)	0	0	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680
Cuentas de Cobrar	0	0	243000	243000	243000	243000	243000	243000	243000	243000	243000	243000
Incremento (+) (-)	0	0	243000	243000	243000	243000	243000	243000	243000	243000	243000	243000
Cuentas de Cobrar	0	0	20700	20700	20700	20700	20700	20700	20700	20700	20700	20700
Incremento (+) (-)	0	0	20700	20700	20700	20700	20700	20700	20700	20700	20700	20700
Cuentas de Cobrar	0	0	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000
Incremento (+) (-)	0	0	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000
Cuentas de Cobrar	0	0	250100	250100	250100	250100	250100	250100	250100	250100	250100	250100
Incremento (+) (-)	0	0	250100	250100	250100	250100	250100	250100	250100	250100	250100	250100
Cuentas de Cobrar	0	0	20200	20200	20200	20200	20200	20200	20200	20200	20200	20200
Incremento (+) (-)	0	0	20200	20200	20200	20200	20200	20200	20200	20200	20200	20200
Cuentas de Cobrar	0	0	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Incremento (+) (-)	0	0	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Cuentas de Cobrar	0	0	7800	7800	7800	7800	7800	7800	7800	7800	7800	7800
Incremento (+) (-)	0	0	7800	7800	7800	7800	7800	7800	7800	7800	7800	7800
Cuentas de Cobrar	0	0	110013.00	110013.00	110013.00	110013.00	110013.00	110013.00	110013.00	110013.00	110013.00	110013.00
Incremento (+) (-)	0	0	110013.00	110013.00	110013.00	110013.00	110013.00	110013.00	110013.00	110013.00	110013.00	110013.00
Cuentas de Cobrar	0	0	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00
Incremento (+) (-)	0	0	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00
Cuentas de Cobrar	0	0	110000.00	110000.00	110000.00	110000.00	110000.00	110000.00	110000.00	110000.00	110000.00	110000.00
Incremento (+) (-)	0	0	110000.00	110000.00	110000.00	110000.00	110000.00	110000.00	110000.00	110000.00	110000.00	110000.00
Cuentas de Cobrar	0	0	401476.40	401476.40	401476.40	401476.40	401476.40	401476.40	401476.40	401476.40	401476.40	401476.40
Incremento (+) (-)	0	0	401476.40	401476.40	401476.40	401476.40	401476.40	401476.40	401476.40	401476.40	401476.40	401476.40
Cuentas de Cobrar	0	0	110700.00	110700.00	110700.00	110700.00	110700.00	110700.00	110700.00	110700.00	110700.00	110700.00
Incremento (+) (-)	0	0	110700.00	110700.00	110700.00	110700.00	110700.00	110700.00	110700.00	110700.00	110700.00	110700.00
Cuentas de Cobrar	0	0	60000.00	60000.00	60000.00	60000.00	60000.00	60000.00	60000.00	60000.00	60000.00	60000.00
Incremento (+) (-)	0	0	60000.00	60000.00	60000.00	60000.00	60000.00	60000.00	60000.00	60000.00	60000.00	60000.00
Cuentas de Cobrar	0	0	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00
Incremento (+) (-)	0	0	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00	200000.00
Cuentas de Cobrar	0	0	300000.00	300000.00	300000.00	300000.00	300000.00	300000.00	300000.00	300000.00	300000.00	300000.00
Incremento (+) (-)	0	0	300000.00	300000.00	300000.00	300000.00	300000.00	300000.00	300000.00	300000.00	300000.00	300000.00
Cuentas de Cobrar	0	0	270000.00	270000.00	270000.00	270000.00	270000.00	270000.00	270000.00	270000.00	270000.00	270000.00
Incremento (+) (-)	0	0	270000.00	270000.00	270000.00	270000.00	270000.00	270000.00	270000.00	270000.00	270000.00	270000.00

Tabla 7.4 Balance Económico Variación en las Ventas

Electricidad: 0.045 dolares/KWH

Catalizador: 13.22 dolares/Kg

### 7.6 VPN y TIR

La razón que relaciona las utilidades con la inversión, en alguna forma, se denomina tasa de recuperación de la inversión (TIR)

Con los datos correspondientes se calculó la VPN considerando una tasa de 15%. Se observó que para cada uno de los años el flujo de efectivo es positivo y se calcularon los valores de la TIR para cada una de las variaciones.

### 7.7 Análisis de sensibilidad

Este análisis es el punto final que llevará a la decisión de invertir más dinero en el proyecto o abandonarlo.

En su forma más simple consiste en examinar las ganancias netas en relación con la inversión de capital<sup>43</sup>.

La sensibilidad de una propuesta individual debe hacerse con respecto al parámetro más incierto. Es posible que en la evaluación de una propuesta se tenga mucha incertidumbre con respecto a alguna variable. En estos casos, es muy conveniente determinar que tan sensible es la TIR o el VPN a cambios en la estimación de dicha variable, por lo tanto, para este tipo de situaciones se determina la variable a partir de la cual la propuesta sería económicamente atractiva.

Por lo general se determina la sensibilidad de la TIR o el VPN del proyecto a cambios en el precio unitario de venta, o a cambios en los costos, o a cambios en el nivel de demanda, etc.

Para realizar el análisis de sensibilidad, se hicieron variaciones en las siguientes variables:

Inversión  
Materia Prima  
Ventas  
Precio

Para cada una de las variables se hicieron las variaciones en porcentajes, cambiando desde el desde el valor sin variación hasta el cambio del 20%, considerando que este porcentaje aumen para o se restara del flujo normal.

---

<sup>43</sup> pag. 272 (28)

Cuando variamos las ventas, observamos que el valor de la VPN alcanzó un valor mínimo de 9.4 millones de dólares, y un valor máximo de 29.2 millones. La TIR se encontró entre el 26.24 y 47.74%. Esto quiere decir que hay una gran sensibilidad al cambio de esta variable.

Cuando se hizo la variación en el precio del ácido, la VPN alcanzó un valor para una tasa de 15% de 14.5 millones como mínimo y de 32.5 como máximo. La TIR se mantuvo entre 33.24 y 50.78%.

Para la variación de la materia prima, se tuvo que la VPN osciló entre 20.9 millones y 21 millones, con una TIR entre 39.91 y 39.94%, lo cual nos señala que nuestro proyecto no es tan sensible al cambio de esta variable.

A continuación se muestra la tabulación de la variación en cuanto a la inversión del proyecto.

Variación Inversión	VPN (i=15%)	TIR (%)
-20%	19680710	40.29
-15%	19350740	39.84
-10%	19020770	39.39
-5%	18690800	38.95
0	18360830	38.51
5	18030860	38.06
10	17700890	37.62
15	17370950	37.18
20	17043580	36.74

Tabla 7.5. Variación de la Inversión

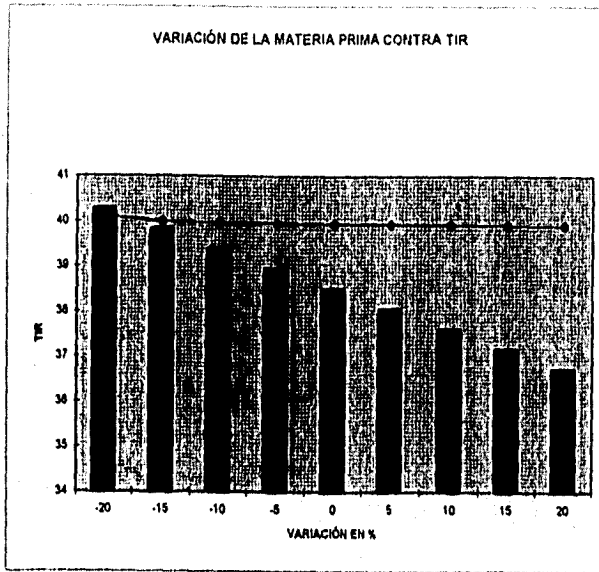
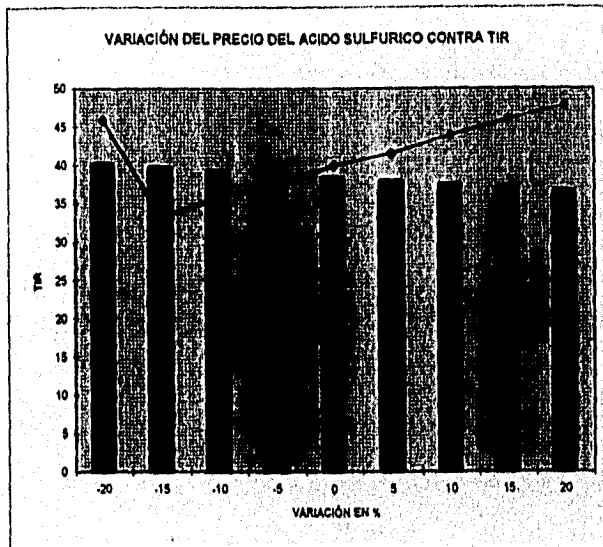


Figura 7.1 Sensibilidad de la TIR con las variables consideradas y comparación con la TIR del flujo normal



## CONCLUSIONES

Desde 1976 México comenzó un proceso de crisis económica la cual se acentuó en 1982, con indicios de recuperación en 1988 y con una fuerte caída en Diciembre de 1994. La moneda nacional sufrió una fuerte devaluación frente al dólar, lo cual repercutió en la falta de confianza en el país, e inseguridad en los grandes inversionistas tanto nacionales como extranjeros.

A pesar de que la actual situación económica del país, no presenta buenas expectativas a la inversión; este proyecto es un trabajo importante que deben considerar los inversionistas, por sus altos rendimientos y su autoabastecimiento, que lo hace un sistema independiente de otros procesos.

Al realizar un análisis de los métodos que se utilizan para la producción del ácido se comprobó que el método más ecológico y con mejores rendimientos; además de ser el más económico, fue el método de Contacto, y que para este método la tecnología más accesible en cuanto a información y que se utilizó en este trabajo, fue la Tecnología Chemico.

Una gran ventaja de este proceso es el rendimiento que nos da la materia prima, que nos presenta las siguientes ventajas:

- a) el factor de conversión es del 98 al 99 % de la materia prima,
- b) presenta un alto rendimiento en la producción ya que por cada tonelada que se consume se producen un poco más de tres toneladas de ácido,
- c) por ser un subproducto del tratamiento que se le da a los gases procedentes del petróleo nacional, resulta tener un bajo precio, el cual es casi la mitad del precio del ácido, oscilando entre un 45 y un 50 %.

Por otro lado, debe tomarse en cuenta que la producción de ácido sulfúrico ha estado en receso; ciertamente atrasada tecnológicamente puesto que las plantas existentes en nuestro país datan de unos 16 años de antigüedad; es decir se iniciaron en los años '70s y las últimas que se construyeron, fue en los '80s. Es por esto que su tecnología resulta anticuada y obsoleta, por lo tanto se hace necesario darle vigencia a este tipo de industria en nuestro país y realizar una actualización en los procesos; así como también debe eliminarse la idea de que la producción del ácido sulfúrico requiere de un complejo de fertilizantes; ya que es un proceso limpio y autogenerador de sus propios servicios.

En el proceso se aplica el concepto de cogeneración, por que al mismo tiempo que se produce el ácido hay una gran producción de vapor de alta presión, que puede ser aprovechado dentro del proceso y lo sobrante se puede utilizar para producir energía eléctrica, la cual puede ser exportada, por lo que se convierte en un proceso de autoabastecimiento, asegurándonos así el suministro constante de estos servicios.

En base a los datos de producción y consumo aparente del ácido, podemos observar que la producción se encuentra por debajo del consumo aparente del ácido, lo que ya es un indicador de que es buen proyecto producir ácido, puesto que dentro de la producción hay un déficit que no alcanza a satisfacer al consumo aparente.

Al realizar el análisis económico de la planta para los años de operación, se observa que el proyecto es rentable, sin embargo, si movemos algunas variables, la sensibilidad del proyecto es poca aún cuando se varia el monto de la inversión, se obtuvieron diferentes tasas de inversión con valores un poco altos para el rango en el que comúnmente se encuentra la TIR, lo cual nos refuerza el proyecto haciéndolo muy rentable.

## BIBLIOGRAFIA

### Libros de Texto.

1. Calvin E.L. et al, Sulfuric acid plant Emissions during, start-up, shutdown and malfunction, Edit. Catalytic Inc.
2. Cuevas Salgado J., Cogeneración Industrial en México, Edit. Programa Universitario de Energía, UNAM, 1989.
3. Garret Donald E., Chemical Engineering Economics, Edit. Van Nostrand Reinhold, 1989.
4. Garret G. Irving, Principios de Metodología Estadística, Edit. Escuela Nacional de Economía, 1941.
5. Kern Donald Q., Procesos de Transferencia de Calor, Edit. CECSA, 1987.
6. Mandoki W. Jorge, Manual de Exergía y Cogeneración, Edit. Celanese Mexicana, S.A., 1990.
7. Rase Howard y Barrow M., Ingeniería de Proyecto de Plantas de Proceso, Cía, Edit. Continental, S.A., 1979.
8. Solís Leopoldo, La realidad económica mexicana, Retrovisión y perspectivas, edit. Siglo XXI, 1984.
9. Valiente Barderas A., Problemas de Flujo de Fluidos, Edit. Limusa, 1990.
10. Valle Riestra, Project evaluation in the Chemical Process Industries, Edit. Mc Graw Hill, 1983.
11. Vilbrandt Frank C. y Dryden Charles E., Ingeniería Química del Diseño de Plantas Industriales, Edit. Grijalbo, S.A., 1963.
12. West James R. y Duecker Werner W., Sulfuric and Sulfur, Riegels Handbook of Industrial Chemistry, 7<sup>th</sup> Edition, Edited by James A. Kent, Van Nostrand Reinhold Company.
13. Notas: Mena Brito Jaime, Energéticos I, Facultad de Química, 1994.
14. Notas: Anaya Durand Alejandro, Ingeniería de Proyectos, Facultad de Química, 1994.

### Enciclopedias y Publicaciones

15. Periódicos: *El Financiero*. Diciembre 1994 - Enero de 1995.
16. *American Chemical Society Monograph Series*. Reinhold Publishing Corporation, 1993.
17. *Forum on the Geology of Industrial Minerals, Proceedings*, US Bureau of Mines, Mineral Commodity Summaries, January, 1995.
18. Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geográfica e Informática. *La Industria Petrolera en México*, SPP, Pemex. Petróleo, Industria y Comercio, 1993 - 1994.
19. Kirk-Othmer. *Encyclopedia of Chemical Technology*, Vol.13, Edit. The Interscience Encyclopedia, Inc., 1954.
20. Mackenzie A. Thomas, *A Chemical Market Analysis*, American Institute of Chemical Engineers, Modular Instruction Series, Module G1.1.
21. *Memorias de Labores*, Petroleos Mexicanos. Marzo de 1994.
22. *The Merck Index*, 9<sup>th</sup> Edition, Edit. Merck and Co., Inc., USA, 1976.
23. Montana Aubert E., *Integración de la Petroquímica en México*, Facultad de Química, UNAM, 1993.
24. *Normas Técnicas Ecológicas*, Ley General de ecología y Protección al Ambiente, Sria. de Desarrollo Urbano y Ecología, SEDUE.
25. Raymont Michael E.D., *Sulfur: New Sources and Uses*, Acs Symposium Series 183, American Chemical Society, Washington D.C., 1982.
26. Remer, Donald S. y Chay, Lawrence H., *Estimate Costs of Scale Up Process Plants*. College of Engineering and Science, 1990.
27. Plasvic Branislav, *Estimate of Plants*, Chemical Engineering, INA (State Oil Industries, Croatia), August, 1993.
28. Perry, Robert H., *Manual del Ingeniero Químico*, Tomos I y VI, 62 Edición, Edit. Mc Grw Hill, 1992.



29. Sulphur. *Avances recientes en los procesos productivos de Acido Sulfúrico*. No. 210, Sept. - Oct., 1990.
30. Tecno-Industria. *Valle de México, La lucha está en el aire*. No.5, Julio - Agosto, Conacyt, 1992.
31. US Chemical Industry Statical Handbook, An Alamanac of Industry, Technology and Services. US Industrial Outlook, 1994.
32. Ward T., *Cost Estimating Methods*, American Institute of Chemical Engineers, Modular Instruction Series, Module G1.2.
33. Ward T., *Profibility Analysis*, american Institute of Chemical Engineers, Modular Instruction Series, Module G1.3.

#### Tesis

34. Ares de Parga A., *Proyecto de una Planta productora de ácido sulfúrico*, Facultad de Ingeniería, 1965.
35. Ayala Rivera C., *Anteproyecto de una Planta para Fabricar 17000 lb de Acido Sulfúrico en 24 hrs.*, Escuela Nacional de Ciencias Químicas, 1952.
36. Bremauntz Michavila R. y Zamudio Ramírez P., *Evaluación Técnico-Económica preeliminar para la compra de la unidad Fosfatados del Complejo Industrial Pajaritos, Veracruz*, Facultad de Química, 1993.
37. García Moreno Díaz de León G., *Transformación de una Planta de producción de Acido Sulfúrico por el método de Contacto*, Facultad de Química, 1993.
38. González rendis F., *Plan de Mercadotecnia para el Acido Sulfúrico*, Universidad la Salle, 1993.
39. López Reyes H.L., *Estudio Técnico Económico para Instalar una planta productora de Poliestireno Expandible*, Facultad de Química, 1993.
40. Soubran Becerra L.J., *La Industria Mexicana del Acido Sulfúrico*, facultad de Economía, 1970.
41. Torres Lomelí M. C., *Estudio Técnico Económico para la Instalación de una planta de Dimetilanilina*, Facultad de Química, 1995.

**Fuentes Directas**

42. Secretaría de Energía y Minas e Industria Paraestatal.  
(SEMIP).
43. Biblioteca del ANIQ, Anuario Estadístico de la Industria  
Química Mexicana, Edición 1994.
44. Banco de México, Dirección de Investigación Económica del  
Banco de México.
45. INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e  
Informática, Sistema Nacional de Cuentas Nacionales de  
México, 1981 - 1991.
46. SECOFI