



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

Estudio Técnico-Económico para la Producción de  
Sulfato de Amonio en una Planta Basada en la  
Unidad Guadalajara, Jal. de Fertimex.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A N :

José Gabriel de la D. Hernández Aguirre

Y

Rodolfo Cervantes García



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.

LAB. TESIS 1979  
ABO. M. T. 71  
FECHA \_\_\_\_\_  
PROC. \_\_\_\_\_  
S. \_\_\_\_\_



JURADO ASIGNADO AL TEMA

PRESIDENTE : Ing. Eduardo Rojo y del Regil

V O C A L : Ing. Emilio Barraquán Hernández

SECRETARIO : Ing. Antonio Frías Mendoza

1er. SUPLENTE: Ing. José Fco. Guerra Recasens

2do. SUPLENTE: Ing. Guillermo José Valenzuela

Sitio donde se desarrolló el tema:

Biblioteca del Instituto Mexicano del Petróleo.

JOSE G. DE LA D. HERNANDEZ A.

SUSTENTANTE.

RODOLFO CERVANTES GARCIA

SUSTENTANTE.

ING. ANTONIO FRIAS MENDOZA

DIRECTOR.

582520

48 / 51 / 81 / 105

A mis padres y hermanos

A Judith por su gran apoyo y amor

José Gabriel.

## INDICE

I.	Introducción.	1
II.	GENERALIDADES	6
2. 1.	Breve Historia	7
2. 2.	Propiedades Físicas y Químicas	9
2. 3.	Usos Principales	10
III.	TECNOLOGIAS EXISTENTES	12
3.1.	Descripción de los Procesos	14
3.1.1.	Procesos Directos	14
3.1.2.	Procesos Indirectos.	18
IV.	PRINCIPALES PROBLEMAS Y SOLUCIONES FACTIBLES	26
4.1.	Principales Problemas	27
4.2.	Características de estos problemas y posibles soluciones.	27

A la Universidad Nacional

Autónoma de México

A los maestros de la

Facultad de Química.



En reconocimiento a mis padres, hermanos  
y toda la familia con mucho cariño  
y agradecimiento.

A Laura por su comprensión y cariño.

A mi hija.

A la memoria de Federico.

Rodolfo.

V.	ANALISIS ECONOMICO DE UNA PLANTA DE SULFATO DE AMONIO.	50
5.0.	Estudio de Mercado.	51
5.1.	Producción.	51
5.2.	Consumo	57
5.2.1.	Estructura de Consumo.	59
5.2.2.	Proyección de la demanda.	61
5.3.	Importaciones y exportaciones.	65
5.4.	Capacidad de la planta y Localización.	67
5.5.	Cálculo de la inversión y costo de prod.	70
5.5.1.	Inversión Fija.	70
5.5.2.	Costos de Producción.	76
5.5.3.	Capital de Trabajo	87
5.6.	Financiamiento.	89
5.7.	Determinación de la tasa Interna de Rendimiento ( T. I. R. )	91
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	96
VII.	BIBLIOGRAFIA.	101

---

CAPITULO I

INTRODUCCION

---

Los fertilizantes sintéticos constituyen un medio importante para incrementar la productividad agrícola, ya que proporcionan los elementos nutrientes al suelo como son el nitrógeno, fósforo y el potasio. Este incremento en la productividad ayuda a la producción de alimentos agrícolas y a hacer más atractiva la inversión privada en el campo. A continuación, se ofrece un análisis estadístico de su demanda y producción en los últimos años.

Durante el año 1978, el consumo aparente de fertilizantes fue de 2.9 millones de ton. lo cual representa una suma igual a 1977. De esa cantidad consumida, el 85.17 % fue suministrado por la industria nacional y el resto lo constituyen importaciones de nuestro país.

La producción total nacional de fertilizantes sólidos fue de 2.24 millones de ton. y el amoníaco de aplicación directa fue de 231,000 ton. que suma 2.47 millones de ton. Las importaciones fueron de 555,000 ton y las exportaciones, que fueron nada más de superfosfato triple de calcio, 164,000 ton.

En el renglón de los fertilizantes nitrogenados, el consumo anual aparente fue de 779,332 ton. de nitrógeno. De ese total corresponden 228,192 ton. como sulfato de amonio, 77,534 ton. de nitrato de amonio; - - - 216,990 ton. aportadas por la Urea; 190,243 ton. aplicadas directamente como amoníaco; 31,869 ton. en térmi

nos de fosfato diamónico y por último 34,504 ton. como complejo NPK; por lo que se refiere a los fertilizantes fosfatados, su consumo aparente fue de 221,889 ton. de pentóxido de fósforo; correspondiendo a superfosfato simple 56,715 ton. y a superfosfato triple 49,791 ton. y en complejos NPK 30,074 ton.; la diferencia, o sea 3,867 ton. de  $P_2O_5$  se aplicaron directamente a la tierra.

Hasta la fecha, todos los potásicos han sido importados y su consumo aparente fue de 34,255 ton. métricas de  $K_2O$  en el año 1978. Durante ese mismo año, la parte de suministros correspondientes a la producción nacional aumentó en 122,477 ton. Es decir, se tuvo un incremento de producción de 5.21% en relación con 1977.

Las perspectivas que ofrecen los fertilizantes en México son las siguientes: Al aprovechar la producción masiva de amoníaco con las nuevas capacidades Pemex, se están reorientando las prácticas de consumo para incrementar substancialmente el uso directo del amoníaco, con el empleo de fertilizantes fluidos, así como también los excedentes de ácido fosfórico de la unidad de Fertimex en Pajaritos, Ver. y que actualmente se exporta. La capacidad instalada de amoníaco garantiza ampliamente el abastecimiento de este producto.

Por lo que se refiere a Fertimex, actualmente se encuentran en el periodo preoperativo la unidad Querétaro con capacidad de 200,000 ton. de sulfato de amonio y 300,000 ton. de superfosfato simple. En 1976 entrarán en operación dos nuevas plantas de Urea, una de 330,000 ton. capacidad anual, en la unidad Bajío y otra con 495,000 ton. de capacidad anual en Pajaritos.

Asi mismo, el Complejo Industrial Lázaro Cárdenas que ya anunció su construcción, elaborará como productos finales 275,000 ton. de fosfato diamónico; 250,000 ton de complejos NPK; 20,000 ton. de nitrato de amonio y su terminación se calcula para el año 1981. Por último recientemente se aprobó otra planta de Urea de 1,500 ton. diarias en Pajaritos, Ver. y las ampliaciones en las plantas de sulfato de amonio en Querétaro, Torreón Guadaluajara y Bajío, incrementando en 850,000 ton/año la anterior capacidad, llegando actualmente a 1.845 mil ton/año, es decir, un incremento porcentual del 85 % (Capítulo V). Siguiendo en el renglón de sulfato de amonio, se encontró que la empresa Mexaro, S.A. instalará una planta productora de Caprolactama con una capacidad de 100,000 ton/año proyectada para 1983 con lo que habrá una producción de sulfato de amonio debida a esta planta de aproximadamente 540,000 ton/año.

La puesta en marcha de las plantas de sólidos en construcción, permitirán que México sea completamente auto suficiente en fertilizantes y autorizan a pensar que se tendrán remanentes para la exportación. Por lo que se refiere al abastecimiento de materias primas, se cuenta con grandes suministros de amoníaco, de azufre en el Istmo y yacimientos de roca fosfórica en Baja California. Se espera que estén en explotación comercial entre 1979 y 1980. Las únicas que por el momento se exportan totalmente son las sales de potasio y al tiempo que se exploran los posibles yacimientos, se está trabajando en la recuperación del contenido de los condensados de la planta geotérmica de Cerro Prieto BCN encontrándose en construcción la planta piloto.

Por lo espuesto anteriormente, el objetivo de la presente tesis es el análisis de los principales problemas que se presentan en una planta productora de sulfato de amonio (Capítulo 3 y 4), así como la factibilidad de instalación de una planta de 132,000 ton/año Basada en la unidad Guadalajara de Fertimex (Cap. 5). La producción de esta planta tendrá como finalidad, satisfacer las necesidades del mercado nacional y en caso de haber excedentes, se exportarán.

---

CAPITULO II

GENERALIDADES

---



## 2. 1. Breve Historia.

Durante el periodo de 1923 - 1947 el sulfato de amonio se convirtió en el fertilizante de mayor demanda en gran parte del mundo. Posteriormente se vio disminuido este empleo en gran parte por la aparición de los fertilizantes orgánicos nitrogenados. La mayoría de este sulfato de amonio se produjo como subproducto, por ejemplo: mediante la absorción de amoníaco proveniente de hornos de coque en ácido sulfúrico o de soluciones que contienen sulfato de amonio que son resultado de numerosas operaciones industriales de tipo químico; -- también mediante el gas combustible, ya que es una -- fuente de compuestos de azufre.

Después de la Segunda Guerra mundial hubo un rápido crecimiento en la demanda de fertilizantes nitrogenados, dándose un gran impulso a la producción del sulfato de amonio en forma directa.

En México, la producción de sulfato de amonio en forma directa empezó en el año de 1951, por medio de la empresa estatal Guanos y Fertilizantes de México, S.A. -- en la unidad de Cuautitlán. Este fue el inicio de la producción de fertilizantes nitrogenados, que posteriormente se vio incrementada por la elaboración de ni

trato de amonio por la empresa Fertilizantes de Monclova, S. A. y simultáneamente se produjo Urea y Fertilizantes Complejos por las empresas Fertilizantes del Istmo S. A., Fertilizantes del Bajío, S. A., Fertilizantes Delta, y otras empresas más pequeñas, cuyas actividades productivas no son exclusivamente fertilizantes; estas últimas empresas se detallan en el Capítulo III.

Sin embargo, la producción iva resultando cada vez menos costeable a la iniciativa privada, razón por la cual se decidió fusionar todas esas empresas en una sola organización que quedó en manos del Estado: Guanos y Fertilizantes de México, S.A. actualmente conocida como Fertimex. Es esta empresa la que tiene actualmente el mayor volumen de producción del sulfato de amonio, seguida por Univex que obtiene como subproducto el sulfato de amonio.

esta hoja

~~272~~ Propiedades del Sulfato de Amonio <sup>(2)</sup>

Peso molecular	132.14
Contenido de N <sub>2</sub> %	20 - 21
Estructura	rómbica
Densidad específica 20/4°C	1.769
Punto de fusión °C	513
Solubilidad, g/100g agua:	
<u>0°C</u>	70.6
<u>100°C</u>	103.8
Densidad de Cristal lb/ft <sup>3</sup>	50
Acidez equivalente lb CaCO <sub>3</sub> /N <sub>2</sub>	107
Tamaño de partícula :	
Standard	28% malla + 16
	70% malla + 16, malla + 60
Cristales grandes	10% malla + 10
	80% malla - 10, malla + 20
Granular	sobre 90% malla - 6, Malla + 16
Punto higroscópico (Humedad crítica a <u>86°F</u> ) %	80

## ESTA HOJA

### 2.3. Usos. \*

- Su principal aplicación es como fertilizante y como componente nitrogenado de mezclas fertilizantes.
- En combinación con el cloro en el tratamiento de aguas. En estas operaciones, el sulfato de amonio suministra el ión amonio, que reacciona con el ácido hipocloroso formado con el cloro y el agua. Según el pH del agua, se forma la monocloramina o dicloramina.
- El sulfato de amonio se agrega al mosto de melaza diluída antes de ser mandado a los fermentadores en las fábricas de alcohol. El sulfato suministra nitrógeno, elemento nutritivo para el desarrollo de la levadura.
- En combinación con el fosfato amónico (primario o secundario), tetraborato de sodio y ácido bórico; se emplea en la fabricación de compuestos ignífugos y retardadores de la llama para madera, textiles y materiales aisladores.
- Como agente desencalador en las tenerías para tratamiento de pieles. El sulfato disuelve la cal de las pieles y de esta manera se regula el pH de la solución.
- En la fabricación de "azules de hierro". Al precipitar una solución de sulfato ferroso con ferrocianu-

ESTA HOJA  
\*

ro de sodio en presencia del sulfato de amonio, se forma un ferrocianuro ferroso blanco que se oxida y convierte en ferrocianuro férrico.

- Producción de rayón viscoso.
- Como aditivo en alimentos.

---

C A P I T U L O   I I I

T E C N O L O G I A S   E X I S T E N T E S

---

En México, las empresas productoras de sulfato de amonio son las siguientes:

<u>EMPRESA</u>	<u>LOCALIZACION</u>	<u>TECNOLOGIA</u>
FERTIMEX, S.A.	Cuautitlán, Edo. de México.	Chemico Construction Corp.
FERTIMEX, S.A.	Toluquilla Jal.	Struther Wells.
FERTIMEX, S.A.	Coatzacoalcos, Ver	Chemico Construction Corp.
FERTIMEX, S.A.	Salamanca, Gto.	Chemico Construction Corp.
FERTIMEX, S.A.	Torreón, Coah.	N. V. Nedarlense Staut. Hol.
FERTIMEX, S.A.	Querétaro, Qro.	Struther Wells.
UNIVEX, S.A.	Salamanca, Gto.	( 1 )
Industria Química de México, S.A.	Guadalajara, Jal.	( 1 )
Magnesio, S.A.	Xocoyahualco, Estado de México.	( 1 )
Mexicana de Coque y derivados	Donclova, Coah.	( 1 )
Industrial Minera México.	Nueva Rosita, Coah.	( 1 )

( 1 ) Se obtiene como subproducto en ese proceso.

A continuación se explicarán las tecnologías mencionadas.

### 3.1. Descripción de los Procesos.

Se puede dividir en dos grupos las formas de producción del sulfato de amonio.

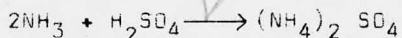
a. Forma directa. Se hace reaccionar amoníaco y ácido sulfúrico en forma directa.

b. Forma indirecta. Se obtiene como subproducto de otros procesos.

#### 3.1.1. Procesos Directos.

Chemico Construction Corp.: Este proceso consiste en hacer reaccionar ácido sulfúrico y amoníaco en un -- cristalizador, con solución saturada de sulfato de a monio para mantener la formación de cristales. Los -- cristales del sulfato de amonio se centrifugan y secan, obteniéndose así el producto final.

2901 → Descripción del Proceso: El amoníaco proveniente de un tanque de almacenamiento se alimenta a un cristalizador que contiene aguas madres de sulfato de amonio, las que se están recirculando. Por una línea independiente se inyecta ácido sulfúrico al mismo cris talizador en donde se lleva a cabo la reacción de -- formación de cris tales de sulfato de amonio. La reac ción que se efectúa es la siguiente:



En este cristalizador se fijó una recirculación de -- aguas madres para mantener la temperatura de reacción



en 105°C, así como una buena formación de nuevos cristales de sulfato de amonio. Como la reacción de amoníaco con ácido sulfúrico es exotérmica, y la temperatura debe ser controlada, este calor es disipado por la producción de vapor de agua producto del agua presente en las aguas madres.

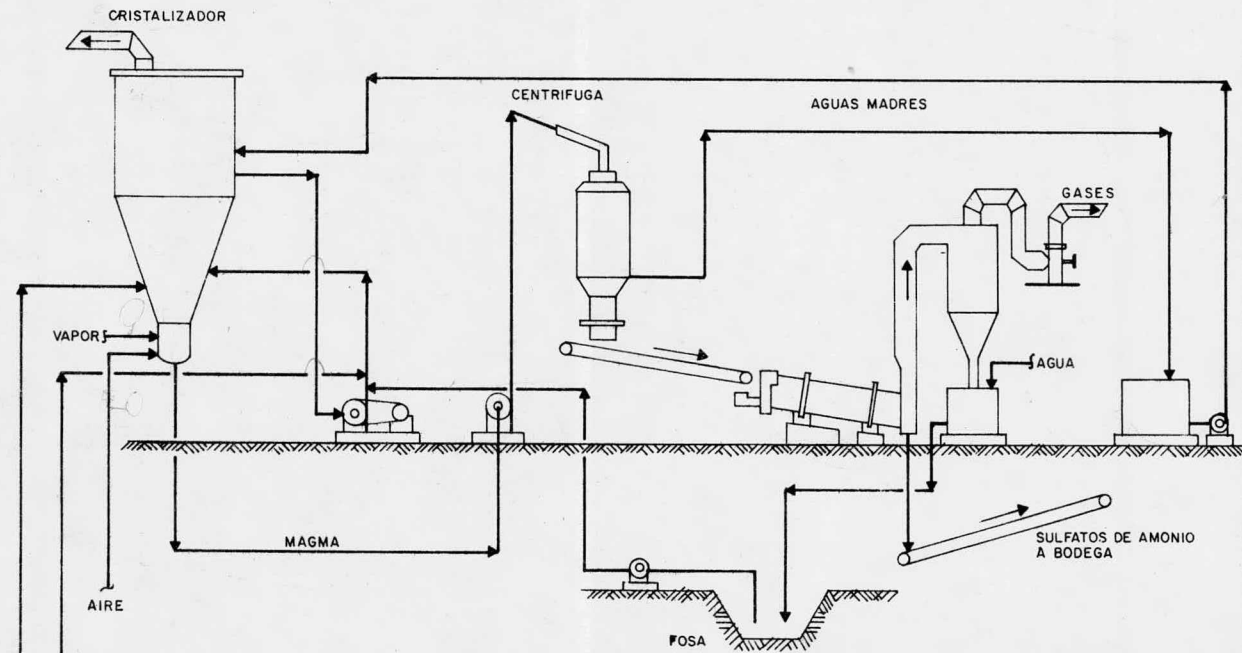
El vapor producido en el cristalizador es arrastrado por una corriente de aire, la cual se inyecta en el fondo cónico del cristalizador, sirviendo también para mantener una ebullición controlada, la cual evita las vibraciones bruscas del equipo, ayudando de esta manera a mantener la recirculación de aguas madres constante.

El magma formado en el cristalizador contiene cristales de sulfato de amonio y aguas madres, y se extrae por el fondo del mismo y envía a las centrifugas continuas en donde se separan y se lavan los cristales de sulfato de amonio. Las aguas madres obtenidas de la centrifuga se colectan en un tanque para enfriarlas parcialmente y retornarlas como recirculación al cristalizador. Los cristales de sulfato de amonio separados en la centrifuga contienen una humedad muy baja, ~~aproximadamente de 0.1%~~ que se envían mediante una banda transportadora a un secador rotatorio que utiliza -

gases de combustión como medio secante, para terminar de secar los cristales de sulfato de amonio hasta una humedad menor de 0.1%.

Los efluentes del secador rotatorio son por un lado, - cristales secos que se envían al almacén mediante una banda transportadora; por otro lado, los gases de combustión que arrastran pequeños cristales de sulfato de amonio son conducidos a un ciclón húmedo para recuperar éstos últimos, los cristales son devueltos al tanque colector de aguas madres para recircularlos posteriormente al cristalizador.

En la instalación de éste proceso se pueden encontrar varios trenes de neutralización de igual o diferente capacidad, así como también varias centrifugas tanto - verticales continuas u horizontales intermitentes que sirven a los cristalizadores. Un detalle importante en la formación de cristales de sulfato de amonio es su tamaño y forma para poder centrifugar y lavar en forma eficiente. Los cristales deben tener forma y tamaño a adecuado para evitar dificultades en la centrifugación y lavado de los cristales, para lo cual se controla - la acidez de la solución a un pH = 3.6 ó 3.7 o una acidez libre de 2% como ácido sulfúrico. En este tipo de proceso se puede llegar a tener una eficiencia química del 99%. Ver figura 1.



<b>PROCESO DE SULFATO AMONIO</b>	
TESIS PROFESIONAL	
U · N · A · M ·	FAC. DE QUIMICA
FIGURA I	1979

Proceso Struthers: Este proceso difiere únicamente del anterior en el tipo de cristizador, ya que éste trabaja al vacío, y consiste en 2 cuerpos cilíndricos uno sobre otro y conectados a través de una pierna barométrica. El vapor de agua que se produce por la disipación de calor de la reacción pasa a un condensador, y el agua caliente que sale de éste es mandada a una torre de agua de enfriamiento. *HASTA AQUI* ↑

### 3.1.2. Procesos Indirectos.

Podemos dividir estos procesos en tres grupos:

A. El primer grupo lo constituyen las industrias que producen como subproducto el amoníaco, y como ejemplo se pueden citar la coquización del carbón que se lleva a cabo en la industria siderúrgica, produciéndose así amoníaco en los gases de reacción. Con éste último más el ácido sulfúrico, que se puede comprar o fabricar, se produce en forma directa el sulfato de amonio; entre las empresas industriales que tienen éste proceso se puede mencionar SICARTSA y AHMSA.

Generalidades del Proceso:

El coque es usualmente definido como el residuo que queda al calentar fuertemente el carbón en contacto con el aire, el proceso termina generalmente al llegar a la carbonización. En ésta carbonización, los resi-

duos se pueden destilar para obtener el llamado petróleo de coque en bajo rendimiento, por lo que no es utilizado industrialmente.

Según la temperatura de carbonización del carbón se puede dividir en dos la relación de productos obtenidos en éste proceso. Los de baja temperatura de 500 a 700°C y los de alta temperatura, de 900 a 1100°C. En la siguiente tabla se hace la comparación de los productos obtenidos a las diferentes condiciones:

<u>PRODUCTOS</u>	<u>ALTA TEMP.</u>	<u>BAJA TEMP</u>
Coque:		
1b/100 lb, carbón	65 - 75	75 - 80
Materia volátil en coke	1 - 3%	5 - 15%
Gas:		
ft <sup>3</sup> / ton.	10,000-13,000	4,000-9,000
B.T.U./ft <sup>3</sup>	530-600	675-1,000
Aceite ligero y alquitrán.		
gal/ton.	10-17	18-49
Sulfato de Amonio		
1b/ton	24-26	12-15

Al analizar la tabla se encuentra que el coque producido a bajas temperaturas es de menor uso metalúrgico -- por posser de 5-15% de materia volátil, lo que hace -

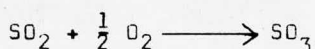
que no sea lo suficientemente fuerte para ser utilizado como combustible. En lo que respecta al sulfato de amonio producido por la recuperación del amoníaco, es mayor en el proceso que se lleva a altas temperaturas.

B. El segundo grupo lo constituyen las empresas que obtienen como subproductos el ácido sulfúrico: de éste tipo de industrias se pueden citar las metalúrgicas, - que producen  $SO_2$  al tostar los sulfuros, y con este ácido sulfúrico. Una vez producido éste se compra el amoniaco para producir sulfato de amonio, como ejemplo podemos mencionar a las siguientes empresas: PEÑOLES e Industrial Minera México (IMMEX), antes ASARCO.

#### Generalidades del Proceso:

Debido a que gran cantidad de metales como plomo, cobre y zinc se encuentran en la naturaleza en forma de sulfuros, para su extracción se han ideado varias técnicas de tostación de estas menas. La tostación se efectúa por medio de una hilera de hogares en un tostador múltiple y exponiendo la mena sulfurosa a los gases oxidantes, eliminando continuamente los sólidos - para que entren en contacto con los gases calientes o bien en camas fluidizas o colocando los concentrados en una cama empacada para controlar el flujo de gases.

Las condiciones de tostación determinan cuando un concentrado es parcialmente tostado a sulfato o a óxido. En este último caso se puede obtener el metal libre y eliminar el azufre en forma de dióxido de azufre. Al considerar la termodinámica de la tostación, se debe hacer notar que se forma el trióxido de azufre en la fase gaseosa, debido a la reacción:



Esta mezcla de  $\text{SO}_2$  y  $\text{SO}_3$  se pasa a la planta de ácido sulfúrico en la que se procede a una oxidación para asegurar que todo el  $\text{SO}_2$  se transforme a  $\text{SO}_3$ . Una vez hecho esto, entra a una torre de absorción agua- $\text{SO}_3$  para la formación del ácido sulfúrico, y posteriormente, con el amoníaco forma el sulfato de amonio.

C. Finalmente, el tercer grupo incluye dos industrias que tienen como subproducto el Sulfato de Amonio durante el proceso:

- UNIVEX. En la manufactura de cada tonelada de caprolactama se obtienen aproximadamente 4.5 toneladas de sulfato de amonio. Esta empresa tiene un convenio con Fertimex para la venta del sulfato de amonio, ya que Fertimex le proporciona el azufre y amoníaco que necesita para la elaboración de la caprolactama. UNIVEX a cambio de esto le da el sulfato de amonio en relación

estequiométrica a las materias primas que recibió.

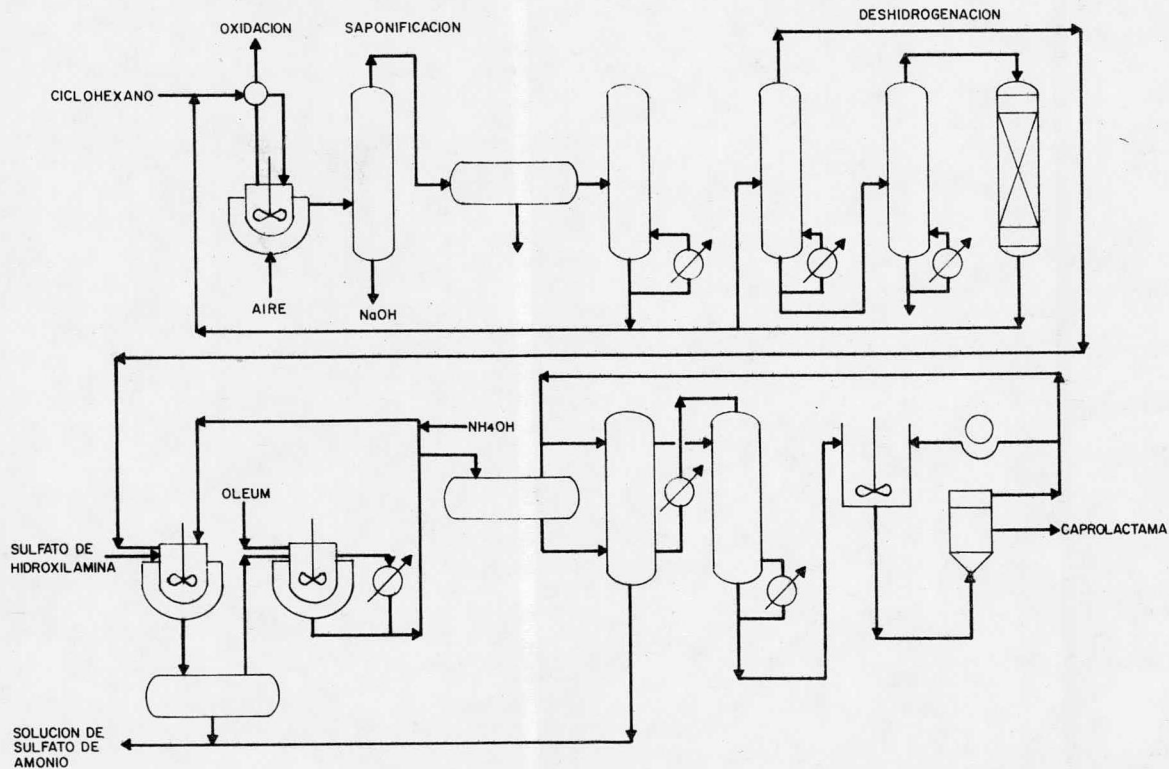
#### Descripción General del Proceso:

Mediante el diagrama de flujo del Proceso Holandés de la Dutch State Mines (DSM) de la figura 2 se podrá dar cuenta de las secciones de la planta donde se produce sulfato de amonio que son dos, una en donde se produce la Oxima de la Ciclohexanona (la de mayor contenido de sulfato de amonio) y la otra que proviene de la sección donde se lleva a cabo el rearrreglo de la oxima a caprolactama. Las dos corrientes se almacenan en tanques para ser procesados posteriormente.

Las corrientes almacenadas se envían a unos evaporadores con el propósito de concentrar la solución. Posteriormente se bombea a las centrifugas, en donde el licor remanente se recircula a los evaporadores mientras que los cristales de sulfato de amonio pasan a una banda transportadora, la cual entra a un secador rotatorio, cuyo propósito es reducir la humedad hasta 0.02 % en peso. A estos cristales se les enfría y por medio de una banda transportadora se mandan a la bodega para su almacenamiento.

- PETROLEOS MEXICANOS (Cosoleacaque). Durante la elaboración del Acrilonitrilo se producen soluciones de sul





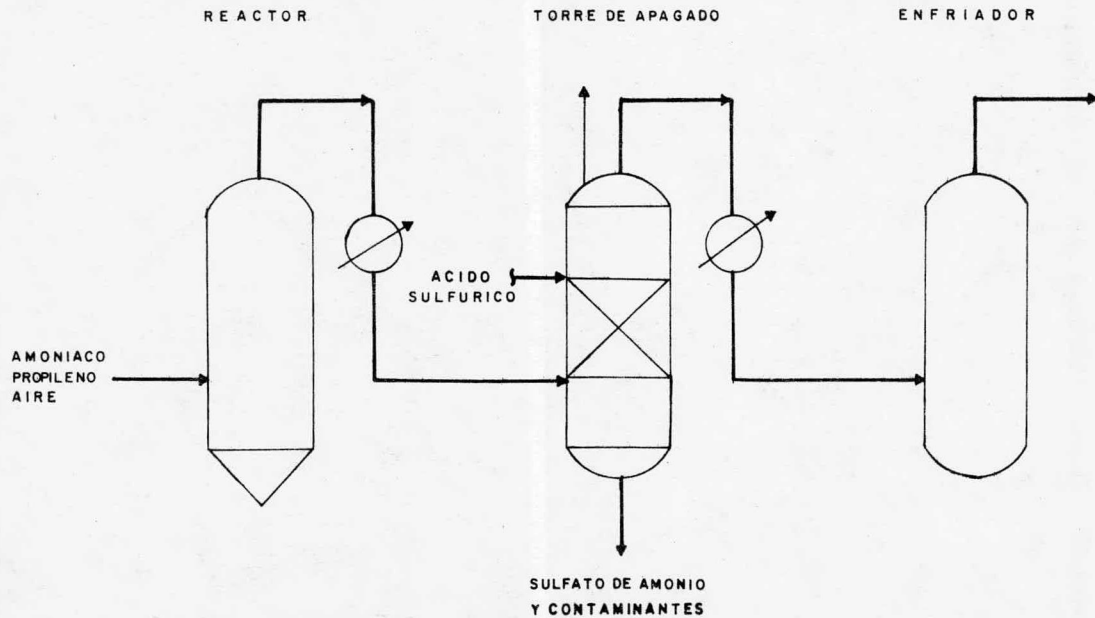
<b>PROCESO DE CAPROLACTAMA</b>	
TESIS PROFESIONAL	
U. N. A. M.	FAC. DE QUIMICA
FIGURA 2	1979

fato de amonio al 25% junto con otros contaminantes como cianuros y arsénicos. De éstos sólo el primero es a nalizado para controlar las proporciones establecidas de contaminación, la cual es vendida a Fertimex con el fin de que en la producción normal de sulfato de amonio en sus plantas (forma directa) sean mezcladas en la fosa de aguas madres que alimenta a los cristalizadores y se diluyan los contaminantes antes mencionados.

#### Descripción General del Proceso. (6)

Se introduce a un reactor catalítico de lecho fluidizado una mezcla de reacción formada por propileno, amoníaco, y aire en forma continua. En los gases efluentes del reactor se encuentran cantidades de amoníaco que no reaccionaron, éstas se deben eliminar ya que pueden causar reacciones de polimerización de productos complejos, de adición y de condensación. Para eliminar el amoníaco tiene lugar el llamado apagado de los gases efluentes del reactor. En una torre, se alimentan los gases y una solución de 0.5 a 2.0% en peso de ácido sulfúrico produciendo de esta manera el sulfato de amonio. A éste último se le encuentra junto con otras sustancias como : arsénico, cianuros, acetonitrilo y acrilonitrilo. Si el sulfato de amonio se encontrara contaminado de acrilonitrilo resultaría más conveniente quemar la solución que purificarla para su venta. En la figura 3 se representa diagramáticamente el proceso antes descrito.

25



<b>PROCESO DE ACRILONITRILO</b>	
TESIS PROFESIONAL	
<b>U. N. A. M</b>	<b>FAC. DE QUIMICA</b>
FIG. 3	1 9 7 9.

2

---

C A P I T U L O I V

PRINCIPALES PROBLEMAS  
Y SOLUCIONES FACTIBLES

---

#### 4.1. Principales Problemas.

Estos problemas se pueden agrupar en los siguientes in  
cisos:

A) Pureza de las materias primas.

B) Equipos principales. Los problemas que se pueden -  
presentar en:

- Cristalizadores.
- Centrífugas
- Secador rotatorio
- Bombas y otros problemas

C) Mantenimiento.

#### 4.2. Características de estos problemas y posibles solu - ciones.

A) Con respecto a la pureza de las materias primas para la fabricación de sulfato de amonio, sólo se tomará en cuenta la del ácido sulfúrico proveniente de indus- -  
trias minero-metalúrgicas, ya que el ácido producido -  
en la propia planta vía oxidación de azufre tiene un -  
alto grado de pureza. Con referencia al primero, éste puede contener cantidades significativas de iones  $Fe^{3+}$  (50 ppm) que junto con el  $Al^{3+}$  y  $Cr^{3+}$  incrementan la -  
relación longitud - anchura de los cristales de sulfa-  
to de amonio. Este producto de forma de aguja es sucep-  
tible de rupturas, dando como resultado una gran canti-  
dad de polvos. Además de éstos contaminantes se pueden encontrar otros que modifican el hábito cristalino del

sulfato de amonio, tales como el  $H_2SO_4$ , ácido oxálico, cítrico, fosfórico y dióxido de azufre.

Ya que el hábito cristalino es el desarrollo relativo de los diferentes tipos de caras, unas con respecto a otras, al modificarlo, varía el desarrollo del cristal.<sup>(1)</sup>

La influencia de estos contaminantes es la siguiente<sup>(7)</sup>:

1. El exceso de ácido sulfúrico en concentraciones de 2 a 6% ocasiona que la producción de cristales de sulfato de amonio sea en forma de agujas.
2. Los ácidos oxálico y cítrico en concentraciones de 1,000 ppm producen cristales demasiado gruesos.
3. El ácido fosfórico y bióxido de azufre en concentraciones de 1,000 ppm, pueden producir efectos similares a los de los ácidos oxálico y cítrico.

La otra materia prima empleada es el amoníaco, el cual no presenta ningún problema de contaminantes, ya que como máximo se aceptan 1% (agua, aceite,  $Fe^{3+}$ )

Regresando al problema del  $Fe^{3+}$ , en algunas plantas de sulfato de amonio se vio la posibilidad de agregar a la solución de aguas madres, pequeñas cantidades de fosfato de amonio ( $P_2O_5$ ) y urea para obtener una mayor calidad en la granulometría del sulfato de amonio.

Para determinar las cantidades óptimas a agregar, se efectuaron pruebas adicionando cantidades fijas de DAP de fórmula 18-46-0 (standard) y variando las cantidades de urea, la cual sirve para una mejor distribución del  $P_2O_5$  y una mejor eliminación de las impurezas. Estas pruebas deben efectuarse hasta lograr las especificaciones deseadas tanto de finos, gruesos, % de acidez libre y % de cristales en la solución o magma. También se deberá medir las relaciones  $P_2O_5 / Fe^{3+}$  tanto en el producto como en el magma. De ésta manera se puede controlar la adición de Difosfato de amonio (DAP.) y UREA.

Se han encontrado referencias de estudios (NYVLT, 1972 en Checoslovaquia) acerca de los aditivos para mejorar la granulometría del cristal de Sulfato de amonio. En estos estudios se encontraron ciertos aditivos que amplían la región de metaestabilidad en la cristalización y promueven el crecimiento de los cristales en forma de grano de arroz (este tipo de cristal tiene gran demanda debido a la facilidad de manejo y almacenamiento). Entre los aditivos reportados en el estudio realizado se pueden mencionar los siguientes grupos:

- a)  $Fe^{2+} + UREA$
- b)  $Fe^{2+} + Al^{3+} + UREA$
- c)  $Fe^{2+} + Al^{2+} + Mg^{2+}$

Se encontró un pH óptimo de 5 - 6 para el tamaño de cristal deseado.

## B) Equipos Principales.

Cristalizadores. Uno de los puntos claves en la producción del sulfato de amonio es la formación adecuada -- del cristal, la cual tiene lugar en el cristizador, de ahí la importancia de un buen diseño y selección de tipo a utilizar.

Para un mejor análisis y comprensión de los problemas que se pueden presentar en los equipos de cristalización, se analizarán primero la información básica requerida para el diseño de estos equipos.<sup>(8)</sup>

- naturaleza del material a cristalizar, si es hidrato o anhidro.
- solubilidad del cristal en agua o en otros solventes de interés, así como su relación con la temperatura, recordando que la solubilidad está frecuentemente -- influenciada por el pH o por otras posibles impurezas, ocasionando un decremento en la solubilidad del material de importancia.
- propiedades físicas de los cristales tales como la -- densidad, calor específico, entalpía de cristaliza-- ción o de solución a diferentes concentraciones.
- alteraciones que sufre el hábito o la forma del cris-- tal, velocidades de crecimiento y nucleación, con -- cientes cantidades de impurezas.
- hidratos que se forman y temperatura en que éstos o--



current.

- tamaño de cristal requerido.

Una vez investigados los puntos anteriores se tendrá que estudiar cuál de los equipos utilizados para cristalización, según sus características es el más adecuado al material con que se desea trabajar. Para facilitar esto, a continuación se enunciará una clasificación por grupos de equipos de cristalización. Esta agrupación se realizará conforme a los métodos a través de los que se obtiene la sobresaturación. <sup>(1), (8)</sup>

Hay cinco grupos principales:

1. Sobresaturación por enfriamiento.
2. Sobresaturación por evaporación de solvente.
3. Sobresaturación por evaporación adiabática (enfriamiento - evaporación).
4. Sobresaturación por reacción química.
5. Desalinización.

La clasificación se elabora en base a la supersaturación debido a que en la preparación o formulación de cristales a partir de una solución se encuentran dos etapas básicas: la nucleación y el crecimiento del cristal. Ahora, tanto en la nucleación como en el crecimiento del cristal se encuentra una fuerza directriz

común que en este caso es, la sobresaturación, de ahí su importancia.



A continuación se explicarán los cinco grupos principales mencionados anteriormente.

1. Por enfriamiento. Se usa sólo para aquellas sustancias que tienen una curva de solubilidad que disminuye en forma apreciable con la temperatura. Este tipo de curva se encuentra en una gran cantidad de sustancias.
2. Por evaporación del solvente. Su principal aplicación es la producción de sal común, donde la curva de solubilidad es casi horizontal por lo que el rendimiento en la producción de sólidos por el método de enfriamiento es despreciable.
3. Evaporación Adiabática. El llamado enfriamiento adiabático se lleva a cabo por medio de vacío; este método es bastante empleado en la producción en gran escala. A grandes rasgos, consiste en alimentar una solución caliente en el cristalizador al vacío, donde la presión es menor que la presión de vapor del solvente a la temperatura a la que la solución entra, ocasionando con esto que se produzca la vaporización del solvente. Esta vaporización produce un enfriamiento. En resumen, la combinación de la evaporación y el enfriamiento produce la sobresaturación.

turación deseada.

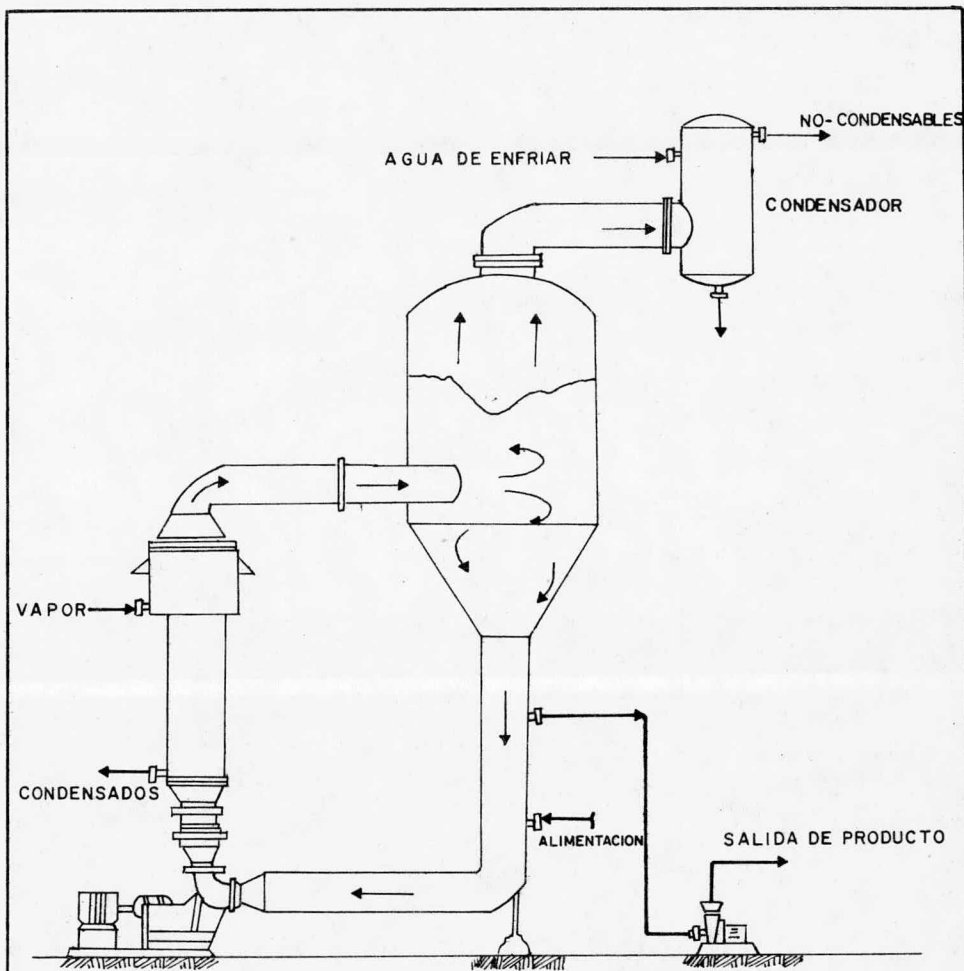
4. Por reacción química. En este tipo de unidades se lleva a cabo fenómenos de transferencia de masa, como adsorción de gases o reacción química, las que ocurren en el seno de las aguas madres, resultando de esto la sobresaturación.
5. Desalinización. Este último método no se utiliza -- frecuentemente. Consiste en la adición de un tercer componente, que propiamente no es un reactivo químico para formar la sobresaturación, ya que tiene la función de desplazar la solubilidad del soluto en la mezcla de los tres componentes.

Una vez identificado el grupo a que pertenece el cristizador, en función del material a manejar y por medio del cuadro comparativo de las características de funcionamiento de los equipos de cristalización (~~ver figura 4~~), se podrá llegar a una selección adecuada -- del equipo que se amolda mejor a las necesidades buscadas. También se presentarán diagramas de algunos equipos mencionados en el cuadro, para tener una mejor idea de su diseño y funcionamiento, en las figuras 5 a, b, c y d.

Una vez explicadas las características generales del funcionamiento de los cristalizadores, abordaremos los

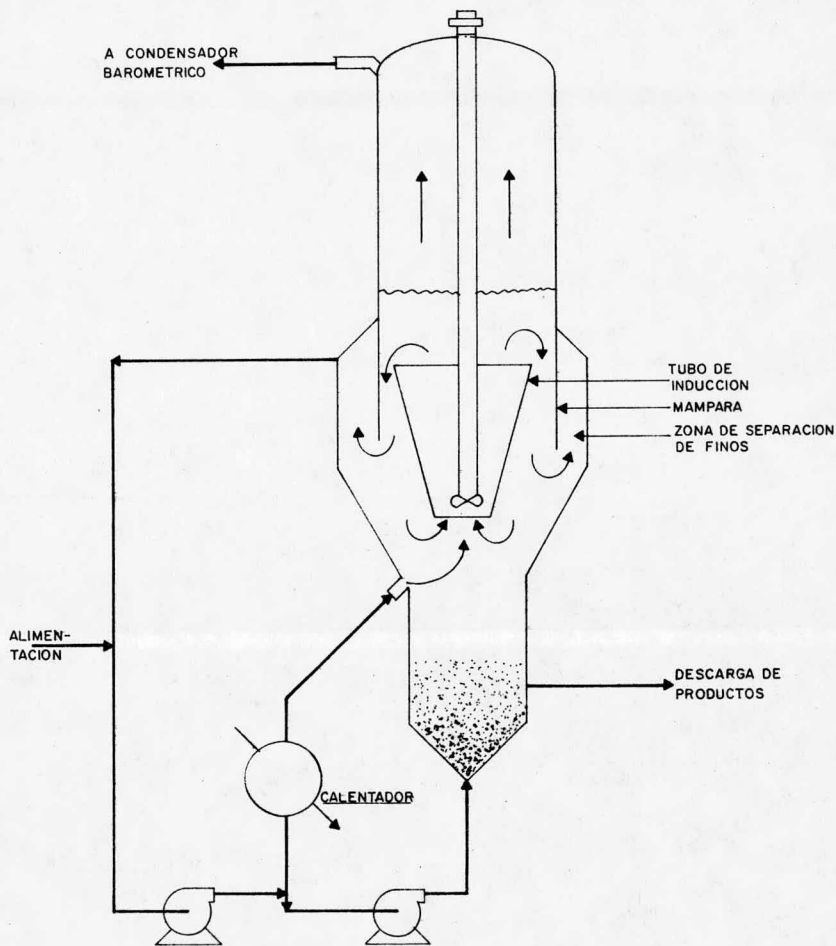
EQUIPOS DE CRISTALIZACION	EVAPORADOR CON CIRCULACION FORZADA.	EVAPORADOR CON CIRCULACION FORZADA.	EVAPORADOR - SUPERFICIE CON CIRCULACION FORZADA.	EVAPORADOR CON TUBO SUCCIONADOR.	CRISTALIZADOR CON TUBO SUCCIONADOR.	CRISTALIZADOR CON MAMPARA Y TUBO SUCCIONADOR.	EVAPORADOR CON MAMPARA Y TUBO SUCCIONADOR.	CRISTALIZADOR - EVAPORADOR OSLO.	EVAPORADOR - CRISTALIZADOR OSLO.	EVAPORADOR - SUPERFICIE OSLO.	SWENSON WALKER.	VOTATOR.	RAMSTRÖM.	TANQUE SIN AGITAR.	TANQUE AGITADO.
<p>TIPOS BASICOS :</p> <p>MEZCLA DE SUSPENSION, EXTRACCION DE PRODUCTO MEZCLADO. . . . .</p> <p>MEZCLA DE SUSPENSION, EXTRACCION DE PRODUCTO CLASIFICADO. . . . .</p> <p>CLASIFICACION DE SUSPENSION. . . . .</p> <p>CLASIFICACION DE SUSPENSION, EXTRACCION DE PRODUCTO CLASIFICADO.</p> <p>RASPADO EN SUPERFICIE. . . . .</p> <p>TANQUE. . . . .</p> <p>CARACTERISTICAS Y PRINCIPALES AREAS DE APLICACION :</p> <p>ALTAS VELOCIDADES DE EVAPORACION. . . . .</p> <p>ENFRIAMIENTO ADIABATICO POR VACIO. . . . .</p> <p>ELIMINACION DE FINOS. . . . .</p> <p>CLASIFICACION DE PRODUCTO. . . . .</p> <p>RANGO DEL TAMAÑO DE PRODUCTO, MALLA:</p> <p>CON ELIMINACION DE FINOS. . . . .</p> <p>SIN ELIMINACION DE FINOS. . . . .</p>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓	✓
	16-100			6-50		6-50		8-200	30-200	30-200	30-200				
	30-200		20-100			30-100									

FIGURA 4



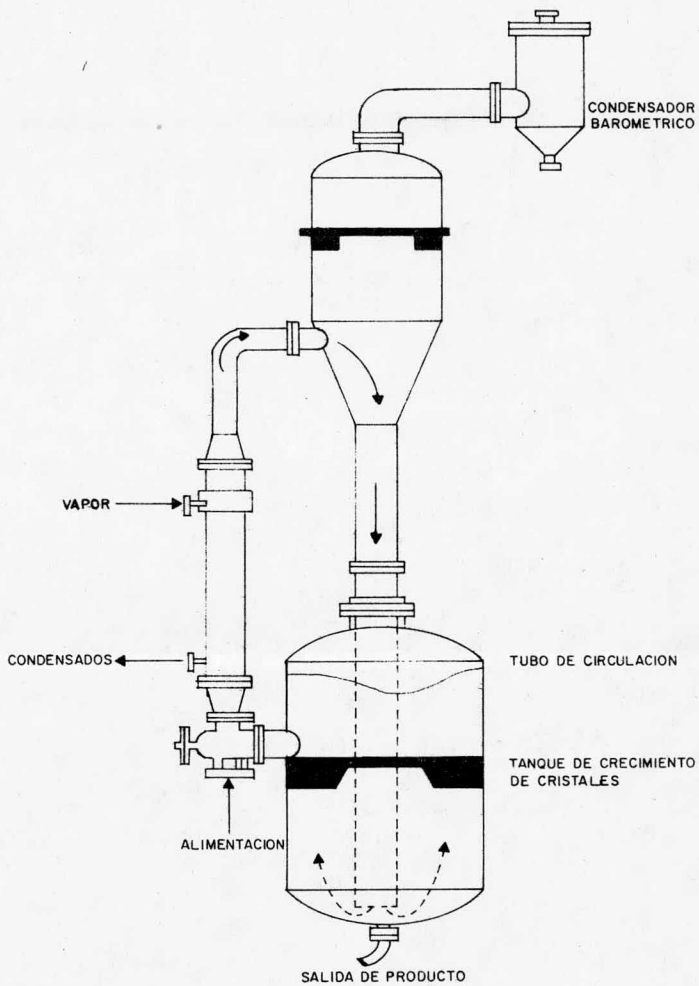
**CRISTALIZADOR CON CIRCULACION FORZADA**

<b>CRISTALIZADOR</b>	
TESIS PROFESIONAL	
<b>U. N. A. M</b>	<b>FAC. QUIMICA</b>
FIG. 5a	1979



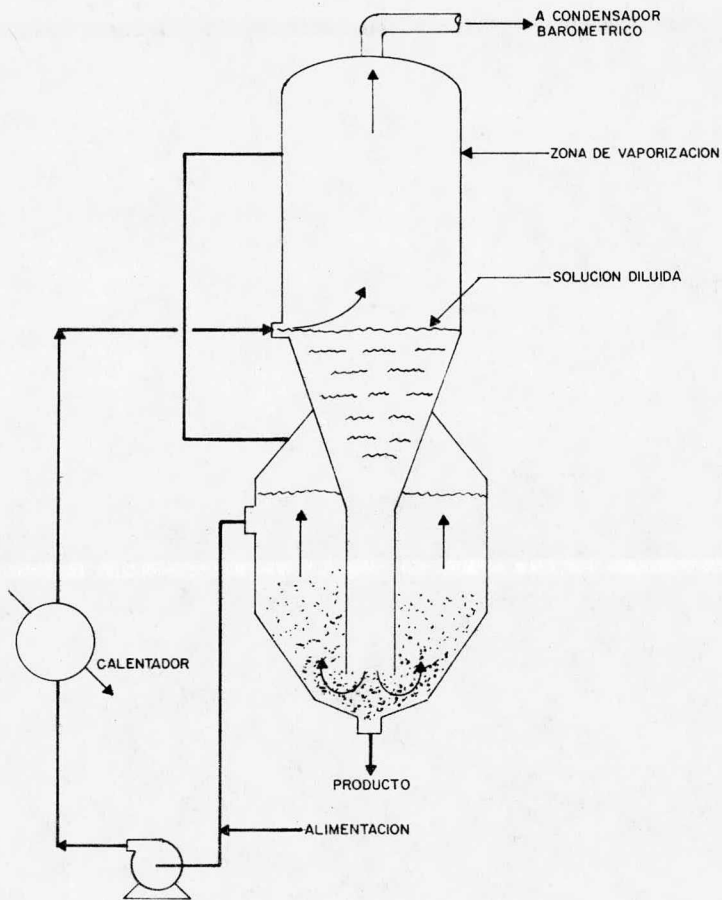
**CRISTALIZADOR PROVISTO DE MAMPARA Y TUBO DE INDUCCION**

<b>CRISTALIZADOR</b>	
TESIS PROFESIONAL	
<b>U. N. A. M.</b>	<b>FAC. DE QUIMICA</b>
FIGURA 5b	1979



**CRISTALIZADOR-EVAPORADOR TIPO OSLO**

<b>CRISTALIZADOR</b>	
TESIS PROFESIONAL	
<b>U. N. A. M.</b>	<b>FAC. DE QUIMICA</b>
FIGURA 5c	1979



**CRISTALIZADOR A VACIO**

<b>CRISTALIZADOR</b>	
TESIS PROFESIONAL	
<b>U . N . A . M .</b>	<b>FAC. DE QUIMICA</b>
FIGURA 5d	1979



problemas que con mayor frecuencia se presentan en dichos equipos, mismos que se listan a continuación: <sup>(8)</sup>

- Distribución del tamaño del cristal.
- Hábitos y pureza.
- Formación de sales (ensuciamiento).
- Estabilidad en la operación.
- Separación líquido - sólido.

El problema de la distribución del tamaño del cristal, es el más importante a tratar, tanto en el diseño como en la operación de un equipo de cristalización, ya que se puede encontrar una gran relación con los demás problemas anteriormente enunciados. Por ejemplo: interacción con el hábito y la pureza del cristal, por medio de las fuerzas directoras que se manejan en el sistema tratándose en este caso de la llamada sobresaturación, debido a que modifican el área de cristales disponibles para el crecimiento, lo que afecta seriamente el hábito y la pureza del cristal. Estos cambios en los niveles de sobresaturación, afectan fuertemente el funcionamiento del equipo produciendo una gran cantidad de sales que afectan el equipo.

También la estabilidad en la distribución del tamaño del cristal afecta la operación, presentándose serios disturbios en la velocidad de formación de nuevos cris

tales, causando una degeneración en tamaño del cristal. Por otro lado, la distribución de tamaño y el hábito ~~del cristalino~~ afectan seriamente la separación sólido-líquido. Por ejemplo: al producirse partículas cristalinas de tamaño pequeño son más difíciles de separar de las aguas madres, por lo que se deberá emplear un mayor tiempo en ésta operación.

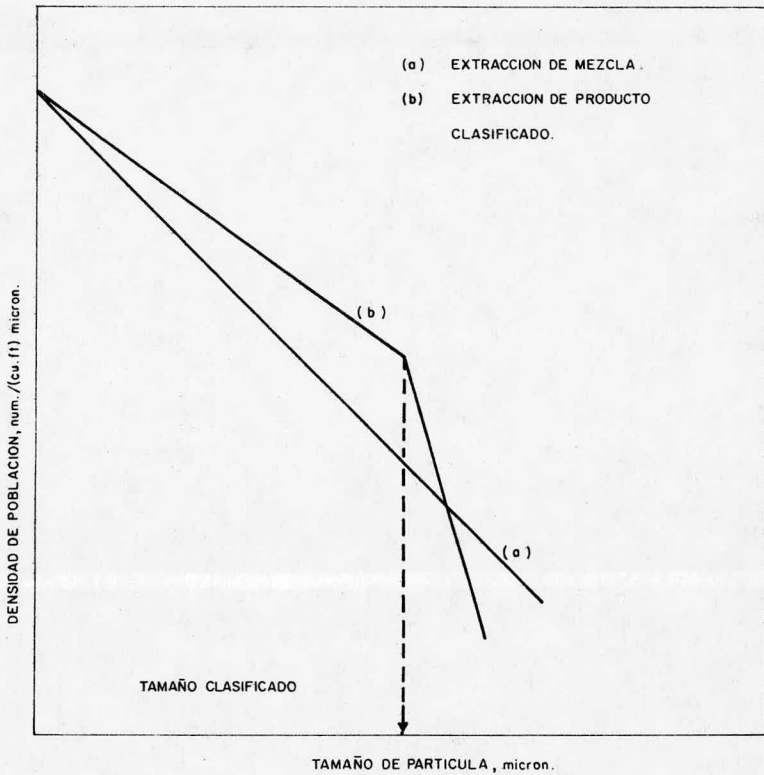
Por lo anterior la teoría sobre la distribución de tamaño de cristal ha tenido a últimas fechas un gran desarrollo, con el fin de poder llegar a entender mejor este fenómeno, y así analizar y modificar el modo particular de operación de un cristizador, de modo que se obtenga el tamaño deseado de cristal.

A continuación se listan los factores que afectan la distribución del tamaño de cristal y consecuentemente los niveles de sobresaturación y rendimiento del proceso.

- Balances de materia y energía.
- Balance de población.
- Cinética de crecimiento y nucleación.
- Tiempo de residencia.

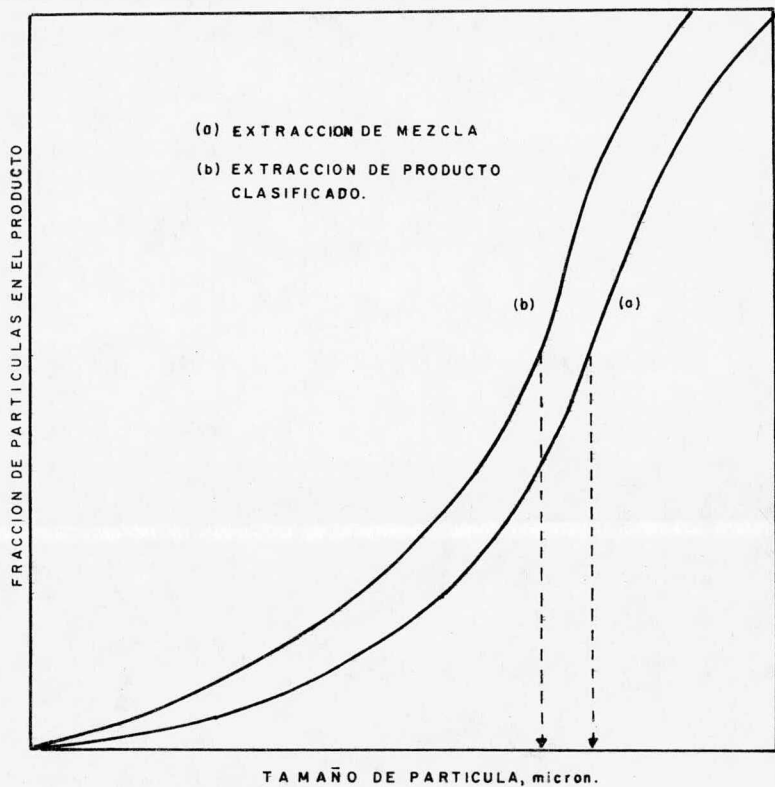
De éstos puntos el de más reciente desarrollo en la teoría sobre la distribución del cristal, es el Balan-

ce de Población, que consiste en conocer las relaciones entre la distribución de partículas cristalinas y tamaño de partícula, así como densidad de población de cristales con el tamaño del cristal. Mediante estas relaciones se puede observar la dependencia que tiene el diseño y operación del cristizador con respecto al tamaño de partícula, pudiendo apreciar lo anterior tanto en la clasificación de cristales como en la extracción de finos. En las figuras 6a, b, c y d, se podrá comprender mejor lo anterior.<sup>(8)</sup>



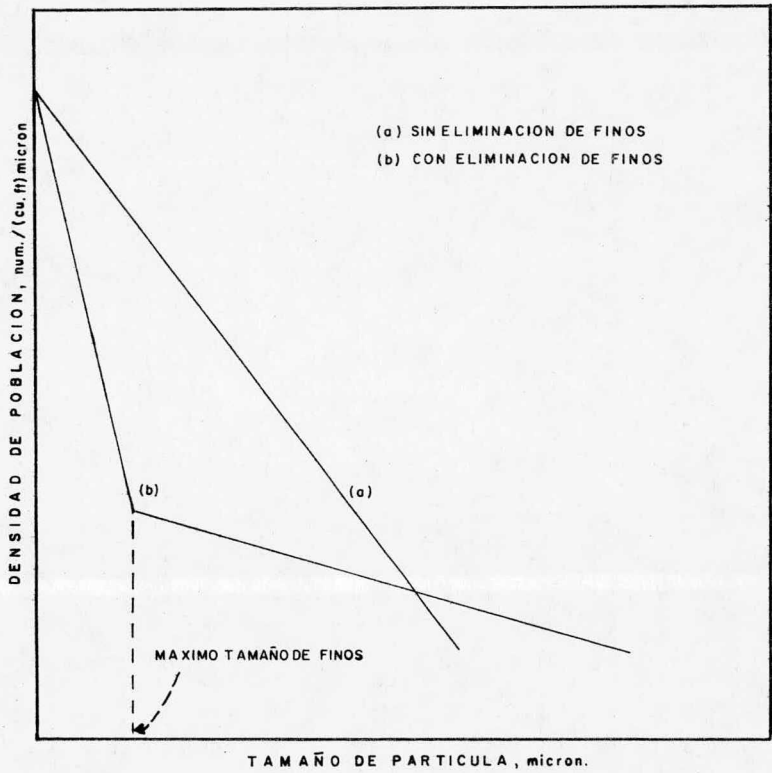
EFFECTO DE LA EXTRACCION DEL PRODUCTO CLASIFICADO  
 SOBRE LA DENSIDAD DE POBLACION DE CRISTALES .

TESIS PROFESIONAL	
U. N. A. M.	FAC. DE QUIMICA
FIGURA 6a	1979



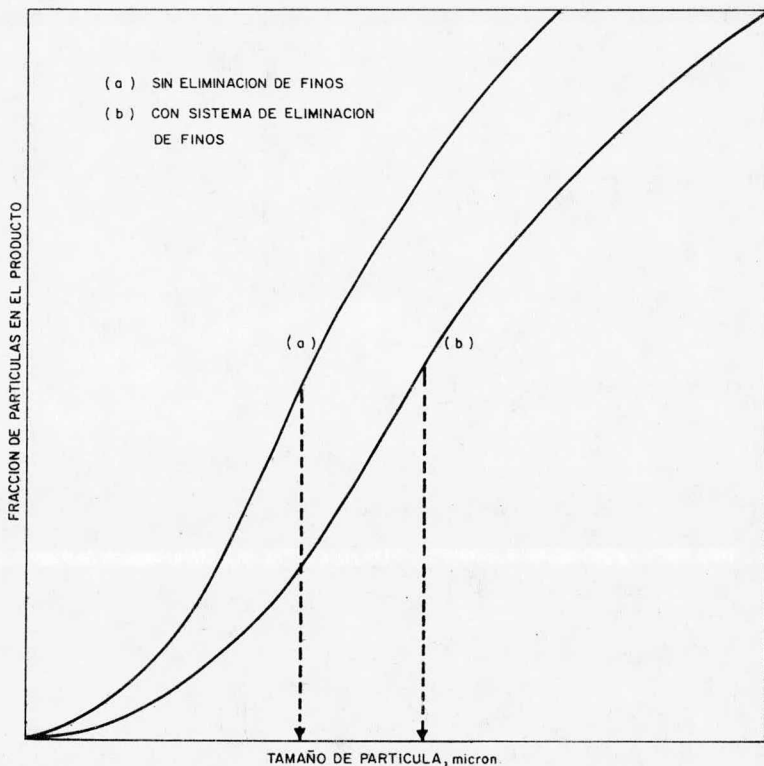
**EFFECTO DE EXTRACCION DE PRODUCTO  
SOBRE LA DISTRIBUCION DE TAMAÑO DEL CRISTAL**

TESIS PROFESIONAL	
<b>U. N. A. M.</b>	<b>FAC. DE QUIMICA</b>
FIG. 6b	1979



**EFFECTO DE LA ELIMINACION DE FINOS SOBRE  
LA DENSIDAD DE POBLACION**

TESIS PROFESIONAL	
U. N. A. M	FAC. DE QUIMICA
FIG. 6c	1979



**EFFECTO DE LA ELIMINACION DE FINOS  
SOBRE LA DISTRIBUCION DEL TAMAÑO  
DEL CRISTAL EN EL PRODUCTO.**

TESIS PROFESIONAL	
U. N. A. M.	FAC. DE QUIMICA
FIGURA 6d	1979

## B. 2. Centrifugas.

Los principales problemas que se presentan en la centrifuga son causados por la vibración y las altas velocidades a las que trabajan, requiriéndose por lo tanto de un cuidadoso mantenimiento y refacciones para no afectar la producción, y lograr así que ésta sea continua y homogénea.

El problema de la vibración debido al desbalanceo de las canastas, se ve reducido en la centrifuga de tipo horizontal, por lo que se recomienda el empleo de éstas, ya que frecuentemente en la separación y lavado de cristales se encuentran instaladas centrifugas de tipo vertical que presentan bastantes problemas con la vibración. Por lo que respecta a las altas velocidades éstas se deben reducir y mantener cambios frecuentes de mallas de medios filtrantes para evitar problemas de operación.

## B. 3. Secador Rotatorio.

El objetivo de este equipo es reducir la humedad en el material de manejo. Debido a que los cristales de sulfato de amonio provenientes de las centrifugas presentan una humedad bastante baja, en ciertas ocasiones se puede mantener apagado el quemador de combustible para obtener los gases calientes alcanzando la humedad de--



seada con sólo hacer pasar aire frío a través del seca  
dor.

El secador rotatorio presenta muy pocos problemas en -  
la operación, reduciéndose éstos al cambio de las par-  
tes mecánicas del secador debido a la alta corrosivi -  
dad que presenta el sulfato de amonio.

#### B. 4. Bombas.

En las bombas de recirculación de los cristales del --  
sulfato de amonio se presenta una alta corrosión en -  
los impulsores, así como desgaste en los empaques y se  
llos mecánicos, por lo que se requerirá un estricto --  
mantenimiento.

Se han observado problemas en el control de nivel de -  
los cristalizadores cuando se utilizan celdas de pre--  
sión diferencial debido a que se taponan sus tomas. Es  
to se podría solucionar al utilizar un "Flushino" o la  
vado con condensados de agua limpia o tratada o bien -  
con amoniaco.

Es necesario poner mucha atención en los relacionado--  
res de alimentación de ácido sulfúrico - amoniaco, ya  
que con un mal control en la alimentación puede provo-  
carse pérdidas de amoniaco o una deficiencia en el cre

cimiento de los cristales al tener un exceso de ácido; un índice de lo anterior es el pH y la acidéz directamente.

Finalmente y aparte de los problemas antes citados, se presentan frecuentemente dificultades con el vaporizador de amoniaco en cuanto a su operación, por lo que se debe inyectar en forma líquida. Está comprobado que ésto no ocasiona alteraciones en la formación del producto.

#### C) Mantenimiento.

Un problema que se presenta con bastante frecuencia en los equipos involucrados en la producción del sulfato de amonio es la fuerte corrosión. Con el Objeto de preveer de una forma más adecuada los efectos posteriores que ocasiona esta corrosión, se tiene que elaborar y mantener un plan programado de mantenimiento bastante estricto que se basa en los siguientes aspectos :

- a) Correctivo: se procede a efectuar una acción con el fin de reparar un equipo, por cuya causa se ha suspendido la producción.
- b) Preventivo: mediante esta programación se lleva a cabo una revisión sistemática del equipo para repararlo evitando así fallas mecánicas durante la producción.

c) Predictivo: por medio de la ayuda de instrumentos - de medición de efectos físicos y estadísticos, se - podrá determinar el tiempo máximo de utilización de un equipo y sus componentes, permitiendo así programar su cambio al cabo de un tiempo supuesto.

---

C A P I T U L O V

ANALISIS ECONOMICO DE UNA  
PLANTA DE SULFATO DE AMONIO

---

## 5.0 ESTUDIO DE MERCADO.

### 5.1. PRODUCCION

Para poder dar una idea más concreta sobre lo que representan las cifras de producción de sulfato de amonio, es necesario analizar la producción de los demás fertilizantes nitrogenados, ya que son sustitutos entre sí, y son : urea, nitrato de amonio, fertilizantes complejos, todos en forma sólida. También se consumen algunos de estos fertilizantes en forma líquida como son el nitrato de amonio y amoniaco, éste último también por aplicación directa. (Capítulo 1).

Actualmente la única productora de fertilizantes sólidos es la empresa estatal Fertimex, con excepción del sulfato de amonio, el cual es también producido por otras empresas cuyas actividades productivas no son exclusivamente fertilizantes (Capítulo 2).

La producción de fertilizantes nitrogenados sólidos fue de 457,511 ton. en 1964, llegando a 890,266 ton. en 1969, cifra que representa una tasa de crecimiento anual promedio de 14.21. En 1970 tuvo una baja de 2.3. %. Posteriormente en 1971, se produjeron 955,613 ton. y en 1975 , -- 1.490,993 ton. representando en este periodo un crecimiento promedio anual de 11.8 %. En 1978 se produjo 1.528,492 ton. lo que representó un promedio anual de 0.87 %, es decir, un decremento de 11 % con respecto a 1975.

El desglose de las cifras de producción para los fertilizantes nitrogenados sólidos se muestra en la tabla 1

T A B L A 1

FERTILIZANTES NITROGENADOS SOLIDOS. PRODUCCION EN TON\*.

<u>AÑO</u>	<u>SULFATO DE AMONIO</u>	<u>UREA</u>	<u>NITRATO DE AMONIO</u>	<u>FERTILIZANTES COMPLEJOS</u>
1964	167,098	81,748	127,278	81,387
1965	198,520	96,221	94,319	112,552
1966	229,280	104,077	146,788	137,506
1967	238,864	96,369	162,707	140,710
1968	336,184	118,355	164,221	141,325
1969	403,850	161,503	160,035	164,878
1970	395,890	158,578	149,655	165,760
1971	369,290	214,225	157,558	214,540
1972	433,993	339,281	150,548	239,456
1973	563,420	363,717	150,896	268,613
1974	677,032	336,002	144,777	282,216
1975	704,077	335,892	153,559	297,465
1976	840,787	350,936	147,617	327,514
1977	812,217	389,305	153,546	321,707
1978	828,549	339,221	110,146	250,576

Partiendo del análisis de esta tabla, se observa que - en 1978 la producción de sulfato de amonio representó - - -

\*Fuente: Anuarios estadísticos de la Secretaría de Comercio.

en volumen el 54% del total de la producción, la Urea el 22%, los fertilizantes complejos el 16.3% y el Nitrato de amonio el 7.2%. Comparando con 1975 se observa que el volumen de producción del Sulfato de Amonio ha aumentado de 47.2 a 54.1%.

Hasta 1978 la capacidad instalada total de Sulfato de Amonio es de 995,200 ton. al año en las siguientes em  
presas:<sup>(10)</sup>

FERTIMEX en:

Querétaro	200,000 ton/año
Torreón	100,000 ton/año
Guadalajara	128,700 ton/año
Cuautitlán	225,000 ton/año
Coatzacoalcos	90,000 ton/año
Bajío, Celaya	60,000 ton/año

Otras:

UNIVEX	176,000 ton/año
AHMSA	12,500 ton/año
SICARTSA	3,000 ton/año

Ampliaciones: SICARTSA en un futuro próximo incrementa  
rá su capacidad hasta 12,500 toneladas por año.

En el periodo de 1979-1981 se tiene planeado hacer ampliaciones en las unidades de FERTIMEX en:

TORREON	100,000 ton/año
COATZACOALCOS	100,000 ton/año

GUADALAJARA	150,000 ton/año
QUERETARO	400,000 ton/año
BAJIO	100,000 ton/año

Se instalarán aproximadamente 850,000 ton/año con lo -- que se aumentará la capacidad instalada a 1'845,000 -- ton/año, es decir, 85 %. Este aumento en la producción es modular, ya que se instalarán unidades de cristalización de aproximadamente 50,000 ton/año, así como las centrífugas necesarias para el lavado y secado del -- cristal.

Para 1983 la empresa mexicana de aromáticos Mexaro, -- instalará una planta de 100,000 ton/año la que produci rá aproximadamente 450,000 ton/año de Sulfato de Amo-- nio'.

Al analizar el precio de venta durante la década 1969-1977 se encontró que el valor de las ventas se ha in-- crementado de 272.305,000 en 1968 a 1.128,483,000. en 1978 según la tabla 2A. Estos precios han sufrido au-- mentos y disminuciones, pero manteniéndose siempre por debajo del precio en el mercado internacional, como se observa en la tabla 2B. Las disminuciones son resulta-- do de la política seguida por FERTIMEX durante ese pe-- riodo, con el fin de promover y diversificar el uso de los fertilizantes en el campo, poniendo especial inte-- rés en aquellos productos de mayor demanda, como el -- Sulfato de Amonio.



T A B L A 2

---

VALOR DE LA PRODUCCION DE SULFATO DE AMONIO  
EN LOS ULTIMOS 10 AÑOS

AÑO	PRECIO (\$/t)*	VALOR (Miles de \$)
1968	810	272,305
1969	810	327,118
1970	798	315,920
1971	688	254,071
1972	695	301,625
1973	695	391,576
1974	768	519,960
1975	768	540,731
1976	900	756,708
1977	1,238	1.005,525
1978	1,362	1.128,483
1979	1,588	

\* Precios LAB en cualquiera estación de ferrocarril.  
Producto envasado.

Fuente: Anuarios estadísticos de la Secretaría de  
Comercio.

TABLA 2B

PRECIOS INTERNACIONALES DEL /SULFATO DE AMONIO  
DURANTE EL PERIODO 1970-78  
(Pesos por Ton.)

AÑO	TRIMESTRE	PRECIO	% DE INCREMENTO
1970	1	275	-
	2	388	41
	3	325	- 17
	4	188	- 42
1971	1	150	- 20
	2	188	25
	3	188	-
	4	338	80
1972	1	413	22
	2	613	48
	3	688	12
	4	775	13
1973	1	625	- 19
	2	650	4
	3	650	-
	4	1,688	160
1974	1	1,938	15
	2	1,950	1
	3	2,225	14
	4	1,938	- 13
1975	1	1,750	- 1
	2	1,675	- 4
	3	1,250	- 25
	4	875	- 30
1976	1	875	-
	2	700	- 20
	3	513	- 27
	4	824 *	61
1977		1,619	96
1978		1,418 **	- 20
1978		2,216	

\* Precio calculado a \$ 20.60/dólar

\*\* Precio calculado a \$ 22.50/dólar

FUENTE: Anuarios estadísticos de la Secretaría  
de Comercio.

## 5.2. C O N S U M O

Una de las formas de empleo que representan el mayor consumo de sulfato de amonio es como fertilizante, ya que suministra el nitrógeno a la tierra, además de mejorar los terrenos alcalinos y proporcionar el azufre que sirve como nutriente secundario. Otros consumos -- del sulfato de amonio se deben a la utilización de éste en tratamientos de aguas , procesos de fermentación producción de rayón viscoso, industria de la curtiduría, etc. como se mencionó en el capítulo II.

El consumo de sulfato de amonio también se puede ver afectado por la preferencia al consumir otros fertilizantes nitrogenados como: Urea, nitrato de amonio, complejos, etc. El consumo aparente del sulfato de amonio en el periodo 1961-1977 se muestra en la tabla 3.

Para poder hacer una comparación del consumo entre el sulfato de amonio y los demás fertilizantes, es necesario llevarlos a una base de referencia, que es la cantidad de nitrógeno que tiene cada fertilizante. Los -- Porcentajes son:

Sulfato de amonio	20.5 %
Urea	46.0 %
Nitrato de Amonio	33.5 %
Fertilizantes Complejos	18.0 %
Amoniaco Aplicación Dir.	82.0 %

Los fertilizantes de mayor consumo expresado en términos del elemento nutriente nitrógeno, por orden de importancia son: amoniaco aplicado en forma directa, sulfato de amonio y urea.<sup>(10)</sup>

T A B L A 3

CONSUMO APARENTE DEL SULFATO DE AMONIO Y SU CRECIMIENTO  
PROMEDIO ANUAL

AÑO	TON/AÑO	CRECIMIENTO anual	% promedio
1961	157,580	-	
1962	167,363	6.2 %	
1963	200,792	20.0 %	
1964	235,864	17.5 %	
1965	269,807	14.4 %	1961-69
1966	285,810	5.9 %	10.2 %
1967	309,363	8.2 %	
1968	422,237	36.5 %	
1969	443,395	5.0 %	
1970	395,890	- 11.0 %	
1971	482,539	21.9 %	
1972	627,716	30.1 %	1970-77
1973	775,069	23.5 %	13 %
1974	824,590	6.4 %	
1975	985,182	19.5 %	
1976	1.186,084	20.4 %	
1977	1.109,897	- 6.4 %	

Fuente: Anuarios Estadísticos de la Sec. de Comercio.

### 5.2.1. ESTRUCTURA DE CONSUMO

#### Principales consumidores:

Como ya se mencionó anteriormente, el Sulfato de Amonio es básicamente consumido como fertilizante por el sector agrícola.

#### Distribución geográfica del consumo:

La principal zona de consumo de sulfato de amonio se encuentra localizada en el occidente y el centro, destacando por su demanda los estados de Jalisco, Michoacán, Guanajuato, Morelos, Puebla, Veracruz y el Estado de México.

En la tabla 4 se puede observar el consumo del sulfato de Amonio en diferentes zonas de la República Mexicana.

### 5.2.2. PROYECCION DE LA DEMANDA.

La estimación de una demanda futura, se basará en la información estadística sobre el consumo aparente en el periodo 1950 a 1977.

Se encontraron correlaciones para hacer proyecciones a mediano y largo plazo, eliminando algunos puntos que se disparaban de la tendencia promedio. Las regresiones se ajustan bastante bien, ya que se encontraron coeficientes de correlación bastante altos. Las ecuaciones son las siguientes.

a) CÚBICA :

$$y = 1,512 + 34,135.7 x - 3,108.7 x^2 + 128.8 x^3$$
$$r^2 = 0.98$$

b) SEMILOGARITMICA :

$$\log y = 10.83 + 0.1135 x$$
$$r^2 = 0.97$$

c) CUADRATICA :

$$y = 158,406 - 27,565.7 x + 2,301.4 x^2$$
$$r^2 = 0.96$$

Al analizar el comportamiento de los valores de las ecuaciones se encontró que la regresión cúbica a corto plazo subestima la demanda y a largo plazo da valores

demasiado grandes, por lo que la estimación del consumo se basó en las dos regresiones restantes. Al obtener los valores promedio de crecimiento anual en el periodo 1979 - 1983 se encontró que para la ecuación logarítmica es de 12 % anual, y para la ecuación cuadrática es de 8 % (tabla 5 ). Por otro lado, estos incrementos se comparan con el periodo 1970 - 1977 que fue de 13 % (tabla 3 ), se observa una mejor estimación en la regresión logarítmica.

Tomando en cuenta la demanda histórica del sulfato de amonio se estima que en corto o mediano plazo el consumo real estará dentro del rango marcado por la proyección logarítmica como un máximo y por la cuadrática como mínimo. Para un valor estimativo se puede tomar un valor promedio entre estas dos regresiones, el cual tiene un incremento anual promedio de 10.1 %

En la gráfica 1, se puede observar mejor la relación de la capacidad instalada y futuras ampliaciones, con la proyección de consumo propuesta.

T A B L A    5

---

PROYECCION DEL CONSUMO APARENTE  
DE SULFATO DE AMONIO

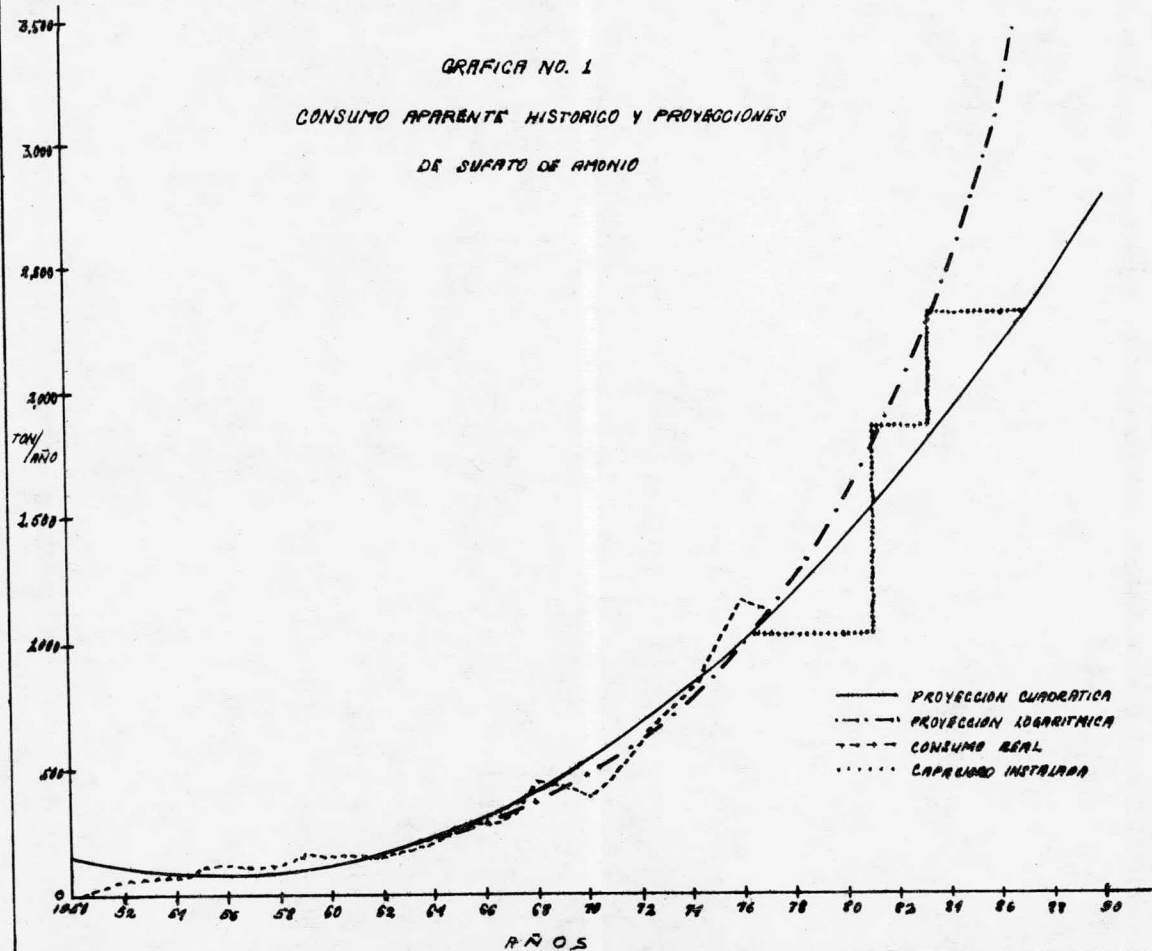
(Miles de toneladas de producto)

AÑO	SEMI + LOGARITMICA	CUADRATICA	PROMEDIO
1979	1,361	1,294	1,230
1980	1,525	1,403	1,453
1981	1,708	1,516	1,614
1982	1,913	1,633	1,780
1983	2,143	1,755	1,949
1984	2,401	1,882	2,147
1985	2,690	2,013	2,352
1986	3,013	2,149	2,581
1987	3,375	2,289	2,282
1988	3,781	2,439	3,110



GRAFICA NO. 1

CONSUMO APARENTE HISTORICO Y PROYECCIONES  
DE SULFATO DE AMONIO



### 5.3. IMPORTACIONES Y EXPORTACIONES.

Las importaciones representan un factor determinante - en la oferta nacional de sulfato de amonio al afectar la relación entre la demanda y la oferta. El precio de la importación se ha incrementado notoriamente, por lo que FERTIMEX ha decidido aumentar la capacidad productiva mediante la creación de nuevas plantas. En la tabla 4 se presentan el volumen y valor de las importaciones en los últimos 10 años.

T A B L A 5

VOLUMEN Y VALOR DE LAS IMPORTACIONES DE SULFATO  
DE AMONIO.

AÑO	IMPORTACIONES (Miles de t.)	PRECIO POR TONELADA	VALOR TOTAL (Miles de \$)
1968	111	494	54,834
1969	40	414	16,560
1970	-	-	-
1971	113	246	27,798
1972	192	350	67,200
1973	202	903	191,436
1974	148	2,012	297,776
1975	281	1,387	389,747
1976	345	728	251,160
1977	298	1,619	482,462
1978	198	1,689	334,422

Fuente: Anuarios Estadísticos de la Secretaría de Com.

La exportación de fertilizantes nitrogenados sólidos + ha consistido principalmente en urea y fertilizantes - complejos. En lo que respecta al sulfato de amonio no se ha registrado ninguna exportación.

Las exportaciones de los productos mencionados fueron en ascenso hasta 1973 y en 1974 hubo una reducción notable en la venta de estos productos, desapareciendo - completamente en 1975.

#### 5.4. CAPACIDAD DE LA PLANTA Y LOCALIZACION

Para la determinación de la capacidad de la planta y su localización se tomó en cuenta factores tales como la tecnología disponible, tamaño de mercado y disponibilidad de la materia prima.

Tecnología disponible: En México las tecnologías utilizadas para la producción del sulfato de amonio en forma directa son dos: Chemicon Construction Corp. y Struther Wells.

Tamaño de Mercado: Como se vió en el punto referente a estructura de consumo (5.2.1.) que actualmente hay un déficit en la producción del Sulfato de Amonio, por lo que la empresa Fertimex ha programado para 1981 una serie de ampliaciones y la instalación de nuevas plantas, como se indica en el punto 5.1., para satisfacer la demanda del mercado.

En el punto sobre la proyección de la demanda (5.2.2) y en la gráfica 1, se observa que en el periodo 1979-1981 la producción necesitará un refuerzo de nuevas plantas productoras para lo que se propone la instalación de -- una planta similar a la unidad Guadalajara con una capacidad de 132,000 ton/año y que utiliza las 2 tecnologías utilizadas en México. El objetivo de esta planta es ayudar a satisfacer el consumo nacional y porsterior

mente servir en la exportación.

Disponibilidad de materias primas: Son 2 las materias básicas para la fabricación del Sulfato de Amonio: el Acido Sulfúrico y el Amoníaco. El Acido Sulfúrico es -- producido en grandes cantidades en diversas partes del Edo. de Veracruz y en las unidades de Fertimex. Por otro lado, el Amoníaco es producido por Pemex, el cual suministra este producto a lo largo del Terrório Nacional; con lo anterior se prevee que no habra muchos problemas con la disponibilidad de materias primas. En el cuadro 1 se muestra la localización de las materias primas.

CUADRO 1  
LOCALIZACION DE PROD. DEL AMONIACO

<u>LOCALIZACION</u>	<u>CAPACIDAD</u>
Cosoléacaque, Ver.	60,000 ton/año
Cosoleacaque, Ver	300,000 ton/año
Cosoleacaque, Ver	300,000 ton/año
Cosoleacaque, Ver	445,000 " (en 1977)
Cosoleacaque, Ver.	445,000 " (en 1978)
Cunduacán, Tab.	445,000 " (en 1981)
Cunduacán, Tab.	445,000 " (en 1981)
Salina Cruz, Oax.	445,000 " (en 1982)
Salina Cruz, Oax.	445,000 " (en 1982)

## LOCALIZACION DE PRODUCCION DEL ACIDO SULFURICO

<u>LOCALIZACION</u>	<u>CAPACIDAD</u>
Pajaritos, Ver.	1.150,000 ton/año
Minatitlán, Ver.	110,000 ton/año
Coatzacoalcos, Ver.	65,000 ton/año
Jaltipan, Ver.	7,500 ton/año
Edo. de México	483,000 ton/año
Minatitlán, Ver.	330,000 " (en 1977)

Lo anterior dá una idea sobre la probable localización de la planta de Sulfato de Amonio, la que podría ser - en el Estado de Veracruz, en el Distrito Industrial de Cosoleacaque.

## 5.5. CALCULO DE LA INVERSION Y CTO. DE PROD.

Para obtener los costos de producción se tomó como base la unidad Guadalajara para hacer un estimado de la inversión en función del equipo instalado en dicha unidad. Los precios de las materias primas fueron obtenidos del departamento de petroquímica del I.M.P. así como los consumos. La capacidad de la planta seleccionada es de 132,000 ton/año.

### 5.5.1. INVERSION FIJA. <sup>(2),(4)</sup>

Para estimar la inversión fija requerida existen va-rios métodos; la elección de cualquiera de ellos depende de la información disponible y de la exactitud de-seada. A continuación se describen en orden creciente de exactitud cuatro de los métodos más usuales:

1. Estimación de orden de magnitud, basada en el monto de inversiones similares anteriores. Esta estima-ción puede variar en más de 30 % con respecto a la inversión real.
2. Estimación por factores desglosados, basada en el co-nocimiento del costo de los equipos más importantes. Esta estimación puede tener una aproximación de  $\pm 30$  %.
3. Estimación preliminar (empleada frecuentemente para

solicitar fondos para la realización del proyecto) basada en cotizaciones y presupuestos preliminares. Esta estimación puede alcanzar una aproximación de  $\pm 15 \%$ .

4. Estimación definitiva, basada en datos casi completos, pero antes de que se terminen todos los dibujos y especificaciones. Este tipo de estimación suele tener un grado de exactitud comprendido entre  $\pm 10 \%$ .
5. Estimación detallada, basada en especificaciones y dibujos de ingeniería completos y en investigaciones en el sitio donde se instalará la planta. La exactitud probable de esta estimación varía entre  $\pm 5 \%$ .

Para el presente estudio, el costo de la inversión fija de la planta proyectada se estimará mediante el tercer método enunciado.

INVERSION FIJA (en miles de pesos) (1)

CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES

Edificios para serv. administrativos	2,000
Espuela de Ferrocarril	3,000
Urbanización	1,000



MAQUINARIA Y EQUIPO  
EQUIPO DE PROCESO (2)

<u>EQUIPO</u>	<u>CARACTERISTICAS</u>	<u>COSTO</u>
- Condensador de vapores del cristalizador.	Area: 792 ft <sup>2</sup> Mat: acero al carbón.	494
- Torre de enfriamiento	Tipo: Tiro forzado Cap: 427 GPM Rango: 7°C	1,350
- Cristalizador # 1 Struthers Scientific (vacío)	Cap: 100 ton/día Mat: acero al carbón con revestimiento inte rior de acero inoxid.	<del>730,000</del> 750
- Bomba de recirculación Cristalizador 1	Cap: 500 GPM AP: 42 psi accionada por motor de 20 HP	290
- Cristalizador 2y3 Chemico Wells. Atmosféricos	Cap: 150 ton/día Mat: acero al carbón con revestimiento inte rior de acero inoxid.	1,434

<u>EQUIPO</u>	<u>CARACTERISTICAS</u>	<u>COSTO</u>
- 2 bombas de re-circulación para cristalizadores #1 y #2	Cap: 1,000 GPM AP: 30 psi Accionadas por motores de 20 HP y 1,770 rpm	660
- Centrífuga 1 Sharples	Cap: 6.6 ton/Hr. Cap: 8 ton/hr. C/u Vel: 1,550 rpm Mat: acero inoxidable Accionadas por motores de 20 HP y 1,760 rpm	7,000
- 2 centrífugas Sharples	Cap: 8 ton/hr. c/u Vel: 1,400 rpm Mat: acero inoxidable Accionadas por motores de 40 HP y 1,770 rpm	7,000
- 2 centrífugas Sharples	Tipo: Horizontal interm. Cap: 8 ton/hr. c/u Vel: 1,550 rpm Mat: acero inoxidable Accionadas por motores de 20 HP y 1,760 rpm.	7,000

9,973

<u>EQUIPO</u>	<u>CARACTERISTICAS</u>	<u>COSTO</u>
- 2 quemadores diesel	Cap: 1'150,000 a 1'140,000 BTU/Hr.	1,914
- Extractor de fi- nos y ciclón húmedo	Tipo ventilador centrf- fugo y capacidad de 7,500 CFM.	383
- Secador rotatorio	Tipo: contacto directo a corriente paralela Cap: 600 ton/día Vel de Giro: 3.6 rpm	9,680
TOTAL DE EQUIPO DE PLANTA .....		33,908
Equipo de carga		1,000
Mobiliario y equipo		1,000
EQUIPO DE TRANSPORTE		
Ferrocarriles		1,000
Vehículos		750
TERRENO		2,000
Gastos de pre-operación y pago a contratistas (2)		7,139
TOTAL DE INVERSION FIJA		46,803
(en miles de pesos )		

- (1) Estimación basada en inversiones de la Unidad FERTIMEX en Guadalajara, Jal.
  
- (2) Información obtenida de Proveedores de Equipo.

## 5.5.2. COSTOS DE PRODUCCION

Se pueden dividir en Costos Directos e Indirectos.

A) COSTOS DIRECTOS: La planta opera al 70 % de su capacidad instalada en el primer año, 80 % en el segundo -- año, 90 % en el tercer año y 100 % a partir del cuarto año de operación.

### 1. Costo de Materias Primas:

#### A M O N I A C O

---

Tabla 6

AÑO	PRODUCCION DE SULFATO DE AMONIO (TON.)	CONSUMO	PRECIO \$/TON.	COSTO EN MILES \$
1978	92,400	23,800	1,560	37,128
1979	105,600	27,200	1,560	42,432
1980	118,800	30,600	1,560	47,736
1981	132,000	34,000	1,560	53,040
1982	132,000	34,000	1,560	53,040
1983	132,000	34,000	1,560	53,040
1984	132,000	34,000	1,560	53,040
1985	132,000	34,000	1,560	53,040
1986	132,000	34,000	1,560	53,040
1987	132,000	34,000	1,560	53,040
1988	132,000	34,000	1,560	53,040

TABLA 7

<u>A C I D O S U L F U R I C O</u>				
AÑO	PROD. DE SULFATO DE AMONIO (TON.)	CONSUMO (TON.)	PRECIO \$/TON.	CONSUMO (MILES \$)
1978	92,400	68,593	654	44,859
1979	105,600	78,392	654	51,268
1980	118,800	88,191	654	57,676
1981	132,000	97,990	654	64,085
1982	132,000	97,990	654	64,085
1983	132,000	97,990	654	64,085
1984	132,000	97,990	654	64,085
1985	132,000	97,990	654	64,085
1986	132,000	97,990	654	64,085
1987	132,000	97,990	654	64,085
1988	132,000	97,990	654	64,085

COSTO TOTAL DE MATERIAS PRIMAS

AÑO	COSTO AMONIACO (MILES \$)	CTO. ACIDO SULF. (MILES \$)	TOTAL EN MILES \$
1978	37,128	44,859	81,987
1979	42,432	51,268	93,700
1980	47,736	57,676	105,412
1981	53,040	64,085	117,125
1982	53,040	64,085	117,125
1983	53,040	64,085	117,125
1984	53,040	64,085	117,125
1985	53,040	64,085	117,125
1986	53,040	64,085	117,125
1987	53,040	64,085	117,125
1988	53,040	63,085	117,125

## 2. Costo de Servicios Auxiliares

### PARA 1978

SERVICIO	CONSUMO NOR- MAL ANUAL.	PRECIO UNITARIO	COSTO \$/AÑO
Combustible	175,560 m <sup>3</sup>	\$.30/m <sup>3</sup>	52,668
Agua	92400 m <sup>3</sup>	\$.60/m <sup>3</sup>	55,440
Energ. Elect.	1.848000 Kw/hr.	\$.30/Kw-hr.	554,400
Vapor	16632 Ton.	\$ 22/ton.	365,904
			<hr/>
		T O T A L	1.028,412
			<hr/> <hr/>

### PARA 1979

SERVICIO	CONSUMO NOR- MAL ANUAL.	PRECIO UNITARIO	COSTO \$/AÑO
Combustible	200640 m <sup>3</sup>	\$.30/m <sup>3</sup>	60,192
Agua	105600 m <sup>3</sup>	\$.60/m <sup>3</sup>	63,360
Energ. Elect.	2.112000 Kw/hr.	\$.30/Kw-hr.	633,600
Vapor	19008 ton.	\$ 22/ton.	<u>418,176</u>
		T O T A L	1.175,328
			<hr/> <hr/>

PARA 1980

SERVICIO	CONSUMO NORMAL ANUAL	PRECIO UNITARIO	COSTO \$/AÑO
Combustible	225720 m <sup>3</sup>	\$.30/m <sup>3</sup>	67,716
Agua	118800 m <sup>3</sup>	\$.60/m <sup>3</sup>	71,280
Energ. Elect.	2.376000 Kw/hr.	\$.30/Kw-hr.	712,800
Vapor	21384 ton.	\$ 22/ton.	470,448
T O T A L			1.322,244

PARA 1981

SERVICIO	CONSUMO NORMAL ANUAL	PRECIO UNITARIO	COSTO \$/AÑO
Combustible	250800 m <sup>3</sup>	\$.30/m <sup>3</sup>	75,240
Agua	132000 m <sup>3</sup>	\$.60/m <sup>3</sup>	79,200
Energ. Elect.	2.640000 Kw/hr.	\$.30/Kw-hr	792,000
Vapor	23,760 ton.	\$ 22/ton.	522,720
T O T A L			1.469,160



AÑO COSTO DE SERVICIOS AUXILIARES (MILES \$)

1978	1,028
1979	1,175
1980	1,322
1981	1,469
1982	1,469
1983	1,469
1984	1,469
1985	1,469
1986	1,469
1987	1,469
1988	1,469



3. Envasado: Este concepto incluye el costo de envasado y -- el de embarque, es decir, las maniobras necesarias para cargar y descargar el producto envasado en los carros de ferrocarril y camiones de transporte. (\*)

AÑO	ENVASADO TON.	COSTO DE ENVASE \$	CTO. ANUAL EN MILES \$
1978	92,400	100	9,240
1979	105,600	100	10,560
1980	118,800	100	11,880
1981	132,000	100	13,200
1982	132,000	100	13,200
1983	132,000	100	13,200
1984	132,000	100	13,200
1985	132,000	100	13,200
1986	132,000	100	13,200
1987	132,000	100	13,200
1988	132,000	100	13,200

4. Costo de mano de obra:

	Miles \$/año
4 Ingenieros de turno	672
4 Operadores de reaccion	309
4 operadores auxiliares	288
1 Obrero General	67
1 Operador de envasadora	75
1 Cosedor	75
6 Estibadores	383
	<hr/>
	1,869

5. Supervisión:

	Miles \$/año
2 Personas	168

\* Estimación basada en datos de Unidad Fertimex Guadalajara.



E. COSTOS INDIRECTOS.

1. Depreciaciones, en miles de pesos.

CONCEPTO	VIDA UTIL AÑOS •	VALOR ORIG.	VALOR RESCATE	DEP. ANUAL
Maquinaria y Equipo de Proc.	10 años	33,908	3,390	3,051 ✓
Equipo de carga	5 años	1,000	100	180 ✓
Carro de ferrocarril	16 años	1,000	375	62.5
Vehiculos	5 años	750	150	120
Edificios y Construcciones	30 años	5,000	3,340	166
Mobiliarios y Equipo de Ofic.	10 años	1,000	200	80
			<u>7,555</u>	<u>3,659.5</u>
		T O T A L	<u>7,555</u>	<u>3,659.5</u>

REEMPLAZOS: Se reemplazan los equipos que tienen vida útil menor a los 10 años tiempo de vida del proyecto.

-----

- Los tiempos de vida útil se obtuvieron según la ley de impuesto sobre la renta, Art. 21.

2. Amortización: Se refiere a la inversión efectuada en:

Gastos de preoperación y pago a Contratistas 7.139,000

Y estará diferida en 10 años, tiempo de vida útil del proyecto.

$$\text{AMORTIZACION } \frac{7.139,000}{10} = 713,900$$

AMORTIZACION: 713,900 \$/AÑO

3. Seguros: Se estima como un 0.75 % de la inversión en equipo de planta <sup>(12)</sup>.

$$33,908,000 \times (.0075) = 254,000 \text{ \$/año}$$

Gastos de seguro: 254,000

4. Gastos Generales de Planta.

4.1. Gastos de Administración.

SUÉLDOS DE PERSONAL : MILES \$/AÑO

A) SUPERINTENDENCIA:

Superintendente General 240

Delegado Administrativo 120

2 Secretarias 153

1 Chofer 48

---

561

B) CONTABILIDAD:	Miles \$/AÑO
Contador General	144
Auxiliar de Contador	86
Tomador de Tiempo	52
Operador Máquina de Cont.	50
Almacenista	54
Despachador	54
Afanador	50
	<hr/>
	490

C) Otros Gastos:

Por Asesoría Legal, suministro de oficina y tel.

Se estima el 2 % sobre el valor de las Ventas •

T A B L A 8  
VALOR DE LAS VENTAS

AÑO	PRECIO \$/TON.	TON. DE SUL- FATO DE AMONIO	VENTAS EN MILES \$
1978	1,362	92,400	125,848
1979	1,362	105,600	143,827
1980	1,362	118,800	161,805
1981	1,362	132,000	179,784
1982	1,362	132,000	179,784
1983	1,362	132,000	179,784
1984	1,362	132,000	179,784
1985	1,362	132,000	179,784
1986	1,362	132,000	179,784
1987	1,362	132,000	179,784
1988	1,362	132,000	179,784

• Datos de la Unidad de Guadalajara.

TOTAL DE OTROS GASTOS

AÑO	MILES DE PESOS
1978	2,517
1979	2,876
1980	3,236
1981	3,596
1982	3,596
1983	3,596
1984	3,596
1985	3,596
1986	3,596
1987	3,596
1988	3,596

5. Gastos de Venta:

Personal	SUELDO MILES.\$/AÑO
Gerente	240
Subgerente	180
Secretaria	77
	<hr/>
T O T A L	<u>497</u>
	<hr/> <hr/>

En la siguiente tabla se presentan el total de costos indirectos.

Año	CTOS. INDIRECTOS EN MILES \$
1978	8,692
1979	9,051
1980	9,411
1981	9,771
1982	9,771
1983	11,521
1984	9,771
1985	9,771
1986	9,771
1987	9,771
1988	9,771

Costos de Producción: En seguida se muestra en la tabla los costos de producción y el precio al costo de producción de la tonelada de sulfato de amonio.

Costo de Producción = Cto. Directo + Cto. Indirecto

T A B L A 9

AÑO	CTO. DE PRODUCCION EN MILES \$	PRODUCCION EN TON.	CTO. DE PROD. \$/TON.
1978	106,396	92,400	1,151
1979	119,935	105,600	1,135
1980	133,474	118,800	1,123
1981	147,014	132,000	1,113
1982	147,014	132,000	1,113
1983	147,014	132,000	1,113
1984	147,014	132,000	1,113
1985	147,014	132,000	1,113
1986	147,014	132,000	1,113
1987	147,014	132,000	1,113
1988	147,014	132,000	1,113

### 5.5.3. CAPITAL DE TRABAJO

El capital de trabajo para una planta industrial consiste en la cantidad total de dinero que es necesario invertir en: <sup>(12),(11)</sup>

1. Materias Primas
2. Materias en Proceso
3. Productos terminados
4. Cuentas por cobrar
5. Efectivo en Caja
6. Cuentas por pagar

La manera como se calculó el capital de trabajo es por estimaciones de cada uno de los puntos antes mencionados:

- 1) INVENTARIO DE MATERIAS PRIMAS: 30 días del consumo de la planta durante un mes (ver consumo en la tabla 6 y 7 de costos directos de producción).
- 2) INVENTARIO DE PRODUCTO DE PROCESO: Para este renglón no necesitamos hacer estimación ya que durante este proceso no existe material intermedio.
- 3) INVENTARIO DE PRODUCTO TERMINADO: 30 días de la producción valuada al costo de manufactura (ver tabla 9)
- 4) CUENTAS POR COBRAR: 60 días de las ventas (ver tabla 8).

En la tabla 10 se muestra el valor del Capital de Trabajo calculado.



T A B L A 10

TABLA DE CALCULO DE CAPITAL DE TRABAJO EN MILES DE PESOS.

AÑOS	1	2	3	4	5	6	7	8,9y10
PROG. DE PRODUCCION	70 %	80 %	90 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
1. ACTIVO CIRCULANTE								
A.1.MATERIA PRIMA	7453	8518	9583	10648	10648	10648	10648	10648
A.2.PROD. TERMINADO	9672	10903	12134	13364	13364	13524	13364	13364
B. CTAS. POR COERAR	19344	21806	24268	26728	26728	27048	26728	26728
C. EFECT. EN CAJA	4836	5451	6067	6682	6682	6762	6682	6682
T O T A L	41305	46678	52052	57422	57422	57982	57422	57422
2. PASIVO CIRCULANTE								
A. CTAS. POR PAGAR	4836	5451	6067	6682	6682	6762	6682	6682
3. CAPITAL DE TRAB.								
A. CAP NETO DE TRAB.	36469	41227	45985	50740	50740	51220	50740	50740
B. INCREMENTO DEL CAPITAL DE TRABAJO.	--	4758	4758	4755	0	480	- 480	0

INVERSION FIJA	46.803,000
CAPITAL DE TRAB. AL 100%	50.740,000
	<hr/>
INVERSION TOTAL	97.543,000

## 5.6. FINANCIAMIENTO

De la inversión total efectuada de 97.543,000 pesos , -  
60 millones corresponderán al capital ajeno, y - - -  
37.543,000 pesos a capital propio.

Los 60 millones de financiamiento se pagarán a un inte-  
rés anual de 17 % sobre saldos insolutos, con un perio-  
do de gracia de año y medio (tiempo de construcción).

El programa de amortización del préstamo aparece en el  
cuadro 2. <sup>(9)</sup>

CUADRO NO. 2

PROGRAMA DE AMORTIZACION DEL PRESTAMO Y PAGO DE INTERESES AL 17% ANUAL  
(miles de pesos)

AÑO	SALDO AL PRIN CIPIO DEL AÑO	INTERESES CALCULADOS	INTERESES PAGADOS	AMORTIZACION	SALDO A FIN DE AÑO
0	60,000	15,300	-15,300	-----	60,000
1	60,000	10,200	-10,200	-6,000	54,000
2	54,000	9,180	-9,180	-6,000	48,000
3	48,000	8,160	-8,160	-6,000	42,000
4	42,000	7,140	-7,140	-6,000	36,000
5	36,000	6,120	-6,120	-6,000	30,000
6	30,000	5,100	-5,100	-6,000	24,000
7	24,000	4,080	-4,080	-6,000	18,000
8	18,000	3,060	-3,060	-6,000	12,000
9	12,000	2,040	-2,040	-6,000	6,000
10	6,000	1,020	-1,020	-6,000	0

## 5.7. DETERMINACION DE LA TASA INTERNA DE RENDIMIENTO(TIR)

Un indicador de la rentabilidad del proyecto es la denominada Tasa Interna de Rendimiento. Esta se define como el valor de la tasa de actualización que iguala entre si las corrientes temporales de ingresos y costos.

Para obtener la T.I.R.<sup>(4),(9)</sup> del presente estudio fue necesario llevar a cabo la elaboración de un Estado de Pérdidas y Ganancias, Cuadro 3; un Programa de Inversiones, Tabla 11; y un perfil de flujos Netos de Efectivos, tabla 12, para cada año del horizonte de nuestro proyecto.

De la conjugación del flujo total de inversiones, flujos netos en la fase productiva y flujo de liquidación se obtiene el perfil de flujos netos de efectivo. Finalmente en el Cuadro No. 4 se encuentra el cálculo de la tasa interna de Rendimiento que es de 11.8 %

CUADRO NO. 3

ESTADO DE PERDIDAS Y GANANCIAS (miles de pesos)

AÑOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A. INGRESOS TOTALES	119555	136635	153714	170795	170795	171045	170795	170795	170795	170795
VENTAS NETAS	119555	136635	153714	170795	170795	170795	170795	170795	170795	170795
VENTAS DE EQUIPO	--	--	--	--	--	250	--	--	--	--
B. COSTOS TOT. (TABLA)	106396	119935	133474	147014	147014	150514	147014	147014	147014	147014
COSTOS DE PRODUCCION	106396	119935	133474	147014	147014	148764	147014	147014	147014	147014
REEMPLAZOS	--	--	--	--	--	1750	--	--	--	--
C. UTILIDAD BRUTA	13159	16700	20240	23781	23781	20531	23781	23781	23781	23781
D. INTERESES POR PRESTAMOS A LARGO PLAZO	10200	9180	8160	7140	6120	5100	4080	3060	2040	1020
E. AMORTIZACION DE LOS INTERESES PAGADOS DURANTE EL PERIODO DE INSTALACION.	1930	1530	1530	1530	1530	1530	1530	1530	1530	1530
F. UT. AJUSTADA C-(D+E)	1429	5990	10550	16131	13901	13901	18171	19191	20211	21231
G. IMPUESTOS: 4% I.S.R. MAS 8% de R.U.T.	714,5	2995	5275	7555,5	8065,5	6950,5	9085,5	9595,5	10105,5	10615,5
H. UTILIDAD NETA.	714,5	2995	5275	7555,5	8065,5	6950,5	9085,5	9595,5	10105,5	10615,5
I. UT. NETA AJUSTADA. H+E	2244,5	4525	6805	9085,5	9595,5	8480,5	10615,5	11125,5	11635,5	12145,5
J. DEPRECIACION Y AMORT.	4373	4373	4373	4373	4373	4373	4373	4373	4373	4373
K. EFECTIVO GENERADO. I+J	6617,5	8890	11178	13458,5	13968,5	12853,5	14988,5	15498,5	16008,5	16518,5

TABLA 11  
PROGRAMA DE INVERSIONES

(MILES DE PESOS)

A	B	C	D	E	PERIODO
FLUJO DE INVERS.	RECURSO DE PRESTAMO A LARGO PZO.	AMORTIZACION DEL PRESTAMO A 10 AÑOS.	INT DURANTE PERIODO DE INSTALACION	FLUJO DE INVERS.	<u>PERIODO</u>
- 97,543	60,000	- - -	- 15,300	- 52,843	0
--	--	- 6,000	--	- 6,000	1
--	--	- 6,000	--	- 6,000	2
--	--	- 6,000	--	- 6,000	3
--	--	- 6,000	--	- 6,000	4
--	--	- 6,000	--	- 6,000	5
--	--	- 6,000	--	- 6,000	6
--	--	- 6,000	--	- 6,000	7
--	--	- 6,000	--	- 6,000	8
--	--	- 6,000	--	- 6,000	9
--	--	- 6,000	--	- 6,000	10
--	--	--	--	58,245	LIQ.

T A B L A 12

F L U J O N E T O D E E F E C T I V O

( M I L E S D E P E S O S )

AÑOS	A FLUJO DE IN VERSIONES	B EFECTIVO GENERADO	C FLUJO NETO DE EFECTIVO
0	-52,843	-	52,843
2	- 6,000	6,617.5	617.5
3	- 6,000	8,898	5,178
4	- 6,000	13,458.5	7,458.5
5	- 6,000	13,968.5	7,968.5
6	- 6,000	12,853.5	6,853.5
7	- 6,000	14,988.5	8,988.5
8	- 6,000	15,498.5	9,498.5
9	- 6,000	16,008.5	10,008.5
10	- 6,000	16,518.5	10,518.5
LIQ.	58,295	-	58,295

CUADRO NO. 4

TASA INTERNA DE RENDIMIENTO  
(miles de pesos)

AÑOS	A FLUJO	B FACTOR AL 15% VPN	A X B	C FACTOR AL 10% VPN	A X C
0 0	-52843	.8696	-45952	.9090	-44034
0 1	617.5	.7561	467	.8264	510.3
1 2	2898	.6575	1905	.7513	2177.3
2 3	5178	.5717	2960	.6830	3536
3 4	7458.5	.4972	3708	.6209	4630
4 5	7968.9	.4332	3444	.5644	4497
5 6	6853.5	.3759	2576	.5131	3516
6 7	8988.5	.3269	2938	.4665	4192
7 8	9498.5	.2842	2699	.4240	4027
8 9	10008.5	.2472	2474	.3855	3858
9-10	10518.5	.2149	2260	.3504	3685
10-11	58295	.1869	<u>10896</u>	.3186	<u>18572</u>
			- 4626		+ 5322

TASA INTERNA DE RENDIMIENTO = 11.8 %

$$T.I.R. = 10 \% + \frac{5322}{5322+4626} \times 5 \% = 11.8 \%$$



---

CAPITULO VI  
CONCLUSIONES  
Y  
RECOMENDACIONES

---

- I. En 1978 aproximadamente el 15 % del total de fertilizantes nitrogenados y fosfatados que se consume en México es importado.

Para evitar lo anterior se plantea: aprovechar la producción masiva de amoníaco de las nuevas plantas de Pemex, para su aplicación directa, la utilización de fertilizantes líquidos y los excedentes de ácido fosfórico de la unidad de Fertimex en Pajaritos, Ver.

Además de esto, Fertimex tiene programado para el periodo de 1978-81, ampliaciones en sus plantas de sulfato de amonio; así como también la instalación de plantas de Urea y superfosfato simple.

Por otro lado, para 1981, el complejo industrial Lázaro Cárdenas podrá elaborar fosfato diamónico, complejo NPK y Nitrato de amonio. Para 1983, Mexaro, S.A. terminará su planta de Caprolactama con capacidad de 100,000 ton/año, produciendo por lo tanto 450,000 ton/año de sulfato de amonio.

- II. En México como en todo el mundo, el sulfato de amonio ha sido uno de los fertilizantes de mayor demanda, en competencia con los fertilizantes orgánicos. Este producto fue producido en un principio como subproducto en muchos procesos industriales, prefiriéndose después su producción en forma directa.

La producción de sulfato de amonio se inició en México en el año de 1951 con la empresa estatal Guanos y Fertilizantes de México, S.A.

III. El sulfato de amonio se produce por dos formas: directo e indirecto. Para la producción en forma directa, - es decir, la reacción entre el amoníaco y el ácido sulfúrico hay dos tecnologías utilizadas: la Chemico Construction Corp. y la Struther Wells. En la forma indirecta, el sulfato de amonio se produce como subproducto en ciertos procesos, como en el de la caprolactama y el Acrilonitrilo. También hay procesos, en los que - se produce, ya sea amoníaco o ácido sulfúrico que posteriormente son utilizados para producir el sulfato de amonio en forma directa. Las empresas que lo producen son: Sicartsa, AMMSA, Peñoles e Industrial Minera México.

IV. Los problemas que se presentan en la elaboración del sulfato de amonio, se pueden reducir a dos secciones: la de formación de los cristales de sulfato que se lleva a cabo en las unidades de cristalización y la sección de lavado y secado de cristales. En la primera sección los puntos claves para alcanzar el tamaño adecuado del producto son: la pureza de los reactivos y una buena selección de la unidad de cristalización.

En lo que respecta al lavado y secado de cristales, o-

peraciones que se llevan a cabo en las centrifugas y -  
secador rotatorio, se debe observar un cuidadoso mante-  
nimiento de estos equipos debido a la alta corrosivi-  
dad del producto.

- V. Debido a los déficits de producción de sulfato de amonio registrados en años anteriores, la política de Fertimex en años futuros se basará en el aumento de las -  
capacidades de las plantas instaladas en la República Mexicana; este aumento será de 850,000 ton/año lo que representa un 85 % en relación a la capacidad instalada. Con lo anterior se podrá llegar a ser autosuficiente. Además de esto, para 1983 la empresa Mexaro, S.A., producirá como subproducto 450,000 ton/año de sulfato de amonio. Por medio del análisis de la proyección de la demanda para el periodo 1978-88 se observa que durante el lapso 79-81 habrá importaciones de este producto; posteriormente, al hacer ampliaciones a la planta ya existente y poner en operación nuevas plantas en 1981 y 1983 se presentarán excedentes de sulfato de amonio con la posibilidad de exportación a países de Centroamérica, debido a su precio competitivo en el mercado internacional, por lo que propone la instalación de una planta de sulfato de amonio que tendría la función de evitar las importaciones y posteriormente ayudar a la exportación.

Del análisis económico de la planta propuesta se obtuvo una tasa interna de rendimiento de 11.8 %. Comparada con el interés bancario que actualmente llega a -- 18.6 % como máximo, esta tasa resulta baja, pero debemos tener en cuenta que en la evaluación de la T.I.R. hubo una sobreinversión, ya que se considera que la - planta opera aisladamente, es decir, por propios recur- sos. Normalmente, este tipo de plantas se encuentran - formando complejos de fertilizantes con lo que los cos- tos de infraestructura descienden por la participación equitativa de todas las plantas que integran el comple- jo.

#### RECOMENDACIONES

- Agregar pequeñas cantidades de fosfato de amonio y urea para eliminar el efecto de los iones  $Fe^{3+}$  -- que puede presentarse en ciertos casos como contami- nante en el ácido sulfúrico.
- Adición de aditivos ( $Fe^{2+}$ , urea,  $Al^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) para - mejorar la granulometría del sulfato de amonio.
- Mantener un plan estricto de mantenimiento en todos los equipos debido a la alta corrosividad del sulfato de amonio.
- La planta de sulfato de amonio se recomienda instala-rla formando parte de un complejo de Fertilizantes con el fin de prorratear los costos de infraestructura y así aumentar la T. I. R.

---

CAPITULO VII

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

---

## BIBLIOGRAFIA DEL TEMA

---

1. BADGER y BANCHERO, Introduction to Chemical Engineering. México: Mc. Graw Hill Kogakusha, 1955
2. COLLINGS, G.H., Commercial Fertilizers. Philadelphia: The Blanksco Co., 1947.
3. LARSON, A. "Guidelines for selecting a Crystalliser" Revista Chemical Engineering. U.S.A.: 1978. Pág. 90
4. MONTAÑO, Luna Javier. Curso de Formulación y Evaluación de Proyectos de inversión para el Desarrollo Rural. Guadalajara: Sría de la Presidencia, 1976.
5. NAVA Sandoval, José Antonio y RAMIREZ Soberón, Roberto. Modelo de pronósticos de la economía de una empresa industrial. Tesis profesional (Ing. Químico) Fac. de Química, UNAM, 1977.
6. PAGAZA Melero, Gerardo y PICAZO Garcés, Sergio E. Acrilonitrilo. Aplicación de la Tecnología actual para su obtención en la Industria Petroquímica. Tesis profesional (Ing. Químico). Fac. de Química, UNAM, México, 1977.

7. PERRY y CHILTON, Chemical Engineers Handbook, U.S.A.; Mc. Graw Hill Kogakusha, 5a. edición, 1973.
8. RANDOLPH, Alan D. "How to approach the problems of Crystallization". Revista Chemical Engineering. U. S. A. : 1970.
9. SOLIS M., Adolfo. Economía para Ingeniería. Anotaciones sobre Matemática Financiera. Editado por la D. E. A. México: 1975.
10. Subdirección de Estudios Económicos y Planeación Industrial. Desarrollo y Perspectivas de la Industria Petroquímica en México. Editado por el I. M. P. México: 1977.
11. United Nations Industrial Development Organization. Manual for the Preparation of Industrial Feasibility Studies. Editado por la O. N. U. New York, 1978.
12. URIEGAS Uriegas, José Luis. Análisis del comportamiento económico de plantas de la industria química. Tesis profesional (Ing. Químico) Fac. de Química. UNAM, 1979.
13. Anuarios Estadísticos de la Sria de Comercio.



